

Métodos para el análisis de los procesos de ciencia, tecnología e innovación

Herramientas para el estudio del desarrollo de América Latina

Volumen 2. **Métodos cuantitativos**

Diana Suárez
y José Miguel Natera
(compiladores)

Colección Ciencia, innovación y desarrollo

EDICIONES UNGS



Universidad
Nacional de
General
Sarmiento



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



LALICS

**Métodos para el análisis de los procesos
de ciencia, tecnología e innovación**

Herramientas para el estudio del desarrollo
de América Latina

Volumen 2. Métodos cuantitativos

Diana Suárez y José Miguel Natera
(compiladores)

**Métodos para el análisis de los procesos
de ciencia, tecnología e innovación**
Herramientas para el estudio del
desarrollo de América Latina

Volumen 2. Métodos cuantitativos

EDICIONES **UNGS**



Universidad
Nacional de
General
Sarmiento



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



LALICS

Métodos para el análisis de los procesos de ciencia, tecnología e innovación :
herramientas para el estudio del desarrollo de América Latina / José Miguel
Natera ... [et al.] ; Editado por Diana Suárez ; José Miguel Natera. - 1a ed -
Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento ; Ciudad de
México : Universidad Autónoma Metropolitana , 2024.

Libro digital, PDF - (Ciencia, innovación y desarrollo ; 20)

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-630-747-5

1. Innovaciones. 2. América Latina. 3. Desarrollo Tecnológico. I. Natera, José
Miguel, ed. II. Suárez, Diana, ed.

CDD 307.14

EDICIONES **UNGS**

© Universidad Nacional de General Sarmiento, 2024

J. M. Gutiérrez 1150, Los Polvorines (B1613GSX)

Prov. de Buenos Aires, Argentina

Tel.: (54 11) 4469-7507

ediciones@ungs.edu.ar

www.ungs.edu.ar/ediciones

© Universidad Autónoma Metropolitana - sede Xochimilco, 2024

Diseño gráfico de la colección: Franco Peticaro

Diseño de tapa: Daniel Vidable

Corrección: Florencia Piluso

Diagramación: Daniel Vidable

Hecho el depósito que marca la Ley 11723.

Prohibida su reproducción total o parcial.

Derechos reservados.



Libro
Universitario
Argentino

Índice

Introducción	9
<i>Diana Suárez y José Miguel Natera</i>	
I. La perspectiva democratizadora en el análisis de los procesos sociales de investigación e innovación	23
<i>Rodrigo Arocena y Judith Sutz</i>	
II. Desafíos para la investigación ¿Ciegos o con perspectiva de género?	37
<i>Nora Goren</i>	
Capítulo 1. La aplicación de técnicas de análisis multidimensional para el estudio de la organización del trabajo	47
<i>Analía Erbes y Sonia Roitter</i>	
Capítulo 2. Consideraciones para realizar estudios comparado utilizando datos provenientes de las encuestas de innovación en América Latina y el Caribe	87
<i>Sandra Zárate, Nadia Albis, José Miguel Natera, Erika Sánchez y Fernando Vargas</i>	
Capítulo 3. Desafíos para los países de América Latina y el Caribe en la medición de la innovación frente a la edición 2018 del <i>Manual de Oslo</i>	123
<i>Mónica Salazar, Nadia Albis, Sandra Zárate y Fernando Vargas</i>	
Capítulo 4. ¿Complementariedad o sustitución sobre el comportamiento innovador? Desarrollo de la estrategia empírica a partir del test de supermodularidad	153
<i>Carlos Bianchi y Pablo Blanchard</i>	
Capítulo 5. Modelado con ecuaciones estructurales: una herramienta para observar y relacionar lo inobservable	183
<i>Soledad Contreras y Natalia Gras</i>	
Capítulo 6. Uso de paneles de datos para la evaluación de la política de innovación	219
<i>Florencia Fiorentin, Mariano Pereira, Diana Suárez</i>	

Capítulo 7. Regresiones transversales. ¿Tienen pertinencia en el estudio de la innovación?	251
<i>Nicolás Fuentes, Jana Schmutzler, Norida Constanza Vanegas-Chinchilla, Andrés Felipe Zambrano-Curcio</i>	
Capítulo 8. Métodos de análisis de insumo-producto: aplicaciones a la CTI en América Latina	293
<i>Patieene Alves-Passoni, Leobardo Enríquez, Rosa Gómez Tovar, Brenda Murillo-Villanueva, Martín Puchet Anyul</i>	
Capítulo 9. Cointegración para el estudio de la evolución de los sistemas de innovación.....	331
<i>José Miguel Natera, José Ignacio Ponce</i>	
Capítulo 10. Análisis multinivel: retos y oportunidades para el estudio de los procesos de innovación en América Latina	369
<i>Guillermo Orjuela-Ramírez, Julio César Zuluaga</i>	
Capítulo 11. <i>Drivers</i> tecnológicos del crecimiento. Indicadores agregados y el tratamiento agregado de la heterogeneidad	399
<i>Nuria E. Laguna Molina, Ana Urraca Ruiz</i>	

Introducción

Diana Suárez y José Miguel Natera

El estudio de los procesos de ciencia, tecnología e innovación (CTI) es un campo consolidado dentro de las ciencias sociales. Su eje está puesto en el análisis de los determinantes, obstáculos, patrones e impacto del desarrollo tecnológico y cómo ello permea (o no) en los procesos de desarrollo. Es un campo con una fuerte raíz teórica en la obra de Schumpeter pero que se ha nutrido de aportes desde múltiples campos del saber, lo que lo constituye en un espacio de debate transdisciplinar tanto en el ámbito académico como de los hacedores de política.

Siendo un espacio de creación de conocimiento científico, el estudio de los procesos de CTI se rige por las normas del método científico, lo que implica que la acumulación de conocimiento tiene lugar a través de la revisión sistemática y crítica del estado del arte, así como de la formulación y contrastación de hipótesis a través de métodos de análisis rigurosos, con la consecuente retroalimentación al estado del arte. Cada una de esas etapas se encuentra más o menos desarrolladas en lo que Cohen y Levinthal (1989) referirían como “el libro de códigos”, ese lenguaje compartido, que combina saberes más o menos codificados, y en el marco del cual se construye y deconstruye el conocimiento. Desde hace varias décadas, existen además revistas especializadas, seminarios, conferencias y redes internacionales de colaboración en las que las ideas son sometidas al debate crítico y constructivo, en diálogo además con las múltiples disciplinas que integran el campo. Así, ha habido lugar para que el debate teórico, y su consecuente articulación conceptual, haya tenido un espacio de desarrollo (aún en expansión) permitiendo el abordaje de retos analíticos en América Latina.

En materia de la implementación de métodos para el uso de evidencia empírica, sin embargo, los límites son más difusos. Si bien el corpus conceptual de los estudios CTI se encuentra determinando por la afluencia

de múltiples corrientes del pensamiento, las herramientas metodológicas con las que se pretende observar el objeto de estudio también se encuentran atravesadas por múltiples marcos conceptuales disciplinares, que van desde la economía evolucionista más tradicional hasta nuevos enfoques desde la sociología y la antropología. Así, es posible encontrar trabajos típicamente cuantitativos, con rigurosas técnicas econométricas, análisis cualitativos con técnicas etnográficas y de estudios de caso, y, más recientemente, técnicas mixtas y avanzadas que combinan la capacidad de procesamiento de software especializados con análisis basados en información recogida en entrevistas y observaciones participantes. En este aspecto, el debate ha sido de mucha menor intensidad, reconociendo la validez de las técnicas por su aplicación original (el campo disciplinar de origen) sin demasiada reflexión crítica respecto de los supuestos sobre los que se basa, la posibilidad de extrapolar resultados y la medida en que esos resultados contribuyen a incrementar el cuerpo teórico del campo, en especial cuando se aplica a contextos de menor desarrollo relativo.

A la heterogeneidad y especificidad que supone esta convergencia de campos y métodos, se suma además la complejidad propia del objeto de estudio, a saber, los procesos de CTI. Se trata de un objeto histórico en permanente cambio y con algunos elementos comunes y otros específicos a cada proceso territorial de desarrollo. Más aún, cuando el objeto se acota a un lugar y momento específico, se evidencian particularidades geopolíticas, sociales y culturales, que se suman a procesos también históricos en las estructuras económicas y productivas y, desde luego, de los sistemas nacionales de innovación. Aparece aquí otro desafío para el campo. Requiere de atención a las especificidades de cada territorio para explicar los procesos de CTI, pero también de la generalidad conceptual que permite incrementar nuestro saber respecto del proceso en cuestión.

Frente a ese desafío, los estudios de CTI han probado de manera cabal la necesidad de pensar estos procesos para la región latinoamericana en toda la especificidad intra e interregional, que se replica además en la escala de los países de la región. Estas consideraciones también aplican al plano metodológico, en el que el desafío es además práctico, dado el menor desarrollo de los sistemas de información de la región. Este libro pretende contribuir, en alguna medida, a pelear esos desafíos.

El objetivo de esta obra es compilar una serie de métodos y diseños metodológicos empleados para el estudio de los procesos de CTI, con foco en las particularidades y adaptaciones necesarias para su uso en América Latina. Está destinada a personas interesadas en desarrollar estudios en

la temática en la región, particularmente estudiantes de maestría, doctorado e investigadoras/res que deseen explorar nuevas alternativas para el análisis de sus problemas de investigación.

Con este marco, los capítulos organizados en tres volúmenes constituyen un conjunto no exhaustivo de propuestas que han probado ser útiles para el estudio de los procesos de CTI en la región, para un conjunto también no exhaustivo de tópicos sobre los cuales existe un intenso debate académico y de política pública. Asimismo, la selección de estas propuestas ha probado ser útil más allá del tema específico que se propone en cada capítulo, pudiendo servir de referencia para otros problemas de investigación, en especial, a partir de la combinación de capítulos. En este sentido, hemos pretendido que el conjunto de capítulos sea útil, además, para abordar esos temas que hoy no están presentes en el debate pero que por ese objeto de estudio dinámico, histórico y contextual es posible cobren relevancia en un futuro cercano.

Origen y motivación: redes de colaboración y debate regional

Este libro forma parte de las actividades de la Red Latinoamericana para el estudio de los Sistemas de Aprendizaje, Innovación y Construcción de Competencias (Red LALICS). LALICS es una red académica de América Latina y el Caribe que reúne a personas de la comunidad científica y del mundo de la política pública para la colaboración internacional y el estudio de los procesos de CTI y el desarrollo. Constituye el capítulo regional de la Global Network for Economics of Learning, Innovation, and Competence Building Systems (Globelics), con un foco similar, pero de escala global.

El trabajo de LALICS se estructura en torno a tres ejes: la investigación, la formación y la cooperación. Este libro resulta de la articulación de esos tres ejes, en la medida en que combina esfuerzos internacionales para la traducción de los resultados de investigación en una herramienta de soporte a las actividades formativas. De la misma forma, el marco conceptual que guía el desarrollo de los capítulos es el enfoque de los sistemas nacionales de innovación (SNI), por su capacidad para abordar fenómenos complejos, históricos y dinámicos (Dutrénit y Sutz, 2014) su impacto en los procesos de política pública en la región (Crespi y Dutrénit, 2013) y la acumulación de conocimiento que se ha producido en el interior de la red desde cada uno de sus ejes y en diálogo con otras

redes. Un claro ejemplo son los libros organizados desde la Universidad Nacional de General Sarmiento en la Argentina, que han generado una serie de contenido útil para las actividades formativas en la región desde una visión propia, concebida por la comunidad académica latinoamericana con un foco claro en las siguientes generaciones; los libros *Repensando el desarrollo latinoamericano: una discusión desde los sistemas de innovación*, editado por Erbes y Suárez (2016), y *Teoría de la innovación: evolución, tendencias y desafíos*, editado por Suárez, Erbes y Barletta (2020), conforman el acervo base al cual esta obra se quiere sumar. En particular, nos interesa señalar dos tipos de contribuciones esperadas de este nuevo esfuerzo colectivo:

1. Conceptual y situada. Cada uno de los capítulos se inicia con una breve presentación del marco conceptual desde el cual se piensan los métodos y metodologías, que en general responde al enfoque de los SNI. Seguidamente, se explican detalladamente las formas en que esos métodos y metodologías pueden ser aplicados para el estudio de los procesos de CTI y finalmente se presenta un caso de aplicación práctica, desde el cual es posible reflexionar en torno a las fortalezas, debilidades, limitaciones y potencialidades de las técnicas para objetos de estudio situados en el contexto de los países latinoamericanos. Por ejemplo, hay un amplio espacio para considerar cómo hacer un mejor tratamiento de la heterogeneidad estructural en el sector productivo, particularmente frente a los supuestos de normalidad que están presentes en los métodos cuantitativos. Y, también, está la oportunidad de potenciar los espacios de aplicación de los métodos cualitativos, ampliando las posibilidades que pueden ofrecer herramientas distintas a los estudios de caso.
2. Formativa y crítica. Esta obra no es un punto de llegada, sino de partida, en dos direcciones. La más importante está alrededor de las personas para quienes se pensó: la idea es contribuir con la formación de estudiantes interesadas e interesados en los estudios de CTI, quienes recurrentemente hacen referencia a los desafíos que enfrentan cuando buscan desarrollar sus trabajos de investigación; desafíos que luego acompañan a la comunidad científica (incluso a quienes tienen más tiempo haciendo investigación) cuando se enfrentan a nuevos problemas. De ahí el segundo punto

de partida: esta obra pretende ser un inicio para generar un debate claro y enfocado sobre cómo realizamos los estudios de CTI y las implicaciones que esto puede tener en el proceso de investigación, tanto en términos de la agenda de investigación que desarrollamos como en sus resultados y en las consideraciones sociales que estos tienen. La propuesta es que sea una obra viva, que pueda evolucionar con ediciones futuras, compañera de los procesos de desarrollo en América Latina.

El origen de esta obra se encuentra en la Segunda Conferencia LALICS, realizada en 2018 en la Ciudad de México, en la que a partir de los debates e intercambios se identificó la necesidad de generar un espacio de reflexión, pero también de formación respecto de las metodologías deseables y posibles para abordar los problemas de investigación dentro del campo de los estudios de CTI. En ese año, y como continuidad de un proyecto editorial de mayor data, se lanzó una convocatoria abierta a toda la red para presentar postulaciones a capítulos para la obra en cuestión. Se recibieron alrededor de cuarenta y siete postulaciones, de las cuales veintiséis fueron seleccionadas para participar y se compilan en esta obra. Las contribuciones provienen de la Argentina, Brasil, Chile, Colombia, México, Perú y Uruguay, en algunos casos en colaboración con investigadores/as radicados/as en Alemania, España y Estados Unidos. La diversidad de problemáticas, la originalidad en los abordajes empíricos y la posibilidad de replicar experiencias de investigación dan cuenta de la dinámica de producción de conocimiento de nuestra red y la importancia de la cooperación regional para la superación de los desafíos del desarrollo.

Estructura: metodologías y métodos desde una perspectiva contextualizada

Como se mencionara, el objetivo es poner a disposición del público interesado un conjunto de métodos y diseños metodológicos que sirvan de referencia para el abordaje de diversos problemas de investigación dentro del campo de los estudios de CTI. De manera deliberada, hemos omitido la reflexión epistemológica respecto de los métodos y el análisis de los resultados, no porque no la creamos necesaria o relevante sino porque

hemos decidido enfocar los esfuerzos en la generación de material de consulta para estudiantes de posgrado, académicas y académicos.

Este libro se estructura en tres volúmenes, que contienen además dos secciones transversales a todos ellos. La división de los volúmenes responde a la tradicional separación entre el análisis cualitativo y las técnicas mixtas, en la que además se combinan abordajes emergentes en materia de medición. Esta segmentación tiene por objeto simplificar el acceso a los diferentes métodos, aunque en detrimento de la posibilidad de combinaciones entre diferentes metodologías. No obstante, esperamos que esta introducción y las secciones transversales a todos los volúmenes despierten el interés por nuevas combinaciones y estructuras de clasificación al momento de abordar un problema de investigación.

La sección transversal incluye dos contribuciones, una sobre democratización del conocimiento y otra sobre transversalización de la perspectiva de género. En “I. La perspectiva democratizadora en el análisis de los procesos sociales de investigación e innovación”, Rodrigo Arocena y Judith Sutz reflexionan en torno a la construcción del objeto de estudio y su abordaje empírico, la demanda por sus resultados, la posibilidad efectiva de apropiación y los procesos de evaluación en relación con los procesos de democratización del conocimiento. En este marco, proponen reflexionar sobre la forma en que los procesos de investigación contribuyen con la expansión del poder al pueblo y la disminución de las desigualdades que emergen de una distribución inequitativa del conocimiento entre personas y naciones. En “II. Desafíos para la investigación. ¿Ciegos o con perspectiva de género?”, Nora Goren aporta pautas para pensar la transversalización de la perspectiva de género en los procesos de investigación. Para ello, recorre con una perspectiva histórica y sitúa el concepto de género, el uso del lenguaje inclusivo y por qué resulta necesario contemplar las desigualdades sexogenéricas durante todo el proceso de creación de conocimiento.

Volumen 1. Métodos cualitativos

El volumen 1 compila siete capítulos centrados en los abordajes cualitativos de los procesos de CTI. En el capítulo 1 “Uso de diseños flexibles de investigación para el análisis de procesos de ciencia, tecnología, innovación y sociedad (CTIS) en América Latina”, Elena Mendoza y Marcela Amaro analizan el uso de métodos flexibles en el estudio de problemas

de CTI en América Latina. Su trabajo aporta al debate respecto de dos estrategias metodológicas, los estudios de caso y los estudios etnográficos, los que son luego aplicados para el estudio de los procesos de transición hacia el desarrollo sostenible de comunidades locales de México.

En el capítulo 2 “Possibilidades e implicações da abordagem fsQCA para analisar dimensões qualitativas da inovação: os casos brasileiros de desenvolvimento tecnológico e institucional do setor produtivo de defesa e capacidade de absorção de firmas na interação universidade-empresa”, Orlando Martinelli, Júlio Eduardo Rohenkohl y Janaína Ruffoni presentan el método de conjuntos difusos de análisis cualitativo comparativo (fsQCA por sus siglas en inglés) y proponen una forma de articulación epistémica integrada de todas las etapas de la investigación, incluida la reflexión respecto de variables lingüísticas y la traducción en forma de cuestionarios de la información a relevar. Aplican luego el análisis al caso de la promoción de un polo de defensa y la interacción universidad-empresas en el Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.

El capítulo 3 “Una guía rápida para realizar investigación basada en la estrategia de estudios de caso: aplicaciones para el estudio de capacidades tecnológicas”, Gabriela Dutrénit, Arturo Torres y Alexandre O. Vera-Cruz presentan los estudios de caso enfocados en análisis a nivel de empresa, como una herramienta para responder preguntas de investigación sobre cómo se desarrollan los procesos en el interior de ellas, así, plantean distintos tipos de estudios de caso y estrategias para su diseño.

En el capítulo 4, “ATLAS.ti: una herramienta para el desarrollo de métodos de análisis cualitativo”, Soledad Rojas-Rajs y Marcela Suárez muestran cómo el uso de un software dedicado al análisis cualitativo puede ser operacionalizado en distintos proyectos de investigación. Además de presentar recomendaciones prácticas, las autoras buscan dar una guía de lineamientos previos al uso de la herramienta que permita obtener resultados de investigación más rigurosos.

El capítulo 5 “Innovación y desarrollo desde un enfoque sistémico y contextualizado: el enfoque de los arreglos productivos locales en Brasil” escrito por José Cassiolato, Helena Lastres, Marcelo Matos y Micaela Mezzadra propone un abordaje metodológico para los estudios basados en el concepto ya clásico de arreglos productivos locales (APL) en los que se incluye la reflexión respecto de los criterios de selección, la delimitación del APL, la definición de actores, actoras e instituciones a relevar, los instrumentos de recolección de información y su posterior tratamiento. Su observación práctica se basa en el trabajo realizado desde la RedeSist

y la aplicación del enfoque de los APL al estudio de múltiples casos en Brasil y otros países de la región.

El capítulo 6, “El estudio de caso múltiple para el análisis de las proximidades en entramados locales de América Latina”, está escrito por María Eugenia Castela Caruana, Mariel de Vita y Pablo Lavarello, quienes analizan los aportes y limitaciones del método de casos múltiples en articulación con el marco de proximidades y las consideraciones necesarias para su aplicación a las condiciones de los países de América Latina. En el capítulo se sugiere adoptar un enfoque dinámico de las proximidades que incluya la tensión entre espacios nacionales y grupos económicos internacionales, el papel del Estado en los procesos de aprendizaje e innovación y las jerarquías de las proximidades a lo largo de estos procesos.

El volumen 1 concluye en el capítulo 7, “Propuesta metodológica desde el enfoque de sistemas sociotécnicos: el caso de la biotecnología aplicada a la salud en México”, a cargo de Luis Jiménez, José Miguel Natera y Daniel Villavicencio. En este texto se muestra cómo operacionalizar el estudio integrado de sistemas sociotécnicos, mostrando alternativas para la sistematización de datos que permitan la caracterización del paisaje sociotécnico, el régimen sociotécnico y los nichos; utilizando el caso de la biotecnología con aplicaciones en salud en México.

Volumen 2. Métodos cuantitativos

En el volumen 2 se incluyen once capítulos que abordan diferentes técnicas cuantitativas para el estudio de los procesos de CTI. En el capítulo 1 “La aplicación de técnicas de análisis multidimensional para el estudio de la organización del trabajo”, Sonia Roitter y Analía Erbes sistematizan experiencias prácticas de aplicación del análisis factorial de correspondencias múltiples (AFCM) y de clúster en un marco de análisis multidimensional. Aplican luego este bagaje metodológico al caso de la relación entre la organización del trabajo y los procesos de innovación entre empresas argentinas.

En el capítulo 2, “Consideraciones para realizar estudios comparados utilizando datos provenientes de las encuestas de innovación en América Latina y el Caribe”, Sandra Zárate, Nadia Albis, José Miguel Natera, Erika Sánchez y Fernando Vargas realizan un balance sobre las principales implicaciones metodológicas al momento de realizar estudios comparativos basados en las encuestas de innovación realizadas en la región. El

capítulo compila la revisión de doce encuestas de innovación aplicadas durante la ventana de observación de cinco años (2012-2016).

El capítulo 3 “Desafíos para los países de América Latina y el Caribe en la medición de la innovación frente a la edición 2018 del *Manual de Oslo*”, escrito por Mónica Salazar, Nadia Albis, Sandra Zárate y Fernando Vargas avanza en la discusión iniciada en el capítulo anterior, al realizar el análisis y los desafíos que enfrentan los países de la región al momento de implementar las nuevas directrices brindadas en el *Manual de Oslo* en su versión 2018 en sus encuestas de innovación. En el capítulo se realiza una comparación entre ediciones y se revisan los conceptos y definiciones principales, las categorías de medición y análisis propuestas, las metodologías sugeridas y los métodos de recolección de información.

En el capítulo 4 “¿Complementariedad o sustitución sobre el comportamiento innovador? Desarrollo de la estrategia empírica a partir del test de supermodularidad”, Carlos Bianchi y Pablo Blanchard desarrollan estrategias empíricas para estimar efectos de supermodularidad (complementariedad) o submodularidad (sustitución) de determinados eventos sobre el comportamiento innovador de las empresas. Los autores presentan ejemplos aplicados, los fundamentos lógico-matemáticos y las rutinas de programación para los software Stata y R basados en encuestas de innovación, y las consideraciones necesarias al momento de analizar empresas localizadas en países latinoamericanos y sus respectivas encuestas.

El capítulo 5 “Modelado con ecuaciones estructurales: una herramienta para observar y relacionar lo inobservable”, de Soledad Contreras y Natalia Gras consiste en el estudio de las posibilidades que ofrecen los modelos de ecuaciones estructurales en el campo de CTI a partir de dos aplicaciones. Por un lado, el estudio sobre las relaciones entre dimensiones asociadas a la evaluación académica y los modos de producción de conocimiento en México. Por el otro, el desarrollo de un índice de vulnerabilidad energética para Montevideo. En ambos casos, las autoras presentan el conjunto de procedimientos implementados para desarrollar y validar ambos modelos y reflexionan en torno a la interpretación de los resultados y las limitaciones del modelo.

En el capítulo 6 “Uso de paneles de datos para la evaluación de la política de innovación”, Florencia Fiorentin, Mariano Pereira y Diana Suárez reflexionan en torno a la evaluación de los procesos de asignación e impacto de la política de innovación a nivel de la firma a través de la combinación de estrategias metodológicas vinculadas con los estudios

dinámicos en paneles de datos. Además del desarrollo de los modelos, en el capítulo se discuten las implicancias del marco conceptual de la política al momento de evaluarla, y se reflexiona en torno a las especificidades para América Latina y el Caribe y se proveen algunas recomendaciones generales e implicancias para el análisis.

En el capítulo 7 “Regresiones transversales. ¿Tienen pertinencia en el estudio de la innovación?”, Andres Felipe Zambrano-Curcio, Norida Constanza Vanegas Chinchilla, Nicolas Fuentes y Jana Schmutzler analizan el método de regresiones transversales y cómo a pesar de su desventaja de no poder establecer relaciones de causalidad entre variables constituyen potentes herramientas de base para investigaciones cuantitativas. Además de revisar la literatura basada en el estudio de encuestas de innovación, el capítulo presenta distintos modelos de regresiones a partir de datos discretos, reflexiona en torno a las problemáticas que surgen al momento de la aplicación y el análisis y propone algunas soluciones.

El capítulo 8 “Métodos de análisis de insumo producto: aplicaciones a la CTI en América Latina”, Patieene Alves-Passoni, Leobardo Enríquez, Rosa Gómez Tovar, Brenda Murillo-Villanueva y Martín Puchet Anyul (coord.) presentan una serie de ejercicios que muestran la repercusión de las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en la estructura mesoeconómica de los países o de conjuntos de ellos utilizando el enfoque de insumo, producto y su metodología; abordando temas como la deflactación, la descomposición y las posibilidades de usar la matriz interpaíses junto con una serie de reflexiones finales sobre los usos y posibles extensiones del conjunto de métodos asociados.

En el capítulo 9 “Cointegración para el estudio de la evolución de los sistemas de innovación”, José Miguel Natera y José Ignacio Ponce presentan el método de cointegración como una alternativa para incorporar la dimensión temporal de forma estructurante en el análisis cuantitativo de los sistemas de innovación, particularmente en su visión nacional y en la relación que estos tienen con los procesos de desarrollo económico. Así, presentan tres alternativas para el uso del método (análisis de regresiones de cointegración, cointegración en series temporales y cointegración en panel), acompañadas de una discusión sobre los datos necesarios para su aplicación y de posibles extensiones en su uso.

El capítulo 10 “Análisis multinivel: retos y oportunidades para el estudio de los procesos de innovación en América Latina”, escrito por Guillermo Orjuela-Ramírez y Julio César Zuluaga presentan las principales ventajas y oportunidades de investigación basadas en los análisis con

un enfoque multinivel, considerando cómo aplicar la técnica multinivel mediante un ejercicio empírico usando datos de encuestas de innovación disponibles en América Latina, reflexionando sobre las ventajas, desventajas y limitaciones.

En el capítulo 11 “Drivers tecnológicos del crecimiento. Indicadores agregados y el tratamiento agregado de la heterogeneidad”, Nuria E. Laguna Molina y Ana Urraca Ruiz proponen una reflexión respecto de la identificación de los principales conductores tecnológicos del crecimiento (drivers) y su naturaleza para avanzar luego en una propuesta de medición y análisis cualitativo a través de un modelo de crecimiento con datos de panel.

Volumen 3. Métodos mixtos y emergentes

El volumen 3 compila ocho capítulos en los que hemos incluido técnicas mixtas y emergentes. Algunas de esas técnicas presentan fuertes solapamientos y articulaciones con los capítulos de los volúmenes anteriores, pero entendemos que su tratamiento conceptual por separado contribuye a identificar fortalezas, debilidades y especificidades de cada una de las técnicas cuando se aplican a casos localizados en los países de América Latina. Así, en el capítulo 1 “Análisis del proceso de innovación en América Latina a partir de la combinación metodológica de la modelación basada en agentes y el análisis de redes sociales” Walter Lugo Ruiz-Castañeda, Juan F. Franco-Bermúdez y María Luisa Villalba-Morales presentan una propuesta para combinar la modelación basada en agentes con el análisis de redes sociales y analizan algunos trabajos que han combinado las metodologías en América Latina.

En el capítulo 2 “El análisis de redes sociales: una herramienta de análisis para entender los patrones de creación y difusión de conocimiento. Su aplicación a colaboraciones científicas y de conocimiento interorganizacionales”, Lilia Stubrin y Cecilia Tomassini exploran la metodología del análisis de redes sociales (ARS) como herramienta para entender los patrones de creación y difusión de conocimiento. Tal como se expresa en su título, el foco del capítulo está puesto en la aplicación del ARS al análisis de las colaboraciones científicas e interorganizacionales. Las autoras proponen una reflexión en torno a la técnica y sus implicancias y limitaciones para estudiar fenómenos en Latinoamérica.

El capítulo 3 “Aplicaciones de la teoría de grafos al análisis de sistemas de innovación y espacios tecnológicos”, escrito por Ana Urraca Ruiz, Pedro Miranda y Vanessa de Lima Avanci, se presentan las nociones básicas de teoría de grafos y cómo se pueden construir grafos para representar y analizar bases de conocimiento. En el capítulo se analizan los conceptos clave para la aplicación de la técnica, se revisan las principales fuentes de información disponibles y se proponen indicadores para analizar sus propiedades.

En el capítulo 4 “Modelado y simulación de problemas de CTI con dinámica de sistemas”, Mauricio Uriona Maldonado y Milton M. Herrera presentan el método de simulación de dinámica de sistemas y su aplicación en problemas de CTI en América Latina. El capítulo incluye una descripción de los conceptos y premisas importantes para la aplicación del método, las etapas del proceso de modelado, junto con ejemplos de aplicación para cada una, y una reflexión respecto de las potencialidades y limitaciones para su aplicación en casos localizados en América Latina.

En el capítulo 5 “El método de revisión de la literatura estructurada para los estudios de CTI”, Caroline Rodrigues Vaz y Mauricio Uriona Maldonado describen el método de revisión estructurada de literatura, sus pasos y etapas y, para cada una de las etapas, se proveen ejemplos de aplicación en un tema relacionado con los procesos de CTI, conjunto de software informático necesario y las implicancias para América Latina y el Caribe.

El capítulo 6 “Modelación y simulación como herramientas para la comprensión de fenómenos emergentes en la difusión y transferencia de tecnologías”, escrito por William Alejandro Orjuela Garzón y Santiago Quintero Ramírez reflexionan en torno a las diferentes aplicaciones de la modelación basada en agentes (MBA) con énfasis en los procesos de transferencia y difusión de tecnologías. En el capítulo se parte de un análisis respecto de los paradigmas de simulación y se presenta el proceso metodológico para construir, verificar y validar un MBA, así como también las herramientas computacionales para su construcción.

El capítulo 7 “El análisis semántico-estadístico como estrategia de abordaje metodológico: reflexiones sobre su pertinencia en el estudio de problemáticas latinoamericanas” de Matías Milia y Rodrigo Kataishi consiste en la presentación y análisis de técnicas para entender y procesar datos textuales en el estudio de las dinámicas de CTI. Se propone una reflexión en tres dimensiones: conceptual, analítica e informática, a partir de las cuales se avanza en el análisis del impacto en las prácticas de investigación y el potencial de su aplicación en América Latina.

El capítulo incluye además la presentación de cuatro casos de estudios empíricos a partir de los cuales se desarrollan los conceptos clave.

Finalmente, en el capítulo 8 “Modelos estructurales cualitativos para el estudio y comprensión de los procesos de ciencia tecnología e innovación”, Mayela Saraí, López-Castro, Nayely Martínez, Natalia Gras y José Miguel Natera muestran cómo los modelos estructurales cualitativos son una herramienta para deducir e interpretar estructuras, dimensionalidad y relaciones subyacentes en los fenómenos complejos. Utilizan información cualitativa y para ello presentan dos métodos: el modelado estructural interpretativo total y el análisis estructural-causal cualitativo, señalando los pasos a seguir para su aplicación.

Así, a través de veintiséis capítulos y dos secciones especiales, esta obra compila un amplio abanico de estrategias metodológicas para el estudio de los procesos de CTI en la región latinoamericana. Se trata, desde luego, de una selección arbitraria de temas pero que por su proceso de selección y los debates que tuvieron lugar en el marco de este proyecto, reflejan en gran medida muchos de los temas de investigación que están siendo objeto de debate en la región y en el mundo. Esperamos con ello contribuir a ese debate, con una mirada desde y para América Latina.

Bibliografía

- Cohen, W. M. y Levinthal, D. A. (1989). “Innovation and Learning: The Two Faces of R&D”. *Economic Journal*, vol. 99, n° 397, pp. 569-596. DOI: <https://doi.org/10.2307/2233763>.
- Crespi, G. y Dutrénit, G. (eds.) (2013). *Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo: la experiencia latinoamericana*. México: FCCyT/LALICS.
- Dutrénit, G. y Sutz, J. (eds.) (2014). *Sistemas de Innovación para un Desarrollo Inclusivo. La experiencia latinoamericana*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Erbes, A. y Suárez, D. (comps.) (2016). *Repensando el desarrollo latinoamericano: Una discusión desde los sistemas de innovación*. Los Polvorines: UNGS. Disponible en: https://repositorio.ungs.edu.ar/bitstream/handle/UNGS/275/712_RepensarDesarrollo_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Suárez, D.; Erbes, A. y Barletta, F. (comps.) (2020). *Teoría de la innovación: evolución, tendencias y desafíos*. Los Polvorines/Madrid: UNGS/Ediciones Complutense.

I.

La perspectiva democratizadora en el análisis de los procesos sociales de investigación e innovación

Rodrigo Arocena y Judith Sutz

Presentación

El conocimiento es poder; la vieja frase se refiere a una realidad aún más antigua, pero debe ser reformulada y afinada: el conocimiento científico y tecnológico de punta es hoy una fuente de poder hoy más que nunca. La afirmación, como debiera ser evidente, no tiene carácter normativo sino descriptivo: guste o no guste, así parecen ser las cosas.

El poder de un grupo puede ser considerado como la posibilidad que tiene de lograr sus fines mediante el control de su entorno natural y social. Tecnología y organización son medios fundamentales de poder. La expansión del conocimiento científico ha alimentado el gravitante despliegue de las tecnologías de la producción, la destrucción, la comunicación, la información, etc. Las organizaciones más fuertes –empresas, Estados, ejércitos, iglesias, etc.– suelen tener posibilidades grandes de usar las tecnologías para robustecer su poder. Esto sucede “hacia afuera”, como dominio de la organización sobre su entorno, y también “hacia adentro”, como dominio en el interior de la organización de quienes dirigen y controlan sobre los dirigidos y controlados.

La creación y el uso de conocimiento son actividades que involucran a la vez la cooperación y el conflicto de variados actores. En los procesos sociales de investigación e innovación hay ganadores y perdedores. Ignorarlo no ayuda a los muchos perdedores y hace difícil enfrentar las olas

“anticiencia” con sus numerosos perjuicios, particularmente su notable contribución a la degradación ambiental y climática. Ignorarlo tampoco ayuda a comprender que nunca hay una única forma de encarar y solucionar un problema dado, que lo que se presenta como ineluctabilidad tecnológica –“no hay alternativa”–, derivada de una superioridad medida sobre todo en términos técnicos, no es tal si se toman en cuenta otros parámetros.

En general, los impactos diferentes del conocimiento avanzado en las condiciones de vida de distintos grupos humanos, incluyendo la expansión o la disminución de la desigualdad entre ellos, dependen en gran medida de las relaciones de poder: prestarle a tal cuestión una atención especialísima es la principal sugerencia metodológica que orienta las páginas siguientes. Las relaciones de poder se expresan, por ejemplo, en la conformación de las agendas de investigación y de innovación: ¿los problemas de quiénes se toman en cuenta? También se expresan en las heurísticas seguidas para abordar problemas: las soluciones encontradas podrán ser soluciones para algunos y no para otros. En ocasiones, las relaciones de poder detrás de qué se investiga y qué no, en torno a qué se innova y qué no, aparecen de forma inmediata; en otras, se vuelven mucho menos visibles justamente por no reconocer que en los procesos sociales de investigación e innovación hay ganadores y perdedores.

Este manual será sin duda un aporte sustantivo para elevar el nivel de los estudios sobre ciencia, tecnología, innovación y sociedad en América Latina. La invitación a contribuir al mismo nos honra y, además, nos ofrece una oportunidad para subrayar que tales estudios se benefician cuando aportan una pluralidad de enfoques en combinación con el diálogo entre aproximaciones distintas. En un trabajo anterior sugerimos vías para ello a través de la construcción de una agenda compartida (Arocena y Sutz, 2020). Aquí, de manera harto sintética, pero esperemos que autocontenida, se argumenta que al mismo objetivo puede colaborar el que distintos análisis tengan en cuenta una perspectiva transversal sobre la democratización del conocimiento. La misma, en definitiva, no es sino una parte de la respuesta a la pregunta, también muy vieja, acerca de por qué y para qué impulsar la investigación y la innovación.

Actores y poder en los sistemas de innovación

Las concepciones más elaboradas de los sistemas nacionales de innovación (SNI) atienden prioritariamente las tecnologías, instituciones e influencias mutuas entre unas y otras. Consideran a la innovación como proceso “distribuido” e interactivo, lo que implica que variados actores participan, que las iniciativas pueden surgir en ámbitos diferentes y que los resultados dependen altamente de los vínculos entre los participantes. Para tales concepciones la innovación es más efectiva –genera mayor poder, es decir, incrementa la posibilidad de que algunos logren sus fines mediante el control de su entorno natural y social, diríamos por cuenta nuestra– cuanto más sistémica sea, vale decir, cuanto más sólidas y estables sean las interacciones entre los actores involucrados.

Ahora bien, ¿quiénes orientan la innovación y se benefician de ella? Más en general, ¿cómo inciden las modalidades prevalecientes de la innovación en la expansión del poder de la nación y en su distribución interna? Para encarar estas cuestiones cabe considerar el triángulo de Sabato como un triángulo nuclear del poder en un SNI dado: el vértice estatal concentra el poder político y militar, el vértice productivo lo hace con el poder económico, y el tercer vértice es el principal generador de conocimientos.

El desarrollo económico acelerado de Corea del Sur y Taiwán llevó a ambos países a superar la condición periférica; fue comandado por la alianza entre las cúpulas del Estado y el empresariado, forjado por dictaduras militares y cementado por la ideología del nacionalismo tecnológico. Este último les permitió enfrentar con éxito el poder ideológico, acompañado por el poder económico, de los intereses extranjeros que les indicaban cuál era su lugar en la división internacional del trabajo, lo que promovió la generación nacional de conocimiento avanzado y su incorporación a la producción. El triángulo nuclear del SNI se afianzó; el poder de cada nación se expandió y su distribución interna tuvo lugar durante largo tiempo en contextos antidemocráticos y en desmedro de los trabajadores.

Una experiencia anterior de superación de la condición periférica fue protagonizada por los países escandinavos; tuvo como columna fundamental la conformación de SNI mucho más inclusivos que en el Este de Asia, basados en un entendimiento de largo plazo entre gobiernos democráticos, empresariado y sindicatos, así como en el respaldo a la investigación científica, de modo tal que la ideología del Estado de bienestar

incidió significativamente en la orientación de la innovación y en la diversidad de actores que en ella participaron. El desarrollo económico consiguiente fortaleció el poder de cada uno de esos países mientras que la distribución interna del poder ha sido de las menos desiguales que la historia registre.

En América Latina, sin desmedro de su enorme diversidad, cabe decir que los SNI han sido por lo general más virtuales que reales. Las dinámicas prevalecientes de la economía han generado comparativamente escasas demandas de conocimiento avanzado y las han dirigido mayoritariamente hacia el exterior; los gobiernos no han logrado revertir ese fenómeno central y en la mayor parte de los casos no lo han intentado. Así, el conocimiento endógenamente generado ha sido fuente de poco poder de cada nación como tal y en el interior de ella, por lo cual los actores sociales y políticos no le han prestado demasiada atención; en tal contexto, la condición periférica ha seguido vigente. Ella tiene entre sus cimientos la arraigada dependencia ideológica, que privilegia la investigación y la innovación externas por el solo hecho de serlo, y favorece la desprotección frecuente de los procesos internos de aprendizaje cognitivo y productivo.

Las consideraciones precedentes sugieren que, a la hora de analizar los procesos sociales de investigación e innovación, se preste especial atención a establecer cuáles son los actores que realmente forman parte del SNI y en qué medida inciden en sus orientaciones. Al respecto conviene no olvidar que existen actores fuertes en conocimiento y actores débiles en conocimiento. Empresas grandes con departamentos de I+D formalmente constituidos ejemplifican el primer caso, empresas pequeñas sin siquiera un técnico de nivel universitario, el segundo; las políticas dirigidas a la producción no pueden ser de talla única y los analistas no deben ignorarlo. En el mundo periférico, la mayor parte de los grupos y actores son débiles en conocimiento, lo que de hecho los margina de los sistemas de innovación y refuerza el carácter subordinado que a menudo les imponen las relaciones sociales prevalecientes. Políticas de conocimiento y de innovación diseñadas en el olvido de este hecho central refuerzan la subordinación.

Lo que aquí se plantea se apoya en la afirmación normativa de que el conocimiento debe respaldar el desarrollo humano sustentable entendido como la expansión de las capacidades y libertades de la gente para vivir vidas que se consideran valiosas y en formas que tiendan a proteger y reparar el ambiente más que a deteriorarlo. No se trata de

discutir aquí acerca de los variados orígenes del conocimiento: se trata sí de reconocer y tomar centralmente en cuenta que, como se decía al comienzo, el conocimiento científico y tecnológico de punta es hoy una fuente de poder más que nunca en la historia. Por eso mismo cobra importancia la afirmación normativa ligando conocimiento con desarrollo humano sustentable.

Tiene carácter tanto normativo como fáctico la afirmación de que considerar a la gente no como pacientes sino como agentes es imprescindible para promover ese tipo de desarrollo. En todas partes se multiplican los esfuerzos e iniciativas que enfrentan a la falta de sustentabilidad, a las variadas manifestaciones de la desigualdad y al avance de los autoritarismos. Es una comprobación fáctica que esas formas de la agencia no pueden tener éxito profundo y a largo plazo si no se insertan en redes y sistemas fuertes en conocimiento. El desarrollo requiere pues que la democratización, como expansión del poder del pueblo, alcance al conocimiento, lo que significa tanto fortalecer cognitivamente a los países periféricos como disminuir en todos los países las desigualdades basadas en el conocimiento. Esta perspectiva general para el análisis de los procesos sociales de investigación e innovación lleva a sugerencias concretas como las que se mencionan a continuación, que no pretenden ser realmente guías metodológicas, sino tan solo aportes para la reflexión.

Algunas dimensiones del análisis

Las *agendas* predominantes en la investigación y la innovación constituyen un indicador sustancial, y en buena medida accesible al análisis, del condicionamiento social de ambas actividades, especialmente de los intereses y las ideas que mayor gravitación tienen en ellas. Los problemas que se priorizan o postergan anticipan en buena medida quiénes se beneficiarán y, también, quiénes se perjudicarán con las nuevas técnicas que se pongan a punto. Dos de los ganadores del Premio Nobel de Economía 2019 dicen que, en materia de inteligencia artificial vinculada a la salud, se privilegia la automatización de los procedimientos de las compañías de seguros y se desatiende la elaboración de procedimientos que ayuden a las personas recién operadas a recuperarse en sus hogares con ayuda de personal especialmente preparado (Banerjee y Duflo, 2019). Buena parte de lo que importa queda en evidencia mediante este ejemplo: la atención a los intereses de pocos en desmedro de los beneficios potenciales para

muchos, la destrucción de empleo en lugar de la creación de tareas calificadas, las posibilidades que se abren para las políticas públicas con el fin de reorientar esfuerzos fundamentales.

La dimensión recién destacada se vincula estrechamente con la que tiene que ver con las *demandas* de conocimiento nuevo. Desde este punto de vista, en principio, la que más gravita es la demanda solvente, vale decir, la respaldada por el poder de compra. Es también la menos difícil de registrar; pero no debiera ser la única a considerar. Tan conocida como sintéticamente elocuente es la afirmación de la Organización Mundial de la Salud según la cual el 90% de los recursos destinados a la investigación en este campo se vincula con los problemas que afligen al 10% de la población mundial. Así, se pone de manifiesto la existencia de una demanda social de conocimientos cuya mejor atención multiplicaría los beneficios de la investigación y la innovación, cuestión por ende fundamental para las políticas en este campo. En los análisis de esta temática vale la pena tener en cuenta que la demanda efectiva puede ser bastante menor que la demanda potencial no solo por falta de fondos, sino por cuestiones propiamente cognitivas; en efecto, las necesidades de conocimiento nuevo, aun si están respaldadas por un poder de compra, no siempre son fáciles de traducir a problemas formulados de modo que puedan incorporarse a la agenda de investigación e innovación.

Las agendas y demandas tienen mucho que ver con la desigualdad ligada al conocimiento. Ambas se vinculan directamente con la dimensión de las *heurísticas* de la investigación y la innovación. ¿Qué soluciones se buscan, mediante cuáles estrategias cognitivas, contando con cuántos recursos, considerando satisfactorios qué tipo de resultados? Esta es una temática inmensa de la cual aquí se mencionará una faceta, la capacidad de innovar en condiciones de escasez que ha forjado en varias regiones del Sur global heurísticas propias a partir de talentosas respuestas originales a la penuria de recursos (Srinivas y Sutz, 2008). La pandemia ha multiplicado particularmente en América Latina los ejemplos de ese tipo de innovación frugal basada en investigación del más alto nivel, cuyo balance de costos y beneficios ha despertado el interés del Norte. Heurísticas semejantes pueden contribuir, junto con el imprescindible incremento de la inversión en investigación e innovación, a enriquecer sus agendas y a prestar mayor atención a la demanda social. Ambas son formas concretas de democratizar el conocimiento. Las heurísticas predominantes han sido generadas en el Norte, por lo general en contextos de relativa abundancia de recursos materiales, lo cual no contribuye al uso frugal

de los bienes naturales. Esta dimensión se vincula pues estrechamente con la problemática de la sustentabilidad.

La dimensión de los *objetivos* generales de la investigación y la innovación merece también ser considerada explícitamente. Durante largo tiempo se asumió con poca discusión que el propósito central de la innovación técnico-productiva es contribuir a la competitividad económica. Aun dentro de este marco, los requisitos de conocimiento pueden variar considerablemente en profundidad y amplitud cuando los objetivos se especifican algo más; para ponerlo de manifiesto basta recordar la distinción clásica destacada por la CEPAL entre competitividad “espuria” y competitividad “auténtica”. La primera se basa particularmente en los bajos salarios y en el uso sin contemplaciones de los recursos naturales, mientras que la segunda pretende ser compatible con el desarrollo humano sustentable. Agendas, demandas y heurísticas pueden ser distintas en uno u otro caso, y diferir todavía mucho más si se apunta a objetivos que no se reduzcan al fomento de la competitividad. Un ejemplo de ello lo constituyen los programas de investigación e innovación orientados a respaldar la inclusión social, que trabajosamente se han venido abriendo paso en tiempos recientes.

En la perspectiva que aquí se esboza, el análisis de los procesos de generación y uso del conocimiento debe también prestar atención a las *disciplinas involucradas*. Los problemas de la realidad no vienen por lo general encuadrados por disciplinas, pero las dificultades del trabajo interdisciplinario suelen ser grandes y más bien inmunes a discursos en pro del holismo. El conocimiento avanzado exige especialización, pero, cuando se apunta a usarlo eficazmente, rara vez es asunto de una sola especialidad. Menos lo es cuando se quiere comunicar bien lo que se hace. Y mucho menos cuando se quiere tener en cuenta las interacciones entre ciencia, tecnología y sociedad. En suma, no conviene descuidar la dimensión interdisciplinaria.

Igualmente digna de atención es la dimensión de los *actores* que se consideran. El enfoque que aquí se sugiere puede ilustrarse a partir de la cuestión de las relaciones entre academia y producción. Su frecuente denominación como “universidades y empresas” hace obvio el descuido de una gama de actores –sindicatos, cooperativas, asociaciones de pequeños productores, etc.– lo que, por un lado, implica perder sus potenciales aportes a los procesos innovativos y, por otro, dada la orientación predominante de las agendas de innovación, puede dejarlos al margen de sus resultados. El grado de compromiso con la democratización puede estimarse a partir

de lo que se hace en pro del involucramiento real de ese tipo de actores en los procesos de investigación e innovación que les conciernen.

Actores distintos tienen tipos diferentes de conocimiento valiosos pero que pueden o no ser tenidos en cuenta. Se aprende desde lo que se sabe, y los aprendizajes en general expanden las capacidades para desempeñarse como agentes. La concepción de la innovación como proceso distribuido e interactivo recuerda que hay que prestar atención a lo que se puede hacer en variados ámbitos y a partir de la combinación de aportes diversos. Lo recién anotado destaca la dimensión de los *procesos interactivos de aprendizaje*, en los que todos los actores involucrados pueden aprender de los demás en la búsqueda conjunta de soluciones a problemas significativos; detectar y analizar procesos semejantes ayuda a captar en qué medida la innovación, en un lugar geográfico o un sector de actividad, tiene carácter sistémico.

Gran parte de lo antedicho tiene que ver con el tipo de innovación que se tiene en cuenta o, por el contrario, se deja fuera de los estudios, aunque sea implícitamente. Esto último suele suceder con el tipo de innovación que tiene carácter más o menos informal, lo que en modo alguno equivale a trivial. Ello tiene particular importancia para una perspectiva pensada “desde y para Latinoamérica”, como lo reivindica este manual. En efecto, en el Sur en especial, la innovación formal está lejos de ser la única digna de atención. Lo que se incluye o no en el *registro* de actividades creativas es una dimensión del análisis que mucho puede decir acerca de los sistemas de innovación, sus componentes, sus capacidades y su potencial de futuro.

Por este camino, como por tantos otros, se llega a la dimensión de la *evaluación*: ¿con qué criterios se aprecian las actividades de investigación e innovación? Los predominantes son bastante pobres, privilegian indicadores más formalizados que sustantivos, subordinan lo cualitativo a lo cuantitativo y dejan de hecho en manos ajenas a la región la valoración de lo que en ella se hace. Si tales criterios son adoptados de manera acrítica y estereotipada, como si fueran los obvios, no se está analizando “desde y para Latinoamérica”. Cosa no menos grave, se arriesga desatender investigaciones altamente originales e innovaciones socialmente muy valiosas.

En fin, la *apropiación* de los resultados de las labores creativas es una dimensión del análisis cuya importancia en esta perspectiva apenas precisa ser justificada. Incluye la consideración de las justificaciones, fundadas o ficticias, para la distribución de los beneficios ligados a la generación y uso de conocimientos. Tiene que ver con la mayor o menor

validez del sistema de patentes y con la conveniencia de reemplazarlas en cierta medida por otras recompensas, como los premios. En tiempos de pandemia, cuando los conflictos por el acceso a las vacunas ocupan los primeros lugares de la información, la cuestión hace evidente lo que significa la democratización del conocimiento.

Una hora latinoamericana

Mirando al continente desde nuestro rincón, parece que la creación endógena de conocimientos está haciendo aportes al enfrentamiento al covid-19 que la realzan como nunca antes a los ojos de la ciudadanía. Esta legitimidad configura una notable oportunidad; los estudiosos pueden contribuir a que no sea desaprovechada.

Las sugerencias consideradas en la sección precedente tienen como sustento común una afirmación central, que aquí corresponde explicitar: cada uno de nuestros países necesita y puede tener investigación e innovación nacional, de nivel internacional, con vocación social. Esos tres rasgos caracterizan a la creación de conocimientos orientada a su democratización. Corresponde analizar su vigencia en la realidad. Para ello puede no ser superfluo comentar brevemente sus respectivos contenidos. Se verá así que las dimensiones del análisis que se plantearon antes son algunas entre varias maneras posibles de “operacionalizar” dicha afirmación central.

Investigación e innovación nacional significan lo contrario tanto de parroquial o aislada como de subordinada o auxiliar. O’Donnell (2004) dice que en el Norte se espera que la labor académica del Sur consista en ayudar con datos primarios a la elaboración teórica que allí se hace y que aquí recibiremos como consumidores de productos terminados, en modo afín a la división del trabajo propia del sistema centro-periferia. La creación nacional debe apuntar a intervenir como protagonistas en los debates globales sobre ideas y alternativas, contribuyendo así a la autonomía cultural y política de los países de nuestra región latinoamericana.

La investigación e innovación de nivel internacional son necesarias porque nada menos que eso puede conformarnos cuando se trata de la creación de cultura y de las condiciones de vida en nuestros países. Que ese nivel no sea espurio e impuesto desde afuera sino auténtico y establecido en diálogos horizontales depende en gran medida de que cultivemos nuestras propias capacidades, que las conozcamos y confiemos en ellas.

La investigación e innovación con vocación social es lo que contribuye a que el poder del conocimiento no favorezca ante todo a los más privilegiados, como es la dinámica prevaleciente en nuestra época, sino que contribuya al bienestar material y espiritual de todos priorizando a los sectores más postergados.

Como ha vuelto a comprobarse durante la pandemia, es un dato de la realidad que en nuestra región las universidades públicas constituyen la principal sede de creación de conocimiento avanzado. Ellas tienen una gran responsabilidad en esta hora latinoamericana dramática y a la vez propicia para hacer de la investigación y la innovación palancas potentes del desarrollo humano sustentable. Estarán a la altura de tamaña oportunidad en la medida en que, en las antípodas de la autarquía academicista, multipliquen las colaboraciones con los actores reales o potenciales de los sistemas de innovación inclusivos y sustentables, incluyendo otros centros de generación de ciencia y tecnología. Esta cuestión es digna de la mayor atención en los análisis concebidos “desde y para Latinoamérica”.

El análisis del análisis

Este manual discute métodos para analizar los procesos sociales de investigación (científica y tecnológica) y de innovación. En otras palabras, se ocupa de la generación de conocimiento acerca de la generación y uso del conocimiento. Tiene pues que ver con lo que se ha denominado “ciencia de la ciencia”, actividad a la que corresponde aplicar la exigencia de “reflexividad” (Bourdieu, 2001), o sea de revisión crítica de la propia labor, que debe caracterizar a la ciencia en general. Ello lleva a sugerir que la perspectiva de la democratización del conocimiento debe figurar en dos instancias o niveles: primero, en los procesos que se analizan; segundo, en los propios análisis.

La democratización planteada tiene que ver con la índole del conocimiento científico, que no es ni uno entre otros sino una fuente superlativa de poder, ni tampoco la verdad, con mayúscula y definitiva. Esto último es bastante conocido, pero resulta a menudo disimulado para fortalecer las posiciones de quienes aparecen como voceros autorizados de la ciencia.

¿Qué puede significar democratizar el conocimiento acerca de la generación y uso del conocimiento? En principio, cabe poner en juego los mismos criterios planteados para la democratización del conocimiento en general. Por ejemplo:

- Involucrar en el estudio de los procesos de investigación e innovación a sus principales protagonistas, reales e incluso potenciales. Así cabe esperar resultados más ricos del análisis –democratizar el conocimiento incluye crear mejor conocimiento–y aplicaciones más fecundas de este. Lo sugerido se inscribe dentro del principio general de valorización de la agencia.
- Incluir en la presentación de resultados una parte autocontenida cuya comprensión no esté limitada a los especialistas y se extienda más allá de los hacedores de políticas. Esto parece fundamental para llegar a los actores débiles en conocimiento y para encarar el difícil problema de la lejanía de gran parte de los sectores populares respecto al conocimiento avanzado.

Recapitulación: políticas y política

Los análisis de los procesos sociales de investigación científica y tecnológica y de innovación apuntan, en medida considerable, a formular propuestas para las políticas públicas en ciencia, tecnología e innovación (CTI). No es un secreto que buena parte de tales propuestas son desatendidas. Esta cuestión no debiera ser obviada en dichos análisis, en la medida en que con ellos se procura contribuir a incrementar los beneficios ligados al conocimiento.

Lo que aquí se destaca es un caso entre muchos de las complicadas relaciones entre las recomendaciones de los expertos y las decisiones gubernamentales (Nutley, Walter y Davies, 2007). Se vincula asimismo con la distinción entre políticas explícitas e implícitas (Herrera, 1975), frecuentemente visible por ejemplo cuando programas de promoción de CTI nacional son desvirtuados, más allá de intenciones, por disposiciones generales de tipo macroeconómico. Mucho mayor es habitualmente la incidencia en la coyuntura de la macroeconomía que de la CTI; ahora bien, cualquier política de largo plazo es ante todo una cadena de decisiones de corto plazo, en la cual siempre es urgente evitar que se rompan sus eslabones. El Estado es, entre otras cosas, una arena de conflictos entre intereses y actores múltiples; el poder de las “partes interesadas” –*stakeholders*– en CTI es escaso en el subdesarrollo; si no se lo expande, las mejores recomendaciones pueden quedar en letra muerta. Como la política incluye a las políticas públicas, pero no se reduce a ellas (cosa que el inglés

ayuda a recordar por el uso de dos palabras distintas, *politics* y *policies*), las recomendaciones de políticas en CTI resultantes de los análisis de la realidad deben tener en cuenta cómo ampliar su viabilidad política.

Por el sendero esbozado en el párrafo anterior se vuelve a encontrar la cuestión clave de la protección de los aprendizajes. El maestro Hirschman (1958) enseñaba que el enfrentamiento al subdesarrollo consiste ante todo en encontrar recursos descuidados y ponerlos a jugar en pro del desarrollo. En este sentido, son muchos los procesos innovativos e interactivos de aprendizaje que no son tenidos en cuenta, entre otras cosas por desconocimiento: democratizar incluye también valorar lo que elitistamente no ha sido valorado antes. Detectarlos y sugerir cómo protegerlos debiera ser una de las tareas cardinales de los análisis de las actividades de CTI. En ellos hay experiencias y grupos involucrados cuya incidencia puede potenciarse, incluso en lo que tiene que ver con su peso en las discusiones públicas y las decisiones que van modelando las políticas en CTI.

Tales políticas se definen, por supuesto, ante todo a nivel de los gobiernos. Pero no solo allí, lo que tiene particular importancia cuando los gobiernos no pueden o de hecho no quieren otorgar a las actividades en CTI la jerarquía que sus analistas entienden obviamente merecida o, incluso cuando lo hacen, no logran darle la continuidad imprescindible para que una serie de decisiones se convierta realmente en una política. En cualquier caso, hay ámbitos no gubernamentales en los que la relevancia y la continuidad de las acciones vinculadas con el conocimiento avanzado inciden considerablemente en lo que hace al respecto el país involucrado. En el Norte, ejemplos notorios de ellos son ciertas grandes empresas y también varias universidades. En Latinoamérica, como ya se apuntó, algunas universidades públicas se destacan objetivamente en ese sentido, de modo que el análisis de las políticas en CTI sería incompleto si no las considerara.

Las observaciones formuladas en esta sección de conclusión tienen que ver con una faceta clave de la democratización del conocimiento, como lo es la construcción democrática de estrategias nacionales de largo plazo en CTI. La tarea incluye reconocer intereses y aportes frecuentemente postergados, así como contribuir al intercambio de ideas con elementos de juicio sólidos, orientados a la articulación de intereses diversos. El papel que en ello puede y debe tener la discusión pública democrática lo subraya Amartya Sen al referirse a “la gloria del razonamiento público

abierto, que influencia tanto al conocimiento y a la tecnología como a la política” (2003; nuestra traducción).

Bibliografía

- Arocena, R. y Sutz, J. (2020). “The need for new theoretical conceptualizations on National Systems of Innovation, based on the experience of Latin America”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, n° 7, pp. 814-829.
- Banerjee, A. V. y Duflo, E. (2019). *Good Economics for Hard Times*. New York: PublicAffairs.
- Bourdieu, P. (2001). *Science de la science et reflexivité*. Paris: Raisons d’Agir.
- Herrera, A. (1975). “Los determinantes sociales de la política científica en América Latina. Política científica explícita y política científica implícita”. *Revista Redes*, n° 5.
- Hirschman, A. (1958). *The Strategy of Economic Development*. New Haven: Yale University Press.
- Nutley, S.; Walter, I. y Davies, H. (2007). *Using evidence: how research can inform public services*. Bristol: The Policy Press.
- O’Donnell, G. (2004). “Ciencias sociales en América Latina. Mirando hacia el pasado y atisbando el futuro”. *LASA Forum*, vol. 34, n° 1, pp. 8-13.
- Sen, A. (4 de octubre de 2003). “Democracy And Its Global Roots”. *The New Republic*.
- Srinivas, S. y Sutz, J. (2008). “Developing countries and innovation. Searching for a new analytical approach”. *Technology in Society*, vol. 30, n° 2, pp. 129-140.

II.

Desafíos para la investigación ¿Ciegos o con perspectiva de género?

Nora Goren

La formulación, el desarrollo y el análisis de los procesos de ciencia, tecnología e innovación (CTI) requieren estar a la altura de las demandas y necesidades de las sociedades en las que se inscriben. Se espera que contemplen de manera dinámica los aspectos económicos, políticos e institucionales y la interdependencia sistémica entre los diversos actores/instituciones que integran dicho sistema. Así, las empresas, las agencias gubernamentales y la sociedad civil van dándole forma a su gestión y evolución (Dutrénit y Natera, 2017).

Las sociedades en las que se inscriben estos procesos de CTI son los espacios en los que van emergiendo cada vez con mayor o con menor intensidad temas en la agenda pública que, en el caso de las demandas instaladas por el movimiento de mujeres y feminista, son una realidad que ha impreso en tales espacios distintos matices y que ya no es posible, o no debería ser posible, ser dejada de lado.

La inclusión del género en la agenda de CTI es disímil según el país al que hagamos referencia; lo que es claro es que queda aún un largo camino por recorrer, sobre todo respecto de cómo y de qué manera se la contempla y se la incluye. ¿Podría ser acaso transversalizar la perspectiva de género o feminista?, ¿es hablar con lenguaje inclusivo?, ¿es hablar de mujeres y varones y disidencias?, ¿es sumar el componente mujeres o cuerpos feminizados a espacios donde antes no estaban?, ¿es incluir bibliografía escrita por mujeres y disidencias?, ¿es construir nuestro objeto de estudio desde una perspectiva que contemple las desigualdades sexogenéricas?, ¿es pensar las respuestas de manera unívoca para toda la población?, ¿es un enfoque epistémico diferente?

Sin pretensión de dar una respuesta unívoca, podríamos decir que son todos y cada uno de esos factores. Lo que sí resulta central es la incorporación de esta mirada/dimensión analítica, desde el momento mismo del *planteamiento del problema*,¹ dado que, más allá de las manifestaciones que concretamente asuma el orden de género –que varían históricamente y de acuerdo con cada sociedad–, estas indefectiblemente están presentes y se expresan en las prácticas, los discursos y los sentidos que les atribuimos a las feminidades y masculinidades, y se hallan por detrás de nuestras definiciones, las hagamos o no explícitas. Y son estas las que se encuentran cruzadas por un sistema de reglas implícitas y explícitas, fuertemente institucionalizadas, vinculadas a cómo organizar la forma de ver y de pensar lo femenino y lo masculino y, por lo tanto, de cómo definir nuestro objeto de estudio. Es allí que el grado de naturalización del que goza este esquema dificulta la puesta en cuestión de desigualdades fácilmente observables si se adopta una mirada de género o feminista, por lo cual es central tenerla presente al momento de definir nuestro objeto de estudios y/o de intervención.

En línea con lo antes señalado, el objetivo de este trabajo es presentar algunas nociones básicas que sirvan para pensar los lineamientos generales de lo que deberíamos tener presente al construir/problematizar nuestro objeto de estudio, sin dejar de tener en cuenta que también puede ser orientador para pensar el proceso en su integralidad, aun cuando cada etapa contiene especificidades diferentes.

Para ello proponemos un recorrido por el concepto de género y sus matices; veremos el lugar que ocupa el lenguaje de género para repensar nuestra forma de mirar e interpelar el mundo y qué implica transversalizar para poder hacer un abordaje integral del problema a abordar, finalizamos con algunos posibles ejemplos y preguntas que pueden ayudar a ver dónde estamos situados/as.

Una aproximación al concepto de género y sus matices

El concepto de género ha tenido un desarrollo histórico que se ha ido complejizando. Así, la distinción entre los conceptos de *sexo* y *género*,

¹ Si bien en el planteo del problema se dirimen cuestiones de método, metodología y epistemología, en este artículo haremos una mirada integral, ya que tiene como pretensión dar cuenta de un primer abordaje general.

expresada en el paradigmático “no se nace mujer, se llega a serlo”, de Simone de Beauvoir (*El segundo sexo*, 1949), ha permitido alumbrar el carácter social, histórico y contingente de las construcciones de género. El *sistema de sexo-género* (Rubin, 1998) presente en nuestra sociedad nos permite dar cuenta del conjunto de prácticas y sentidos inscriptos en un sistema que dicotomiza y, en consecuencia, define los contornos de lo femenino y de lo masculino, en los cuales las relaciones de género dominantes simultáneamente se producen y se reproducen. Las construcciones de masculinidad y feminidad resultantes se encuentran fuertemente atravesadas por relaciones de poder y autoridad, y así configuran grupos sociales de *mujeres* y de *varones* ubicados según cierto ordenamiento asimétrico fundado en asociaciones entre masculinidad, autoridad y dominio y feminidad, docilidad y abnegación. En palabras de Joan Scott (1996: 34): “El núcleo de la definición reposa sobre una conexión integral entre dos proposiciones: el género es un elemento constitutivo de las relaciones sociales basadas en las diferencias que distinguen los sexos y el género es una forma primaria de relaciones significantes de poder”.

Es así como operan diversos dispositivos que asignan valores diferenciales en función del *sexo* de las personas, sexo concebido como mero sustrato material que sirve como base para el *género*, entendido como mutable y social. Al decir de Marta Lamas: “No es lo mismo el sexo biológico que la identidad asignada o adquirida; si en diferentes culturas cambia lo que se considera femenino o masculino, obviamente dicha asignación es una construcción social, una interpretación social de lo biológico” (1986).

Asimismo, no es posible universalizar la categoría mujer. No es lo mismo ser mujer blanca que ser indígena o afrodescendiente; ser joven, adulta o de la tercera edad; residir en zonas urbanas o rurales; pertenecer a un sector social o a otro; vivir en el país de origen o ser migrante; tener o no tener hijos/as.

En esta dirección, los aportes de los feminismos negros y de las mujeres de color, pos y descoloniales dieron lugar a un proceso de robustecimiento de diversas concepciones que buscaban desentrañar el entrecruzamiento de las dominaciones en su complejidad. Es así que la lucha de los colectivos de lesbianas y homosexuales, de bisexuales, travestis, transexuales y personas transgénero, más tarde, se condensaron en una rotunda crítica a los efectos normalizadores y naturalizantes del par sexo/género y proliferaron en la academia a partir de los planteos de pensadoras como la filósofa norteamericana Judith Butler (2002). El punto nodal de la crítica radicó en el esencialismo binario que supone la existencia de

una naturaleza concebible por fuera de las relaciones sociales, encarnada en la distinción macho/hembra y su correlato masculino/femenino, así como en las operaciones epistemológicas concomitantes.

Así, el recorte de género conforma un sistema de referencia, de percepción y organización material y simbólica de la vida social, en el que no es posible encontrar espacios que no se encuentren atravesados por estas concepciones. No se trata únicamente de una cuestión de roles o de funciones, sino que la totalidad de las relaciones sociales está, desde su origen, marcada por el género, y se halla inscrita en lógicas de poder que diagraman posicionamientos jerárquicos establecidos entre los conjuntos sociales de personas divididas según su sexo asignado y categorizaciones sociales vinculadas a la raza y la clase (Goren, Prieto y Figueroa, 2018).

¿Es importante el lenguaje no sexista?

Una vez acordado que varones y mujeres, feminidades y masculinidades, estamos atravesados/as por múltiples desigualdades sintetizadas en lo que denominamos “patriarcado”, cabe preguntarnos si podemos hablar, formular un problema desde el denominado lenguaje neutro, o más bien preguntarnos si existe el lenguaje neutro y qué es lo que esa supuesta neutralidad anula y no permite problematizar.

Si lo que no se nombra no existe, si las palabras no solo transmiten el pensamiento, sino que también lo moldean y lo transforman; y si a menudo las normas de género no están explicitadas y se transmiten de manera implícita a través del lenguaje, de las instituciones y de otros símbolos, de la misma forma, un lenguaje específico de género influye en la manera en que se piensan o se dicen las cosas; también en el modo que asumen las relaciones entre mujeres y varones en el mundo y en cómo definir, caracterizar, nuestro objeto de estudio.

Entonces, dar cuenta de que las personas –y en este caso, las feminidades y masculinidades– en nuestras sociedades no somos iguales, por lo que nombrarnos sin invisibilizar la diferencia resulta necesario; hasta me atrevo a decir que no hacerlo debería ser considerado y evaluado de manera negativa, ya que todo el proceso que se continua estará vedado de omisiones.

¿Qué es la transversalización de la perspectiva de género?

Si tomamos como punto inicial la definición adoptada por el Consejo Económico y Social de Naciones Unidas en el año 1997, se entiende por transversalización (ECOSOC, 1997)

al proceso de examinar las implicaciones para mujeres y varones de cualquier tipo de acción pública planificada, incluyendo legislación, políticas y programas, en cualquier área. Asimismo, es una herramienta para hacer de los intereses y necesidades de varones y mujeres una dimensión integrada en el diseño, implementación, monitoreo y evaluación de políticas y programas en los ámbitos políticos, sociales y económicos.

Como se ha podido apreciar, la transversalización no implica acciones puntuales, sino redefinir todas las actuaciones llevadas a cabo para que estas contribuyan activamente a la igualdad y equidad de género. Con la incorporación de esta estrategia, se adoptaría un enfoque estructural y transformador que conduciría todas las acciones hacia el aporte en esta dirección, sin ser estas acciones específicas, sino integradas a un modo de abordar los temas, problemas, acciones, propuestas. Esto, a su vez, supone contar con las herramientas necesarias para poder alcanzarlo, para el caso de nuestro artículo, tener presentes las desigualdades sexo-genéricas como un aspecto constitutivo de lo social y no como un componente que se suma a las propuestas.

Transversalizar supone el ejercicio de un esfuerzo por superar la tradicional separación o segregación de pensar por separado las poblaciones de modo de superar de manera integral las discriminaciones. Y transversalizar la perspectiva de género es el proceso de valorar las implicaciones que tiene para los varones y para las mujeres cualquier acción que se planifique, ya se trate un proyecto de investigación o de una propuesta de políticas o programas, pero lo que es central es pensarla para todas las áreas y en todos los niveles. Con estas especificidades lo que se busca es que la equidad, como principio de justicia, tenga lugar. La igualdad refiere a un principio que establece la igualdad de derechos y oportunidades entre hombres y mujeres tomando como referencia la desigualdad, así como la diferencia de individuos y sus entornos locales. Por su parte, la equidad es un principio de justicia. Esto implica entonces aspirar a la igualdad a partir de la equidad (Ortiz, 2013: 10). Por ejemplo, si tenemos en cuenta la situación diferencial de mujeres y varones en el

mercado de trabajo, estas acciones deberían buscar, por todos los medios, desandar los mecanismos que las perpetúan, para que tanto varones como mujeres sean parte de su abordaje y las mujeres no sean ubicadas como un grupo específico sobre el cual se debe actuar.

Algunos ejemplos

No caben dudas de que la pandemia de covid-19 ha afectado a toda la población en múltiples dimensiones. Una de ellas es el trabajo y, ahora, bien como estudiantes o investigadores, nos solicitan elaborar un diagnóstico que sea de utilidad para pensar posibles respuestas en materia de política pública y que sirva para el diálogo con el sector empleador y el sector sindical. Ahí me enfrento a tener que definir cómo recorto a la población; la primera pregunta esperable sería entonces, ¿puedo hablar de trabajadores en general, cuando sabemos que la participación de las mujeres en el mercado laboral es sustancialmente diferente a la de los varones, ya que no se insertan en los mismos sectores de actividad, no hacen las mismas tareas en el interior de los establecimientos ni son contempladas en las normativas laborales o en los convenios colectivos de trabajo de igual manera (Goren y Trajtemberg, 2018)? Por cierto, podría, pero no estaría dando cuenta de estas diferencias y seguramente las propuestas que puedan surgir de mi evaluación reproducirán las desigualdades que como sociedad nos hemos comprometido modificar. Si en el recorte desde el cual parto no doy cuenta mínimamente de los datos desagregados por sexo, estaré incurriendo en errores de información para quienes tienen la responsabilidad de formular políticas. Asimismo, si no miro otras dimensiones de la vida social, como el reparto de tareas que hacen a la reproducción de la vida cotidiana (léase, cómo se expresa la división sexual del trabajo en las unidades familiares o en los espacios sociales), seguramente no podré dar cuenta de si la carga laboral fue similar o no y qué tipo de carga física o psíquica han debido afrontar unos y otras. Allí deberé enfrentarme a las representaciones hegemónicas por las cuales se supone que las mujeres naturalmente son cuidadoras, y así desconocer todo tipo de carga que ello puede acarrear.

En línea con las representaciones es que también recurrimos a reflexionar de qué manera pensamos el diseño de herramientas industriales y las capacitaciones para su uso. Me debería preguntar acerca de las diferencias sexogenéricas para el diseño de estas herramientas, si son solo

objetos, pero son objetos que luego son utilizados por trabajadores/as. Allí me pregunto: ¿mujeres y varones tienen la misma contextura física, sus manos tienen las mismas dimensiones? ¿Para quiénes están pensadas las herramientas? Asimismo, en las capacitaciones, ¿tenemos en cuenta las historias previas recorridas por unos y otras, para que estas sirvan o tengan en cuenta esa compensación?

¿Cómo saber si estoy considerando el enfoque de género?

En este último punto queremos compartir algunas consideraciones que pueden servirnos a modo de aproximación para saber si efectivamente estamos incorporando la perspectiva de género en el diseño de la investigación y en el análisis de la información disponible. Estas reflexiones no pretenden ser exhaustivas, son solo orientativas para posibles preguntas que nos pueden dar una pista de si estamos recorriendo el sentido propuesto. A tales efectos proponemos una serie de preguntas que contemplan dimensiones que, a modo de proxi, pueden ser de utilidad para los fines propuestos.

En una primera etapa, que dé cuenta del *diseño de la propuesta*, se puede observar si se están teniendo en consideración los intereses y necesidades de los grupos afectados por el problema a abordar; de qué manera se están considerando los impactos diferenciales según el grupo específico al que pertenece la población sobre la que se está trabajando o qué impacto tendrá la propuesta a realizar y cómo estos grupos han sido contemplados en la definición de los objetivos planteados, tanto los generales como los específicos.

Luego, cuando nos acercamos al momento del *análisis de la información*, debemos tener en cuenta cómo hemos construido nuestro marco analítico de abordaje, cómo y desde dónde hemos encarado esta perspectiva; si hemos podido identificar las diferencias de oportunidades, de derechos y de acceso de recursos según el género, si hemos tenido en cuenta los aportes diferenciados según el género al tema abordado; o si hemos utilizado indicadores desagregados por sexo.

Otras posibles dimensiones para tener en cuenta: cuál es la distribución de roles en el interior del propio equipo de trabajo y cómo se seleccionan las citas bibliográficas (lugar de la subjetividad en la selección).

A modo de cierre

A lo largo de estas páginas, hemos hecho un recorrido por definiciones básicas que nos permiten acercarnos a conocer de qué se habla cuando hablamos de desigualdades sexogenéricas y cómo considerarlas al momento de definir nuestro objeto de estudio, hasta proponer una serie de preguntas que nos permita ir definiendo nuestros recortes en el proceso de trabajo, desde dimensiones analíticas hasta abordajes epistémicos.

Es claro que la ciencia, tecnología e innovación deben estar a la altura de las circunstancias en todos los planos y darse el tiempo que requiere contemplar cómo es su aporte para reproducir o transformar el mundo, en el que las desigualdades sexogenéricas están en su base constitutiva; es una tarea central que debe estar presente desde el inicio del proceso. Solo de esa manera podremos estar a la altura de los desafíos que la época nos impone.

Bibliografía

- Butler, J. (2002 [1993]). *Cuerpos que importan. Sobre los límites materiales y discursivos del “sexo”*. Buenos Aires: Paidós.
- De Beauvoir, S. (1949). *El segundo sexo*, vol. I. García, Juan (Trad.). Reedición. Buenos Aires: Sudamericana.
- Dutrénit, G. y Natera, J. M. (eds.) (2017), *Proceso de diálogos para la formulación de políticas de CTI en América Latina y España*. Buenos Aires: CLACSO.
- ECOSCO. (1997). Gender Mainstreaming Extract from Report of the Economic and Social Council for 1997 (A/52/3, 18 September 1997). Recuperado de <https://www.un.org/womenwatch/daw/csw/GMS.PDF>
- Goren, N.; Prieto, V. L. y Figueroa, Y. (2018). “Apuntes feministas sobre género y trabajo para pensar la intervención desde el Trabajo Social”. *Ts Territorios. Revista de Trabajo Social*, vol. 2, n° 2, pp. 115-128. Disponible en: http://cjys.unpaz.edu.ar/sites/default/files/Ts_2%284%29.pdf.
- Goren, N. y Trajtemberg, D. (2018). “Brecha salarial según género. Una mirada desde las instituciones laborales”. *Análisis*, vol. 32.

Disponible en: <https://library.fes.de/pdf-files/bueros/argentinien/14882.pdf>.

- Harding, S. (ed.) (1987). "Is There a Feminist Method?". *Feminism and Methodology*. Bloomington, In.: Indiana University Press.
- Lamas, M. (1986). "La antropología feminista y la categoría género". *Revista Nueva Antropología*, vol. 8, n° 30, 173-198.
- Ortiz, A. (2013). *Modelos Pedagógicos y Teorías del Aprendizaje / Pedagogic Models and Learning Theories*. Bogotá: Ediciones de la U.
- Rubin, G. (1998 [1975]). "El tráfico de mujeres: Notas sobre la 'economía política' del sexo". En Navarro, M. y Stimpson, C. R. (comps.), *¿Qué son los estudios de mujeres?* México: Fondo de Cultura Económica.
- Scott, J. W. (1996). "El género: una categoría útil para el análisis histórico". En Lamas, M. (comp.), *El género: la construcción cultural de la diferencia sexual*, pp. 34-35. México: PUEG.

Métodos para el análisis de los procesos de ciencia, tecnología e innovación: herramientas para el estudio del desarrollo de América Latina
Volumen 2

Capítulo 1

La aplicación de técnicas de análisis multidimensional para el estudio de la organización del trabajo

Analía Erbes y Sonia Roitter

Introducción

Si bien el conocimiento ha sido siempre un factor central en la dinámica económica y productiva de los países, su relevancia se tornó aún mayor desde el proceso de reconversión productiva que se desarrolló a nivel mundial a partir de la década de 1970. Uno de los principales correlatos de estas transformaciones se evidencia en la forma en la que se organiza el trabajo y, en particular, en el pasaje del modelo taylorista-fordista a otros modelos superadores que implican, entre otras cosas, cambios en la forma en la que se producen conocimientos y en la que se desarrollan los procesos de aprendizaje que conducen a la construcción colectiva de saberes organizacionales en los cuales se sustentan los procesos de diferenciación respecto de otros agentes.

El análisis de la importancia de la organización productiva y del trabajo que potencie el desarrollo de ventajas competitivas a través de la innovación y los procesos de aprendizaje es un elemento central en el estudio de los procesos de desarrollo de cualquier país. Sin embargo, en las economías latinoamericanas, caracterizadas por la fuerte heterogeneidad estructural de sus aparatos productivos, el estudio de estas relaciones adquiere aún mayor importancia.

En los últimos quince años, nuestra línea de investigación, centrada en el estudio del empleo, la organización del trabajo y los procesos de

aprendizaje a nivel de firma, ha avanzado en la formulación de un esquema metodológico que permite la caracterización de distintas formas arquetípicas de organización del trabajo. Pero al mismo tiempo, este marco ha permitido comprender la forma en las que estas estructuras se relacionan con (e impactan en) las estrategias de innovación desarrolladas por estas y con las posibilidades de alcanzar mayores niveles de calidad en los empleos existentes.

El objetivo de este capítulo es sistematizar y transmitir parte de la experiencia obtenida a partir de la construcción de ese marco metodológico y de la aplicación de técnicas de análisis factorial de correspondencias múltiples (AFCM) y de clúster para la contrastación empírica de los modelos analíticos desarrollados en distintos trabajos de investigación.

El capítulo se organiza de la siguiente manera. En la siguiente sección se presenta el encuadre conceptual dentro del cual se estudia y operacionaliza empíricamente la organización del trabajo, que reconoce a esta como un aspecto relevante para la comprensión de los procesos de aprendizaje a nivel de firma. En la segunda sección se presenta una propuesta metodológica y empírica para el análisis de la organización del trabajo, que considera distintas dimensiones y su integración para explicar la existencia de diferentes configuraciones. Se incluye también en esta sección la operacionalización de la propuesta anterior para el estudio de los procesos de aprendizaje e innovación desde la perspectiva de las empresas. En la tercera sección se da cuenta de los métodos y la metodología utilizados para la validación empírica de la metodología y en la siguiente se consideran algunos elementos que es necesario tener en cuenta para su aplicación al contexto latinoamericano. Finalmente, se desarrollan las principales conclusiones.

La organización del trabajo y su rol en los procesos de aprendizaje y la innovación

La organización del trabajo, que en un sentido amplio remite a la división del trabajo entre las máquinas y las y los trabajadores que integran un sistema de actividad humana (Novick, 2000) orientada a la producción de un bien o servicio, se asocia conceptual, metodológica y empíricamente al análisis de diferentes dinámicas que son propias del comportamiento de las firmas.

Una de las principales características del siglo XX ha sido la emergencia de distintas configuraciones productivas, cada una de las cuales puede asociarse con formas específicas de organización del trabajo. Los modelos taylorista y fordista y las distintas vertientes posteriores que cuestionan los ejes centrales de estos (Rodríguez y Mendoza, 2007) son claros ejemplos de esta afirmación. En cada uno de estos abordajes del proceso de trabajo, distintas dimensiones adquieren relevancia para explicar dinámicas específicas del funcionamiento de las empresas. Entre estas, resulta interesante destacar el rol que adquiere la organización del trabajo para dar cuenta de los niveles de productividad de las firmas, de los procesos de gestión de la calidad y de las especificidades en torno a la generación y difusión de conocimientos que conduzcan al desarrollo de innovaciones.

En lo que respecta al análisis de la productividad, primero la perspectiva taylorista (con el estudio de los tiempos y métodos, la estandarización y la separación entre las tareas de concepción y ejecución) y luego la fordista (con la integración vertical de la producción y la producción en serie) identificaron elementos a partir de los cuales la organización del trabajo podía inducir mejoras sustantivas en la productividad. Los cuestionamientos sobre estos modelos (algunos asociados con los límites que impone la producción masiva de ciertos bienes y servicios y con la propia concepción del trabajo humano, entre otros) son el punto de partida para la emergencia de otras modalidades en las que la polivalencia, la flexibilidad de tiempos y de funciones y la capacitación de las y los trabajadores, entre otros elementos, cobran mayor importancia que los rasgos característicos de los modelos anteriores. En términos de Coriat (1992) estas reconfiguraciones, que no son otra cosa que innovaciones organizacionales, implican cambios en el uso del trabajo y, por lo tanto, puede sostenerse que buscan nuevas fuentes sobre las cuales sustentar las mejoras en la productividad.

Los modelos posfordistas de producción, y dentro de estos especialmente los toyotistas, reconocieron la importancia de implementar modelos de gestión de la calidad que garantizaran la eliminación de desperdicios, la reducción de tiempos muertos y los stocks de bienes intermedios y finales (Rodríguez y Mendoza, 2007). Estas dinámicas no pueden implementarse bajo formas de organización del trabajo que enfatizan el control sobre tiempos y métodos, o que sostengan la segmentación de los procesos de trabajo. Por el contrario, se requieren formas organizacionales con un/a trabajador/a que participe de las decisiones productivas,

que se involucre con los objetivos de la organización, que sea capaz de autoevaluarse y que esté dispuesto a desarrollar distintas funciones a partir de la construcción de distintos tipos de capacidades. En este sentido, también los nuevos requerimientos competitivos de las empresas se apoyan en dinámicas del proceso de trabajo que difieren, en la actualidad, sustancialmente de las propias de otros modelos productivos.

Sumado a lo anterior, la centralidad que se le ha asignado a los procesos de generación y difusión de conocimiento y al desarrollo de innovaciones como elementos de diferenciación entre los agentes económicos puso de relieve la necesidad de comprender con mayor detalle la forma en la que estas dinámicas se producen y reproducen en el interior de las organizaciones.

En este marco, el análisis de la relación existente entre organización del trabajo y desarrollo de los procesos de aprendizaje puede considerarse un objeto de estudio específico en el marco de los aportes realizados por las teorías del aprendizaje organizacional (Argyris y Schön, 1978; Nonaka y Takeuchi, 1995; Zollo y Winter, 2002; Hodgkinson, 2003; Lam, 2005; Lichtenthaler y Lichtenthaler, 2009), sobre la base de un conjunto de elementos comunes. Por un lado, el eje de análisis de las distintas perspectivas que se incluyen en estas teorías son los procesos diferenciales de aprendizaje organizacional y de creación de conocimientos que surgen a partir de distintas formas estructurales, posibilitando el desarrollo de capacidades innovativas que son características de determinados tipos de firmas. Por otro lado, en todas ellas se reconoce el carácter dinámico, relacional y contextual del conocimiento, al mismo tiempo que se piensa en la empresa como el entorno cognitivo inmediato para su transmisión y producción.

El carácter relacional de la producción de conocimientos requiere de dos procesos de articulación que se retroalimentan mutuamente: el que tiene lugar entre distintos miembros y áreas de la propia organización (Leite, 1996) y el que refiere a los vínculos que establece la empresa con su entorno con el objetivo de captar conocimientos externos que complementen su propio stock de saberes, de manera tal que la firma potencie las dinámicas internas del aprendizaje organizacional. En ambos procesos de articulación, las rutinas de la empresa adquieren una importancia fundamental, en la medida en la que operan como instrumento de memoria organizacional y como mecanismo de coordinación entre diferentes objetivos e intereses individuales (Nelson y Winter, 1983). Al mismo tiempo, facilitan los procesos de traducción que hacen posible la

integración de conocimientos internos y externos orientados a la generación de dinámicas de aprendizaje que complementan las habilidades y los saberes de la firma, enriqueciendo de esta manera su contexto cognitivo. Las rutinas contribuyen a desarrollar las capacidades de absorción (Cohen y Levinthal, 1989, 1990; George, Zahra y Wood, 2002) y de combinación (Kogut y Zander, 1992) que, a partir de la integración de los saberes preexistentes y del acceso a otros nuevos, permiten transformar y generar conocimiento orientado, entre otras cuestiones, a resolver problemas y a generar innovaciones.

El desarrollo de las capacidades de absorción y combinación se vincula estrechamente con las rutinas que definen la forma en la que se organizan los procesos de trabajo. El ambiente organizacional, a través de su estructura y/o diseño, condiciona las dinámicas de aprendizaje organizacional (Zarifian, 1996), dado que en él se definen mecanismos específicos para su diseño y políticas de gestión que operan como condiciones facilitadoras del aprendizaje. La organización del proceso laboral puede estimular o limitar la dinámica de circulación de conocimientos y, por lo tanto, el trabajo en sí mismo puede considerarse una instancia importante en el proceso de aprendizaje: se aprende mediante la realización de operaciones y actividades laborales, y del dominio en la resolución de problemas que se presentan en la ejecución de las tareas (Gore, 2003). Lo anterior se complementa con la importancia de las interacciones comunicativas entre los trabajadores, tanto en el marco de los equipos de trabajo como en el de las experiencias y conocimientos compartidos a través de canales menos formalizados.

De esta manera, no cualquier forma organizacional promueve el desarrollo de procesos de aprendizaje y de capacidades vinculadas con la producción y difusión de conocimientos que traccionen dinámicas de innovación: ciertas tipologías tienden a potenciarlas y otras a limitarlas. En uno de los estudios más reconocidos sobre la relación entre organización del trabajo y procesos de aprendizaje, Lorenz y Valeyre (2005) sostienen que existen diferencias en el potencial con el que cuentan distintas formas de organización del trabajo para promover la producción de conocimientos. Al mismo tiempo identifican diferentes posibilidades relacionadas con la construcción de contextos cognitivos más complejos y sostienen que estos pueden desarrollarse en el marco de estructuras en las que las y los trabajadores tienen diferentes grados de autonomía para la toma de decisiones relacionadas con las actividades que realizan. Así, dan cuenta de heterogeneidades en las dinámicas de producción de

conocimientos y de la multiplicidad de contextos cognitivos que pueden generar las condiciones para el desarrollo de capacidades de absorción y combinación que permitan que las firmas aprovechen los cambios que se producen en su entorno productivo y competitivo (conductas reactivas) y también que anticipen estas transformaciones (conductas proactivas).

Algunos análisis empíricos específicos relacionados con los procesos de innovación destacan la relevancia de las conclusiones anteriores, ya sea al considerar la organización del trabajo o alguna de las características o dimensiones que permiten identificar diferentes estructuras. En general, estos aportes son ilustrativos especialmente de las numerosas contribuciones realizadas desde y sobre los países desarrollados. Así, Hempell y Zwick (2008) encuentran que la participación de los empleados está positivamente asociada con el desarrollo de innovaciones en el producto y el proceso. Por su parte, Zoghi, Mohr y Meyer (2010) evalúan la existencia de una relación positiva entre el desarrollo innovativo de las firmas canadienses y las características que estas adquieren en términos de su grado de flexibilidad, los sistemas de pagos variables y la dinámica de circulación de información relevante. Finalmente, Chowhan, Pries y Mann (2017) señalan que las empresas que son innovadoras y persistentes tienden a caracterizarse por desarrollar espacios de trabajo en los que se definen objetivos estratégicos con respecto a la innovación y se hace un uso intensivo de la tecnología, pero en los que también se motiva a las y los trabajadores y se generan oportunidades para que estos puedan realizar sus actividades autónomamente.

En Latinoamérica estos análisis han sido menos frecuentes, pero no por ello menos importantes, y permiten reforzar y/o discutir la evidencia que surge de los países desarrollados. En particular, los estudios sobre la organización del trabajo tuvieron como eje fundacional las relaciones entre los sindicatos y el Estado en el marco del desarrollo y la consolidación de distintas leyes laborales. No fue hasta la década de los sesenta, pero especialmente a partir de los ochenta, cuando se modifica el paradigma anterior y se desarrollan estudios incipientes sobre los procesos de trabajo desde una perspectiva funcionalista que considera principalmente las consecuencias del taylorismo-fordismo. A partir de aquí es que claramente se articula la relevancia de los procesos productivos como parte explicativa de los procesos de trabajo, particularmente en el marco de los cambios tecnológicos en curso (de la Garza Toledo, 2018) que eran analizados por las teorías regulacionista y neoschumpeteriana, entre las más relevantes. Así, los estudios sobre reestructuración productiva, cambios

en las relaciones laborales, sindicalismo y sociodemografía del trabajo fueron avanzando en la región, con especificidades y a destiempo con respecto a los países desarrollados. Más cerca de los años 2000 comienzan a desarrollarse en la región los estudios y teorías sobre el aprendizaje tecnológico (Villavicencio, 2006), los cuales recogían algunos conceptos de las teorías del aprendizaje organizacional que ya se planteaban con anterioridad en los países europeos y en Estados Unidos.

En este marco, los estudios latinoamericanos ponen de manifiesto, entre otros, dos grandes grupos de resultados. Por un lado, muestran que la implementación de los modelos posfordistas, especialmente del toyotismo, se logró en América Latina de manera fragmentada a partir de cambios limitados que no modifican sustancialmente la organización de la producción (Rodríguez y Mendoza, 2007), con elevados niveles de flexibilidad, bajos salarios y calificaciones y reducidos niveles de seguridad en el empleo. Todo esto condicionó el desarrollo de un esquema virtuoso de beneficios simultáneos para las empresas y las y los trabajadores, tal como se alcanzó a partir de este modelo en otros países. Siguiendo a de la Garza, solo se logró un “toyotismo precario” (2018: 13).

Por otro lado, la evidencia muestra que la incorporación de tecnologías (maquinaria y equipos, software y hardware) en las estrategias de innovación desplegadas por las firmas de la región tendió (y aún tiende) a desdibujar la importancia que adquieren los procesos de absorción y creación de conocimientos. Si bien la integración entre la adquisición de tecnología y el desarrollo endógeno de conocimientos es uno de los elementos centrales para explicar el mejor comportamiento innovativo de las firmas latinoamericanas, esto no siempre se traduce en un mejor desempeño económico y en una mejor dinámica del empleo.

Para el caso particular de la Argentina, Roitter, Erbes y otros (Novick, Roitter y Erbes, 2006; Erbes, Delfini y Roitter, 2008, 2011; Roitter *et al.*, 2007) avanzaron en los últimos quince años en el desarrollo de un marco analítico y metodológico que permite comprender, primero, la forma en la que se articulan distintas dimensiones para dar cuenta de formas de organización del trabajo diversas en términos de su capacidad de promover y sostener procesos de aprendizaje que traccionen dinámicas innovativas virtuosas en el interior de las firmas. Luego, estas formas organizacionales se vincularon directamente con los procesos de innovación, en la medida en que se las consideró, al igual que lo hace la literatura y la evidencia internacional recogida en esta sección, como un elemento

central para explicar el desarrollo de estrategias que implican distintos tipos de esfuerzos y resultados de innovación.

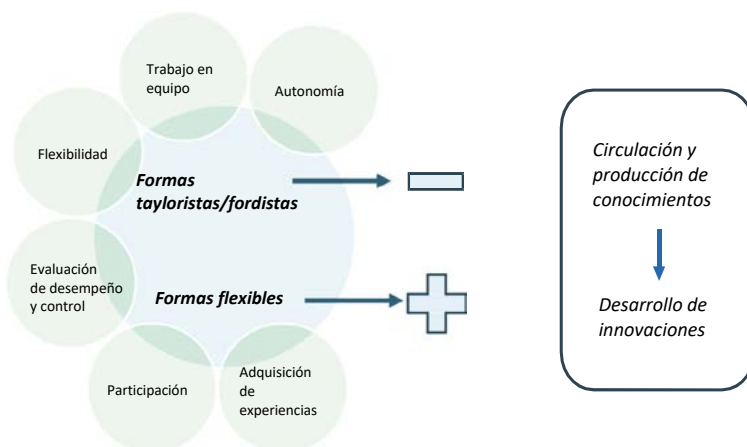
En las próximas secciones se describen los principales elementos asociados con este esquema metodológico, así como también los pasos que es necesario completar para operacionalizar el estudio sobre diferentes formas de organización del trabajo que están vinculadas con la producción y difusión de conocimientos y con el desarrollo de procesos de innovación a nivel de firmas.

El esquema metodológico y la construcción de indicadores para el análisis de la organización del trabajo

El estudio de la organización de la producción y, en particular, de los procesos de trabajo requiere considerar la complejidad en la interacción entre distintos elementos y dimensiones que dan lugar a la existencia de configuraciones específicas. Así, por un lado, es preciso retomar la definición de Novick (2000) presentada en la primera sección de este capítulo –organización del trabajo entendida como un sistema de actividad humana que incluye a trabajadores y máquinas– y complementarla con algunos elementos aportados por Finkel (1994). En particular, de esta última autora se retoma la idea de que las reglas y normas que definen la forma en la que se ejecuta la producción pueden modificarse a partir de circunstancias sociales y/o históricas que permiten transformar la configuración adoptada por cada empresa en un momento dado y se asocia, en este sentido, con un principio de racionalidad específico.

Por otro lado, cada una de las formas arquetípicas que puede asumir la organización del trabajo implica particularidades que se relacionan tanto con la arquitectura o diseño organizativo del trabajo como con las herramientas de gestión social que permiten poner en práctica la configuración definida. La identificación y el análisis de estas especificidades requiere considerar, en principio individualmente, el conjunto de dimensiones que caracterizan a la organización del trabajo. Dichas dimensiones se reflejan en la figura 1 y surgen de la revisión de distintas contribuciones académicas.

Figura 1. Interacciones entre dimensiones, formas de organización del trabajo y dinámica de conocimientos



Fuente: elaboración propia a partir de la revisión bibliográfica

La autonomía se relaciona con un conjunto de aspectos que se traducen en una competencia transversal necesaria para la profesionalización de cualquier ocupación (Zarifian, 1996) y remite particularmente a la actitud y a la posición que asume el trabajador frente al trabajo y a la dinámica productiva prescrita. Implica, entonces, la posibilidad de advertir anticipadamente desvíos, resolver problemas e introducir acciones correctivas considerando criterios preestablecidos, pero sin la necesidad de una supervisión directa. De esta manera, el grado de autonomía en el trabajo puede entenderse como la capacidad de los trabajadores para intervenir en el proceso productivo, no solo como ejecutantes, sino como actores, y puede emerger en dos sentidos distintos: o forma parte del sistema y debe cumplirse al igual que otras normas preestablecidas, o surge como parte de un proceso dinámico y permite la resolución de problemas. En este último caso, la autonomía asume un papel motivador y propicia el desenvolvimiento de procesos de aprendizaje (Mallet, 1995).

Mediante la dimensión de trabajo en equipo se consideran las cuestiones más elementales del proceso productivo al analizar si este se desarrolla individual o colectivamente. Se trata de uno de los aspectos centrales de la dinámica formativa de las empresas, por cuanto el trabajo grupal, como herramienta social, permite que la actividad adquiera

características enriquecedoras en la medida en que promueve intercambios entre los trabajadores a partir de las experiencias compartidas. Sin embargo, la mera existencia de equipos de trabajo no es suficiente para favorecer los procesos de aprendizaje, sino que también es necesario considerar las características de estos equipos en términos de las tareas y responsabilidades que se les asignan en el interior de estos.

La flexibilidad se asocia con la capacidad con la que cuentan los trabajadores para desarrollar eficientemente distintas tareas en momentos específicos que son definidos por las necesidades de la organización y del mercado. Así, Bosch y Lehndorff (2001) introducen la flexibilidad como una dimensión clave que se define en función de la orientación de las actividades hacia el mercado, de las características particulares de la demanda, de la mayor o menor asignación de responsabilidades entre los trabajadores y del nivel de calificaciones que es requerido. En este marco, es posible distinguir un tipo de flexibilidad pasiva u horaria de otra activa o funcional. El primer tipo resulta habitual en organizaciones que requieren la disponibilidad de los trabajadores en horarios y bajo esquemas de trabajo no siempre convencionales. Se trata de una flexibilidad de tipo numérica y que responde a puestos individuales con tareas estandarizadas, en los que los trabajadores pueden ser reemplazados en cualquier momento y la dotación de personal puede variar considerablemente en concordancia, fundamentalmente, con la demanda del mercado. Por su parte, la flexibilidad activa se manifiesta cuando las firmas no están dispuestas a prescindir del conocimiento, las habilidades y la experiencia individual de sus trabajadores y, en consecuencia, se apoyan en las capacidades de sus empleados para autoorganizarse y gestionar su tiempo de trabajo. Este tipo de flexibilidad funcional permite dar respuesta a los requerimientos del mercado en términos de una fuerza de trabajo con elevada calificación y gran disponibilidad horaria.

El control se materializa en los dispositivos organizacionales desarrollados para garantizar el cumplimiento de los objetivos previstos por la empresa. En particular, es posible considerar la existencia de distintos esquemas que abarcan desde el seguimiento jerárquico directo de la actividad de los trabajadores, hasta mecanismos indirectos-externos –vía evaluación por parte de pares– o de autocontrol, en los cuales lo que se busca garantizar es el logro de los objetivos a partir del involucramiento de las y los trabajadores, pero sin incidir directamente en la forma en la que estos desarrollan sus actividades. Mientras que el control externo o directo se sustenta fundamentalmente en la coerción sobre las personas

trabajadoras, la autonomía responsable en términos de Friedman (1977) implica una adaptabilidad del trabajador a ciertas iniciativas definidas por la empresa, en el marco de lo cual se requiere una supervisión mínima de los trabajadores y una elevada responsabilidad por parte de estos. En este sentido, Edwards (1979) destaca la emergencia de formas estructurales de control, asociadas a la estructura organizativa del trabajo por oposición a las formas personalizadas y, en la misma dirección, Burawoy (1989) señala la importancia de lo que este autor llama el “individualismo competitivo” como elemento que permite la internalización del control, no solo para con el entorno productivo de la empresa, sino también para con la satisfacción y el logro de objetivos del propio trabajador.

El factor asociado con la participación y el involucramiento de las y los trabajadores tal vez sea en el que cobra mayor importancia la vinculación entre las acciones de la empresa y de los empleados. Esto es así porque en su análisis se considera tanto la actitud de la empresa hacia la participación de los empleados –mediante la provisión de información a los empleados y la receptividad frente a las propuestas de los trabajadores, por ejemplo– como la propensión de los empleados a realizar aportes que permitan mejorar sus procesos de trabajo y cumplir los objetivos definidos por la firma. Se trata de un factor que para algunos autores es considerado una nueva manera de garantizar el control de los trabajadores (Braverman, 1978), mientras que para otros se configura como un elemento central para lograr esquemas y espacios de trabajo más gratificantes (Piore y Sabel, 1984, citados en Finkel, 1994). La inclusión de los trabajadores en equipos de mejora o en círculos de calidad ha sido vista, en las décadas más recientes, como la forma más consolidada de participación. Sin embargo, en el análisis de esta dimensión es importante no desconocer la relevancia de otras formas de involucramiento que son igualmente interesantes, las cuales implican un nivel de acceso diferencial a la información y que conviven en un marco de formas menos participativas de gestión (Finkel, 1994).

Finalmente, la adquisición de experiencias se asocia con las acciones desarrolladas por la firma para efectivizar la adquisición de conocimientos, competencias y experiencias, tanto a través de estrategias explícitas de formación externamente y en el puesto de trabajo y de sistemas de capacitación como de planes de rotación de personal y procesos de formación en los puestos de trabajo. Los procesos de capacitación y de formación externa pueden caracterizarse por distintos niveles de formalidad, inclusión de los trabajadores y especificidad de las temáticas

abordadas (Grimshaw *et al.*, 2002), dando lugar a un gradiente de situaciones que abarca desde los programas de formación general y continua hasta aquellos específicos y puntuales encarados con el objetivo de desarrollar capacidades específicas. Dado que las estrategias de formación y los sistemas de capacitación son procesos sistémicos y que se retroalimentan mutuamente, raramente pueden dar cuenta en sí mismos de la dinámica de adquisición de capacidades en el interior de una firma. Por el contrario, generalmente requieren ser complementados mediante actividades vinculadas con la formación en el puesto y una dinámica de rotación, que implica la realización de distintas tareas que son planificadas y que se asocian con niveles crecientes de complejidad de las actividades y de las calificaciones. En cualquiera de sus alternativas, los procesos de adquisición de experiencias dan lugar a la emergencia de un trabajador polivalente, la cual solamente es enriquecedora en la medida en que promueva la aparición de nuevos conocimientos colectivos que impliquen una ampliación de los conocimientos individuales.

Una vez definidas las dimensiones, resta ahora presentar su operacionalización atendiendo a las limitaciones que, en general, suelen imponer las fuentes de información disponibles para el análisis.¹ Estas limitaciones han conducido al desarrollo de relevamientos específicos que permitieran obtener información más específica sobre cada una de las dimensiones y su integración en estructuras de organización del trabajo específicas. Frente a estos últimos, los relevamientos de organismos tienen la ventaja de contar con mayor cobertura y representatividad de los actores, lo cual permite, en algunos casos, generalizar los resultados obtenidos. Sin embargo, esto último se obtiene, muchas veces, a expensas de la profundidad y el detalle de la información obtenida, lo cual condiciona la capacidad explicativa de las conclusiones alcanzadas.

En general, los indicadores resultantes, que se presentan en el cuadro 1, asumen tres o cuatro categorías posibles y se construyen utilizando la información proveniente de una o más preguntas de la encuesta o fuente de información correspondiente. Las primeras columnas del cuadro 1 recogen las definiciones de cada una de las dimensiones y las

¹ Para el caso particular de la Argentina, la mayor parte de los análisis realizados se basan en información obtenida de las encuestas de innovación, en cuyo relevamiento participaron organismos oficiales tales como la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC), el Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (MTEySS) y el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación (MINCYT). Dada la existencia de relevamientos similares en otros países de la región, sería posible validar esta propuesta metodológica en otras economías latinoamericanas.

características que describen cada uno de los niveles que estas pueden asumir. En el resto de las columnas se presentan algunas preguntas orientativas para la evaluación de estas dimensiones, y la instrumentación de estas preguntas en categorías de un indicador que sintetiza la información asociada a esa dimensión.

El procedimiento regular es la definición de niveles alto-medio-bajo para cada uno de los indicadores que describen las dimensiones, en las que mayores niveles caracterizan y se asocian con formas de organización del trabajo que facilitan y/o promueven procesos de aprendizaje y desarrollo de conocimientos en el interior de la firma. En algunos casos, la complejidad de los indicadores utilizados, dada la cantidad de información que se busca sintetizar en ellos, dificulta la definición precisa de las categorías intermedias. En esos casos, se trabaja sobre la determinación de los niveles extremos y quedan en la situación intermedia el resto de los casos. Esta opción se aplica siempre con un cuidadoso examen del tipo de casos que incluye esta categoría intermedia, ya que de otra manera podría convertirse en una categoría demasiado heterogénea.

En la determinación de distintas formas de organizar el trabajo, no solamente son relevantes los rasgos que adquiere cada uno de estos factores de manera individual, sino también las interacciones que se producen entre estos aspectos (figura 1). En este sentido, es posible sostener que las relaciones que tienen lugar entre las distintas dimensiones permiten configurar diferentes formas organizacionales. Así, las formas tayloristas-fordistas caracterizadas fundamentalmente por la ausencia de trabajo en equipo, por reducidos niveles de participación y autonomía de los trabajadores, por mecanismos de control jerárquicos, por procesos de adquisición de experiencias fragmentarios y por esquemas de flexibilidad pasiva, se contraponen a formas de organización del trabajo más complejas y dinámicas que tienden a adoptar las características contrarias a las anteriores.

También es posible identificar situaciones intermedias o híbridas que adquieren en distinta medida los rasgos presentados por cada uno de los extremos anteriores.

Cuadro 1. Definición y operacionalización de las dimensiones de la organización del trabajo

Dimensiones	Definición conceptual		Ejemplo de operacionalización	
	Descripción	Categorías	Preguntas tentativas	Categorías del indicador
Trabajo en equipo	Considera la realización de actividades en equipos y la complejidad de las actividades realizadas en el marco de esos grupos	Sin equipo de trabajo; las tareas se desarrollan individualmente	<ul style="list-style-type: none"> ¿Se realizan actividades grupales que incluyan algunas de las siguientes prácticas de trabajo?: * Planificación colectiva del trabajo diario/semanal * Acuerdan distribución de tareas dentro del equipo * Evalúan su efectividad en el desarrollo de las actividades * Planificación colectiva de actividades orientadas a mejorar su efectividad en el futuro * Implementan las actividades de mejora acordadas" 	Bajo: no posee equipo de trabajo
		Los equipos no planifican ni evalúan sus actividades o planifican y evalúan pero no implementan.		Medio: todas las combinaciones posibles restantes entre bajo y alto, considerando las mismas variables
		Los equipos evalúan, planifican e implementan todas las actividades dentro del equipo		Alto: poseen equipos que planifican colectivamente el trabajo diario o semanal o acuerdan la distribución de tareas dentro del equipo y los empleados evalúan la efectividad en el desarrollo de actividades o planifican colectivamente actividades orientadas a mejorar la efectividad o implementan las actividades de mejoras acordadas
Autonomía	Evalúa la autonomía con la que cuentan los trabajadores del nivel operativo para la resolución de los problemas	Los trabajadores comunican al supervisor sin resolver los problemas	Frente a los problemas que aparecen frecuentemente en las actividades del área de producción de bienes y servicios ¿cómo es el comportamiento de los trabajadores no jerárquicos? (resuelve o no resuelve)"	Bajo: los trabajadores operativos no resuelven los problemas que se presentan
		Los trabajadores resuelven los problemas		Alto: los trabajadores operativos resuelven los problemas que se presentan sin consulta previa con el supervisor

<p>Adquisición de experiencias</p>	<p>"Considera la forma en la que los trabajadores acceden a los conocimientos para realizar distintas funciones y actividades en el interior de la organización"</p>	<p>Los trabajadores no son capacitados ni rotan para adquirir distintos tipos de conocimientos y saberes</p> <p>Los trabajadores solo son capacitados o solo se los rota de manera espontánea, sin planificación</p> <p>Los trabajadores son capacitados y transitan por sistemas de rotación espontáneos o planificados</p>	<ul style="list-style-type: none"> * ¿Existen planes de carrera para jefatura de nivel medio, supervisores y personal, no jerárquico? * ¿Qué porcentaje de personas en su empresa recibieron cursos de formación en los siguientes niveles jerárquicos durante el año 2016? (personal directivo, nivel medio, no jerárquicos) * ¿Se implementa alguna modalidad de rotación? (rotación entre puestos de complejidad similar; rotación entre funciones de diferente complejidad; rotación entre diferentes áreas) * ¿Cómo es la rotación? (planificada, espontánea) 	<p>Bajo: no posee plan de carrera para niveles medios y no jerárquicos y no rota o no sabe si rota en cualquiera de las formas propuestas</p> <p>Medio: todas las combinaciones posibles restantes entre bajo y alto, considerando las mismas variables</p> <p>Alto: posee plan de carrera para no jerárquicos, y rota entre áreas o puestos de manera planificada o espontánea o capacita a más del 30% de los no jerárquicos</p>
<p>Participación</p>	<p>Evalúa la predisposición de la empresa hacia la intervención de los trabajadores en el desarrollo de mejoras y el acceso a la información relevante para la toma de decisiones</p>	<p>Los trabajadores no acceden a la información relevante para la toma de decisiones ni se estimula su participación en la producción de nuevos conocimientos</p> <p>Existe alguna instancia de participación desarticulada de la toma de decisiones</p> <p>Los trabajadores acceden a la información y son considerados como actores relevantes en la producción de conocimiento y desarrollo de aprendizajes organizacionales</p>	<ul style="list-style-type: none"> ** Se estimula a los empleados a generar conocimientos para el desarrollo de nuevos diseños o productos (no existe o es poco frecuente; algo o bastante frecuente; muy frecuente) * Se fomenta el desarrollo de reuniones de trabajo para analizar y proponer nuevas formas de hacer las cosas (no existe o es poco frecuente; algo o bastante frecuente; muy frecuente) * Se elaboran periódicamente informes escritos que se reparten a todo el personal informando los avances de la empresa (no existe o es poco frecuente; algo o bastante frecuente; muy frecuente) 	<p>Bajo: no se comparten informes escritos para comunicar los avances de la empresa y es poco frecuente que se estimule a los empleados conocimientos para nuevos diseños o productos</p> <p>Medio: combinaciones no incluidas en los niveles bajo y alto</p> <p>Alto: es frecuente que se compartan informes escritos para comunicar los avances de la empresa y es muy frecuente que se estimule a los empleados a generar conocimientos para nuevos diseños o productos o que se fomente el desarrollo de reuniones para promover nuevas formas de hacer las cosas</p>

<p>Evaluación de desempeño del personal no jerárquico</p>	<p>Evalúa la utilización de herramientas para dar cuenta del desempeño de los trabajadores y su impacto en los distintos aspectos que hacen al crecimiento del trabajador en la empresa</p>	<p>Evaluación del personal para la toma de decisiones económicas de la empresa</p> <p>No existen mecanismos de evaluación</p> <p>Se evalúa a los trabajadores por objetivos y a partir de ello se identifican necesidades de capacitación o instancias de promoción</p>	<p>"Si se aplica una evaluación de desempeño en algún nivel, ¿en qué aspectos influye la evaluación de desempeño?" * Nivel salarial</p> <ul style="list-style-type: none"> * Premios * Identificación de necesidades de capacitación * Promoción y carrera interna * Desvinculaciones y reasignación de tareas 	<p>Bajo: no realizan evaluación de desempeño, o cuando la hacen esta solo impacta en el nivel salarial</p> <p>Medio: existe evaluación de desempeño y esta impacta en la asignación de premios, en la redistribución de tareas o en la decisión de desvinculación de los trabajadores</p> <p>Alto: existe evaluación de desempeño y esta impacta en el nivel salarial y en la identificación de necesidades de capacitación o en la promoción y carrera interna</p>
<p>Flexibilidad</p>	<p>Analiza las condiciones que favorecen la adaptación de los trabajadores a los distintos esquemas y modalidades de trabajo</p>	<p>Los esquemas y modalidades de trabajo se definen en función de criterios pasivos y raramente se consideran elementos funcionales</p> <p>En la definición de los esquemas y modalidades de trabajo se consideran las necesidades de los trabajadores, sus capacidades y sus proyectos de vida personal y familiar</p>	<ul style="list-style-type: none"> * ¿La jornada semanal de trabajo se distribuye en horarios de trabajo definidos/preestablecidos? * ¿Los trabajadores participan en la definición de las características de la jornada laboral? * ¿Qué criterios se utilizan para la distribución de la jornada semanal de trabajo? * ¿Se trabajan horas extras?" 	<p>Bajo: la jornada laboral es rotativa y la adecuación mediante horas extras se realiza exclusivamente de acuerdo a las necesidades de producción de la empresa</p> <p>Medio: todas las combinaciones posibles restantes entre bajo y alto, considerando las mismas variables</p> <p>Alto: la jornada laboral es fija y los esquemas de flexibilidad horaria se definen en función de las necesidades de los trabajadores y de los intereses de formación y adquisición de expertencias específicos</p>

Fuente: elaboración propia

Si bien, tal como sostienen Lorenz y Valeyre (2005), no existe un único modelo de organización del trabajo que garantice el desarrollo de procesos de aprendizaje y que, en este sentido, pueda asociarse a la existencia de dinámicas más virtuosas en la generación de innovaciones, existe consenso sobre el mayor potencial, en este sentido, de las organizaciones flexibles frente a las tayloristas-fordistas. Las características conjuntas que definen a las organizaciones flexibles les han valido también el carácter de formativas, especialmente cuando se consideran ciertos aspectos y dimensiones que facilitan y potencian el proceso de circulación de conocimientos y la construcción colectiva de saberes entre los miembros de una organización, entendidos estos en el sentido de Nelson y Winter (1983).

En la próxima sección se presenta el método utilizado para abordar estas relaciones.

El análisis factorial de correspondencias múltiples y de clúster como método para identificar distintas formas de organización del trabajo

El análisis factorial de correspondencias múltiples (AFCM) es una técnica que, en principio, puede utilizarse con fines exploratorios para, por ejemplo, sintetizar la información contenida en las variables que surgen de encuestas que relevan diversas temáticas. Sin embargo, su uso es sobre todo valioso cuando se aplica luego de la selección de las variables o indicadores que se utilizarán como activos para la aplicación del AFCM y del clúster (ver, por ejemplo, Sarstedt y Mooi (2014)). En este sentido, este método permite obtener una clasificación que considera las semejanzas y diferencias entre las principales variables que caracterizan a un conjunto de agentes específicos, los cuales se caracterizan a partir de variables categóricas o cualitativas y se agrupan en función de aquellos rasgos que, por su similitud, permiten configurar perfiles compartidos.

En el marco del estudio de la organización del trabajo, las técnicas del AFCM y del análisis de clúster permiten corroborar empíricamente la sinergia existente entre las dimensiones identificadas para dar cuenta de formas específicas que posibilitan, a su vez, determinados procesos de aprendizaje e innovación en el interior de las firmas (Erbes, Roitter y Delfini, 2011; Erbes, Roitter y Kababe, 2013). También son útiles para dar cuenta de la relación entre las estrategias de innovación e incorporación de tecnología y el empleo (Roitter, 2010), entre otros análisis.

El uso de técnicas de AFCM es particularmente adecuado para el tratamiento de variables categóricas y suele utilizarse como paso intermedio para luego clasificar las empresas² en diferentes grupos, a través del análisis de clúster. A su vez, en algunas de las investigaciones, los grupos identificados a través del AFCM y el análisis de clúster fueron utilizados para realizar análisis econométrico de panel (Roitter, 2010), o estimaciones a partir de funciones logísticas ordenadas (Erbes, Roitter y Delfini, 2011). En particular, en estos casos, los grupos identificados se sintetizaron en una variable independiente de gran relevancia para el análisis por su carácter sintético. Luego se estimó el efecto específico que ejerce cada una de las configuraciones identificadas sobre los procesos innovativos, entre otras cuestiones.

Es importante tener en cuenta el carácter predominantemente ordinal de las variables utilizadas como activas para definir las formas de organización del trabajo (asumen los niveles “bajo”, “medio” y “alto”), mientras que otras variables que se consideran relevantes para caracterizar los grupos, pero no para definirlos (sector de actividad, tamaño, origen del capital, proporción de gastos en investigación y desarrollo, etc.) pueden trabajarse como cuantitativas continuas o como categóricas. En particular, en los estudios referidos en este capítulo se tiende a utilizarlas en esta última modalidad.

El AFCM permite lograr simultáneamente dos cometidos: por un lado, facilita el proceso de análisis de la información en la medida en que resume aquella que está contenida en un conjunto de variables en unos pocos factores (variables ficticias) que puede analizarse con mayor simplicidad. Además, el propio proceso de agregación de las variables en factores es de gran interés analítico, ya que permite indagar la relación existente, si es que la hay, entre las variables activas (que son aquellas que se utilizan para la construcción de los factores), por un lado, y entre los factores y las variables ilustrativas o suplementarias, por el otro.³ Así, cuando una serie de variables está relacionada, positiva o negativamente, el AFCM la agrega en un mismo factor (Fernández Macías, 2003) con el mismo o diferente signo, respectivamente.

² A lo largo de este capítulo se consideran las empresas como unidad de análisis para graficar la utilidad del método. Sin embargo, es importante mencionar que este método es aplicable con otras unidades de análisis.

³ Los elementos suplementarios pueden ser filas o columnas (en particular individuos o variables) que intervienen solo *a posteriori*, para caracterizar los ejes factoriales o los clústeres, pero no intervienen en su formación.

El análisis factorial de correspondencias múltiples (AFCM), que se aplica en este capítulo utilizando el paquete estadístico SPAD (*systeme portable pour l'analyse des données*)⁴ en su versión 5.6, permite “medir” distancias entre individuos o entre modalidades que, para el caso de variables categóricas, se denomina distancia de chi-cuadrado. De esta forma, dos individuos, en este caso empresas, estarán próximos si han elegido casi las mismas respuestas (modalidades), y dos modalidades o categorías serán cercanas en el plano si las empresas eligen, para dos variables determinadas, la misma categoría referida a cada una de ellas. Por lo tanto, otra ventaja de este método es que permite contemplar no solo variables cuantitativas, sino también realizar un análisis de clúster a partir de variables categóricas, transformándolas previamente en numéricas. Cabe aclarar, adicionalmente, que las variables cuantitativas continuas que se admiten como ilustrativas en el AFCM también pueden ubicarse en los mismos ejes construidos, a fin de observar la correlación entre los factores y estas variables (Bécue Bertaut y Valls i Marsal, 2005).

Cada uno de los factores da cuenta de un determinado porcentaje de la variabilidad total de las variables activas incorporadas en el análisis, a través del valor propio o la llamada “inercia” que llega a captar. Así, el valor propio de cada factor indica qué porcentaje de la información contenida en el conjunto de variables activas está resumido en este.

Una vez llevado a cabo el AFCM, pueden interpretarse los resultados para comprender cómo están conformados los factores, es decir, en qué medida cada uno de ellos representa la información de cada una de las variables activas incorporadas en el análisis. Para ello se analizan las contribuciones de cada modalidad o categoría (y de cada variable) en cada uno de los factores y también se revisa el grado en el que cada modalidad está o no representada en los principales factores. Con esta información se pueden conocer cuáles son las categorías de las variables activas que se encuentran mejor representadas en cada uno de los ejes factoriales, cuál es el signo de sus coordenadas (positivas o negativas), según el tipo de relación, y cuáles son las variables cuyas categorías no están representadas significativamente en algún factor. Como resultado de lo anterior, tanto a cada individuo como a cada categoría (o modalidad) de las variables le corresponden “puntajes” factoriales que son las coordenadas de cada fila y de cada columna de la base de datos en los

⁴ Se pueden consultar algunos detalles referidos a la historia y características de este paquete estadístico en López-Roldán y Fachelli (2015).

ejes factoriales. Mediante este procedimiento se han transformado las variables categóricas ordinales o nominales en numéricas continuas.

Si el AFCM se utiliza como un medio para avanzar luego hacia la constitución de grupos homogéneos en términos de las variables activas consideradas, es necesario luego realizar un análisis de clúster. Así, a partir de la medición de la distancia entre las unidades de análisis consideradas, se conforman grupos con elevada homogeneidad interna y heterogeneidad extragrupo, esto es, con respecto al resto de las observaciones que no integran el mismo conjunto.

La constitución de grupos homogéneos, en el paquete SPAD, se realiza a partir de las coordenadas en los primeros diez ejes factoriales, calculando distancias euclídeas para cada par de individuos. En este sentido, los individuos cercanos en los planos factoriales asumen más o menos las mismas modalidades. El SPAD guarda el grupo de pertenencia de cada individuo en el espacio factorial y calcula medias de cada grupo (para las variables cuantitativas continuas) y proporciones de cada modalidad (para las categóricas), para luego compararlas con las medias o proporciones generales. Aquellas comparaciones que resulten significativas servirán para caracterizar cada grupo.

El diagrama 1 sintetiza la secuencia de pasos requeridos para llevar a cabo la técnica de AFCM y el análisis de clúster, aplicada al estudio de la forma de organización del trabajo.

Diagrama 1. Secuencia de etapas y pasos para la aplicación del AFCM y del análisis de clúster

Preparación de las variables y sus categorías	Configurar el método de análisis AFCM y clúster	Análisis de resultados
<p>1) Analizar las preguntas y posibles variables categóricas y numéricas continuas</p> <p>2) Construir indicadores categóricos (variables activas e ilustrativas)</p> <p>3) Abrir la base de datos en el programa de análisis elegido. Revisar las variables, categorías y valores</p>	<p>1) Definir el tipo de AFCM a realizar (con o sin modalidades activas)</p> <p>2) Complementar con análisis de clústeres, definir números de grupos</p>	<p>1) Gráfico de caída de valores propios</p> <p>2) Observación del gráfico de los primeros dos ejes factoriales</p> <p>3) Caracterización de los ejes factoriales más relevantes</p> <p>4) Caracterización de los cluster conformados por variables activas e ilustrativas</p> <p>5) Cruce entre la variable clúster y otras de interés</p>

Fuente: elaboración propia

A continuación, se detallan las cuestiones a considerar en el desarrollo de la secuencia de pasos descrita en el diagrama 1⁵ y del cual se derivan los resultados del AFCM y del análisis clúster para un caso de aplicación.

Etapa 1: preparación de las variables y sus categorías y aplicación del método

De acuerdo con lo que se presenta en las dos primeras columnas del diagrama 1, para la preparación de las variables y la posterior aplicación del método escogido se recomienda explorar la base de datos para analizar las características de las variables que se incluyen en el estudio, especialmente de aquellas que serán las variables activas, y realizar las siguientes tareas:

- a. Escoger las variables de interés y analizar sus estadísticas descriptivas (frecuencias, medidas de posición y de dispersión).
- b. Construir indicadores referidos a las dimensiones de la organización del trabajo y a otras variables de interés, ya sean vinculadas al comportamiento de las empresas o a su estructura (tamaño, rama de actividad, ubicación, etc.).

Luego se deben realizar los pasos que se detallan a continuación:

- a. Seleccionar el método a emplear para el análisis: análisis factorial y de clúster.
- b. Seleccionar las variables activas y suplementarias. Estas últimas pueden ser categóricas y/o continuas y, a diferencia de lo que sucede con las variables activas, para las ilustrativas no representa un problema la existencia de categorías o valores perdidos.
- c. Para la clasificación en grupos se sugiere seleccionar el método mixto ya que este implica la revisión de la constitución inicial de los grupos, que se realiza por el método jerárquico y reagrupa a sus integrantes para armar clústeres más homogéneos a través de una sistematización

⁵ A su vez, se recomienda a quienes se interesen en aplicar estas técnicas utilizando el paquete sugerido que consulten el detalle y las advertencias presentes en los manuales de aplicación tales como en Bécue Bertaut y Valls i Marsal (2005) y en López-Roldán y Fachelli (2015: 66-81).

basada en un algoritmo que considera la clasificación jerárquica y la agregación alrededor de centros móviles (K-medias).

- d. Seleccionar la cantidad de clústeres a conformar, o dejar la opción por defecto para que el paquete estadístico lo defina automáticamente, con el objetivo de maximizar las diferencias entre grupos y minimizar las distancias intragrupos.

Análisis de resultados

Con el fin de ilustrar los resultados que pueden obtenerse a partir de un AFCM y un análisis de clúster, se muestran en esta sección figuras y cuadros de salidas obtenidos mediante la aplicación del paquete estadístico SPAD. Sin embargo, es importante mencionar que salidas similares pueden obtenerse a partir de otros paquetes estadísticos (SPSS, STATA), pero se elige en este caso el SPAD dada la especificidad que ofrece este software para los métodos de análisis propuestos.

Tal como se desprende de la tercera columna del diagrama 1, el análisis de los resultados obtenidos se realiza considerando los siguientes elementos.

A. El gráfico de la caída de valores propios de los factores (cuadro 2)

Cada una de las variables ficticias o factores da cuenta de un determinado porcentaje de la varianza total de las variables activas incorporadas al análisis. Lo que esto indica es cuál es el porcentaje de la información contenida en el conjunto de variables activas que está resumido en cada eje factorial. El primer factor es el que más varianza explica, el segundo el que más explica de la varianza total menos la ya explicada por el primer factor, y así sucesivamente. En este caso, se desprende del cuadro 2 que el primer eje capta más del 20% de la inercia o variabilidad de la información contenida en las variables activas, y que luego los ejes siguientes incorporan niveles de variabilidad (valores propios) significativamente menores, que representan un 10% o menos de esta. Cabe señalar que, si bien no existe un nivel mínimo de variabilidad que deberían captar los ejes para ser considerados, la metodología sugiere tomar en cuenta aquellos ejes entre los que se produzcan grandes saltos en los valores propios, y dejar de lado los que siguen

luego de una caída regular. Tal como se observa en el cuadro 2, el salto en este caso se da entre los ejes factoriales 1 y 2, para luego continuar con una caída regular en la representatividad. Es por ello que se sugiere considerar especialmente estos dos primeros ejes para el AFCM. Es conveniente aclarar que, para el caso de este tipo de análisis centrado en variables categóricas, el porcentaje de variabilidad captado por los primeros ejes puede ser reducido, 30% en este caso, en relación con lo que se suele observar con la aplicación de análisis factorial para variables cuantitativas continuas. Sin embargo, esto no representa un problema al momento de interpretar la información.

Cuadro 2. Caída de los valores propios

Histogram of the first 12 eigenvalue				
Number	Eigenvalue	Percentage	Cumulated percentage	
1	0.4062	20.31	20.31	*****
2	0.1851	9.26	29.57	*****
3	0.1823	9.11	38.68	*****
4	0.1763	8.82	47.49	*****
5	0.1667	8.34	55.83	*****
6	0.1635	8.17	64.00	*****
7	0.1482	7.41	71.41	*****
8	0.1475	7.37	78.79	*****
9	0.1288	6.44	85.23	*****
10	0.1029	5.14	90.37	*****
11	0.0977	4.89	95.26	*****
12	0.0949	4.74	100.00	*****

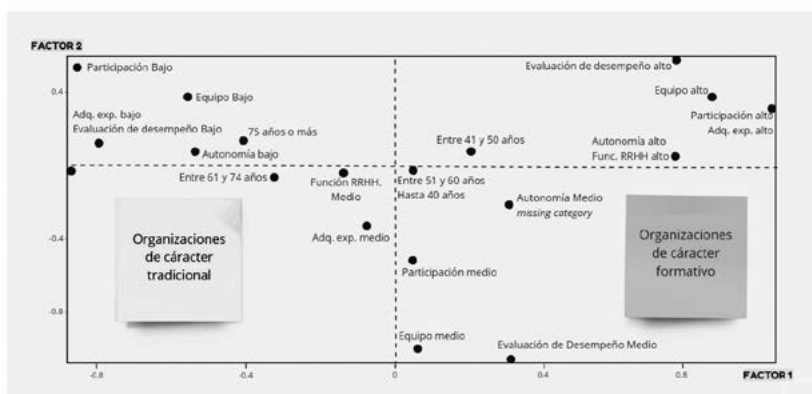
Fuente: elaboración propia a partir de la utilización del paquete estadístico SPAD

B. El gráfico de visualización de los nombres y la ubicación de las categorías que se asocian significativamente a alguno de los dos primeros ejes factoriales (figura 2)

En la misma o en otra figura también podrían escogerse las variables suplementarias o los clústeres. Como ejemplo, en la figura 2 se agregó la variable suplementaria referida a los tramos de edad predominante entre quienes toman las decisiones en las empresas. En él se observa que el factor 1 está positiva y fuertemente asociado a los niveles altos de los diferentes indicadores que representan a las dimensiones que configuran la forma de organización del trabajo. Es decir, la figura concentra en su

parte derecha las categorías y las empresas que poseen una organización de carácter “formativo”. Por el contrario, este primer eje se asocia significativa y negativamente a los niveles más bajos de cada uno de los indicadores. A su vez, las organizaciones más tradicionales se asocian también a la presencia de tomadores de decisión de edad más avanzada (mayores de 60 años), que aquellos que lo hacen en las organizaciones formativas. Todo este último análisis surge de la consideración de la variable recién mencionada que fue adicionada como ilustrativa o suplementaria.

Figura 2. Representación de ejes factoriales, variables activas y variables suplementarias seleccionadas



Fuente: elaboración propia a partir de la utilización del paquete estadístico SPAD

C. Representación numérica de la medida en la que cada factor contiene la información de cada una de las variables activas incorporadas al análisis

Esta información está disponible en el cuadro 3.1, que sintetiza aquellas categorías activas mejor representadas y muestra en la parte superior aquellas categorías con coordenadas negativas significativas, en el primer eje factorial, separadas por una línea intermedia de aquellas con coordenadas positivas significativas que figuran en la parte inferior de la misma tabla. Esta misma información se muestra en el cuadro 3.2 para las variables ilustrativas más significativas. Estos resultados permiten corroborar lo observado en la figura 2 y, además, permiten considerar el vínculo entre las formas de organización del trabajo y los sectores de

actividad y el origen del capital de las firmas, entre las variables ilustrativas consideradas. Así, las actividades más dinámicas se asocian positivamente a organizaciones formativas y a la presencia de capital internacional (IED), mientras que otras más tradicionales, como textil y confecciones, cuero, frigoríficos y madera, y las que poseen exclusivamente capital nacional, lo hacen con las de tipo “taylorista” o más tradicional.

Cuadro 3. Ejemplo de descripción de las principales categorías activas y suplementarias representadas en el eje factorial 1

Cuadro 3.1 Variables activas

Nombre de la variable	Nombre de la categoría	Valor Test	Peso
Indicador de evaluación de desempeño	Evaluación de desemp.: bajo	-19,41	349,000
Indicador de participación	Participación: bajo	-16,12	248,000
Indicador de funciones del área de RRHH (P 10.1.3)	Función RRHH: Bajo	-16,10	242,000
Indicador de autonomía	Autonomía: bajo	-15,18	410,000
Línea intermedia			
Indicador de evaluación de desempeño	Evaluación de desemp.: alto	15,75	285,000
Indicador de participación	Participación: alto	15,92	199,000
Indicador de adquisición de experiencias (P 10.3a)	Adquisición de exper.: alto	16,93	208,000
Indicador de funciones del área de RRHH (P 10.1.3)	Función de RRHH: Alto	17,52	328,000

Fuente: elaboración propia

Cuadro 3.2 Categorías suplementarias

Nombre de la variable	Nombre de la categoría	Valor Test	Peso
Origen del capital	Nacional	-11,76	619,000
Tramos de edad de decisor	Entre 61 y 74 años	-4,30	146,000
Rama de actividad de la empresa	Productos textiles	-4,13	62,000
Rama de actividad de la empresa	Confecciones	-3,48	44,000
Tramos de edad de decisor	75 años o más	-3,38	64,000
Rama de actividad de la empresa	Cuero	-3,04	35,000
Rama de actividad de la empresa	Frigoríficos	-2,56	49,000
Rama de actividad de la empresa	Madera	-2,28	22,000
Línea intermedia			
Rama de actividad de la empresa	Papel	2,14	31,000
Rama de actividad de la empresa	Productos químicos	2,64	47,000
Rama de actividad de la empresa	Material eléctrico	2,87	38,000
Rama de actividad de la empresa	Otras	3,57	29,000
Tramos de edad de decisor	Entre 41 y 50 años	3,71	234,000
Rama de actividad de la empresa	Autopartes	4,54	39,000
Origen del capital	IED	11,46	196,000

Fuente: elaboración propia

D. Contribución que hace cada una de las variables a la conformación de cada uno de los ejes

Este análisis permite complementar la información anterior para la interpretación de los ejes factoriales. Como se observa en el cuadro 4 la categoría Equipo bajo y alto del indicador de Trabajo en Equipo contribuye fundamentalmente a la construcción de los ejes factoriales 1 y 2 aunque, como es esperable, sus coordenadas son opuestas. Por el contrario, la categoría Equipo medio no contribuye al eje 1, pero sí al 2. Al respecto, es relevante notar que, a pesar de que las categorías mencionadas se encuentran adecuadamente representadas en los ejes 1 y 2, no son mencionadas en el cuadro anterior, lo que se debe a que el paquete exige niveles muy altos de significación para incorporar las categorías en los cuadros de resumen. Por ello es recomendable utilizar esta información como complemento, especialmente si se pretende hacer énfasis en la interpretación del AFCM y no solo utilizarlo como una herramienta para llegar a la constitución de grupos.

Cuadro 4. Ejemplo de contribuciones, coordenadas y valores test de las modalidades de la variable. Equipo de trabajo en los cinco primeros ejes factoriales

Contribución de las categorías activas a cada eje factorial								
Nombre	Peso relativo	Distancia al origen	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5	
Equipo bajo	7,53	1,2	5,72	5,89	0	6,3	1	
Equipo medio	4,55	2,6	0,05	25,21	2,59	5,87	9,38	
Equipo alto	4,57	2,6	8,15	3,6	2,66	0,64	3,15	
Coordenadas de las categorías en los primeros cinco ejes factoriales								
Equipo bajo	7,530	1,21	-0,56	0,38	0,00	-0,38	0,15	
Equipo medio	4,558	2,65	0,06	-1,01	-0,32	0,48	-0,59	
Equipo alto	4,578	2,64	0,85	0,38	0,33	0,16	0,34	
Valores test de categorías activas y suplementarias								
Nombre	Número de casos	Peso absoluto	Distancia al origen	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 5
Equipo bajo	375	375	1,21	-14,52	9,95	-0,08	-10,04	3,88
Equipo medio	227	227	2,65	1,12	-17,88	-5,69	8,42	-10,35
Equipo alto	228	228	2,64	15,07	6,76	5,77	2,79	6,01

Fuente: elaboración propia

E. Información relativa a los cuatro clústeres que construyó el paquete estadístico a partir de las relaciones detectadas en los primeros diez ejes factoriales

Tal como surge del cuadro 2 (caída de los valores propios) en este caso los primeros diez ejes captan más del 90% de la variabilidad total de la información. Para este análisis también resulta importante considerar otra salida posible, que es el diagrama de dendograma, a partir del cual es posible observar cómo se modificaría la composición de los grupos según la cantidad de cortes que se decida realizar. Al mismo tiempo, este diagrama brinda una representación visual de la heterogeneidad entre los clústeres que se van configurando en cada paso de asociación.

Sobre este punto, a modo de ejemplo, puede considerarse la explicación de la información que contiene el cuadro 5, referido a uno de los grupos identificados, que congrega al 30% de los casos. En este se observa una línea intermedia en blanco que separa, arriba, aquellas categorías que caracterizan al grupo, ya que poseen un valor test significativamente alto y positivo, frente a los que quedan por debajo de dicha línea y que son justamente aquellas categorías que no se observan en este grupo, o si lo hacen se dan en un porcentaje significativamente menor al de la categoría en la muestra.

Con esta lógica, si se continúa con la categoría Trabajo en equipo, por ejemplo, el nivel alto de esta se presenta en un 78,49% de las empresas de este grupo, lo cual implica que está sobrerrepresentada en este, frente al 27,47% que tiene esta categoría en la muestra. En cambio, la categoría más baja de trabajo en equipo está subrepresentada en este clúster, ya que se da en solo el 8,6% de las firmas presentes, frente a más del 45% de casos con esta característica en el panel general.

Cuadro 5. Caracterización de cuatro clústeres en función de las categorías activas y suplementarias seleccionadas (contiene 186 casos, 30% del total)

Nombre de la variable	Categorías sobresalientes	% de la categoría en el grupo	% de la categoría en la muestra	% del grupo en la categoría	Valor test	Probabilidad
Indicador de participación	Participación: alto	74,73	23,98	69,85	17,37	0
Indicador de trabajo en equipo (P 10154)	Equipo: alto	78,49	27,47	64,04	16,97	0
Origen del capital	IED	47,85	23,61	45,41	8,32	0
Tramos de edad decisor	Entre 41 y 50 años	37,63	28,19	29,91	3,1	0,001
Rama de actividad de la empresa	Autopartes	8,6	4,7	41,03	2,52	0,006
Rama de ctividad de la empresa	Productos químicos	9,68	5,66	38,3	2,4	0,008
Indicador de trabajo en equipo (P 10154)	Equipo: medio	12,9	27,35	10,57	-5,19	0
Indicador de adquisición de experiencias (P 10.3a)	Adquisición de exper.: bajo	16,13	35,42	10,2	-6,45	0
Indicador de trabajo en equipo (P 10154)	Equipo: bajo	8,6	45,18	4,27	-12,12	0
Indicador de autonomía	Autonomía: bajo	8,6	49,4	3,9	-13,35	0

Fuente: elaboración propia

F. Identificación de cada empresa con alguno de los clústeres conformados

El número de grupo en el que fue asignada cada observación puede volcarse como una nueva columna en la base de datos original, y con esta información es posible realizar diversos cruces de interés que completan los resultados obtenidos a partir de la aplicación del paquete estadístico.

Finalmente, los resultados obtenidos pueden sintetizarse, por ejemplo, de la manera propuesta en el cuadro 6. En ella se detallan los porcentajes que surgen al cruzar el clúster con cada una de las categorías que definen a cada grupo de la taxonomía, pero que también podría hacerse con otras variables elegidas para ilustrar el análisis, tales como las referidas a las cuestiones estructurales.

Cuadro 6. Síntesis de resultados obtenidos a partir del análisis factorial y de clúster

Dimensiones	Categoría	Media muestral	Forma según organización del trabajo			
			Taylorista	Taylorista/híbrido	Formativo/híbrido	Formativa
Proporción de empresas en cada grupo			35%	14%	21%	30%
Funciones del área de recursos humanos	Baja	29%	52%	44%	16%	5%
	Media	31%	36%	39%	32%	21%
	Alta	40%	12%	17%	52%	74%
Adquisición de experiencias	Baja	35%	56%	52%	24%	11%
	Media	40%	39%	39%	43%	37%
	Alta	25%	4%	8%	34%	51%
Equipos de trabajo	Baja	45%	66%	54%	33%	26%
	Media	27%	25%	30%	33%	25%
	Alta	27%	9%	16%	34%	50%
Autonomía	Baja	49%	90%		42%	31%
	Media	29%		98%	34%	24%
	Alta	22%	10%	2%	24%	45%
Evaluación de desempeño	Baja	46%	80%	76%		
	Media	30%	4%	5%	100%	12%
	Alta	24%	16%	19%		88%
Participación	Baja	24%	55%	32%	17%	9%
	Media	42%	39%	41%	55%	50%
	Alta	34%	6%	27%	28%	41%

Nota: Las cifras en gris corresponden al 1%.

Fuente: elaboración propia sobre la base de MinCyT y MTEySS (2015)

Así, por ejemplo, en la columna en la que se sintetizan los rasgos del clúster taylorista, se observa que un 52% de las empresas que forman parte de ese grupo se caracterizan por bajos niveles en el indicador de “Funciones del área de recursos humanos”. De esta manera, se muestra cómo en dicho grupo existe una sobrerrepresentación de casos en esta categoría, frente a lo que sucede con la media de la muestra analizada (Roitter, Erbes y Montenegro, 2022).

Los desafíos de la metodología para los estudios sobre la organización del trabajo en América Latina

La metodología combinada de AFCM y análisis de clúster posee varias ventajas. En particular, si bien es de carácter exploratorio, permite corroborar empíricamente los modelos analíticos planteados (Fernández Macías, 2003: 22) y, mediante la reducción de la dimensión de los fenómenos, presenta algunas ventajas con respecto a otro tipo de análisis. Por ejemplo, frente a las regresiones, el AFCM y el análisis de clúster no intentan reducir la variabilidad de las observaciones en relación con la tendencia, sino captar la mayor variabilidad posible existente con la información analizada.

Si bien una de las principales ventajas de esta metodología es que realiza una clasificación básicamente empírica (Fernández Macías, 2003), sin ningún supuesto o clasificación *a priori*, su utilidad es aún mayor cuando este método se aplica considerando una base teórico-analítica que fundamenta la elección de las variables activas a considerar y que permite el planteo de una hipótesis.

Este método ha demostrado gran utilidad para el análisis de distintas problemáticas vinculadas con la ciencia, la tecnología y la innovación en América Latina. Así, por ejemplo, puede mencionarse un estudio de Kantis, Federico e Ibarra García (2020) que da cuenta de las condiciones sistémicas que explican las diferencias en el dinamismo empresarial de los países desarrollados y emergentes, y un análisis de García Ochoa Mayor, Blázquez de la Hera y López Sánchez (2012) sobre la capacidad de innovación tecnológica en Latinoamérica y España utilizando la técnica de análisis estadístico multivariante de clúster y los indicadores de innovación tecnológica publicados en el *Global Competitiveness Report* (2002-2003 y 2009-2010). En la misma dirección se destaca el trabajo de Borrastero (2014) que analiza la relación entre la cobertura de políticas

públicas nacionales para el sector de software y servicios informáticos (SSI) de la Argentina y el desempeño innovador de las empresas, a partir de una tipología de empresas según sus niveles de adhesión a las políticas y sus resultados de innovación.

En lo que respecta a la organización del trabajo y su relación con la innovación y los procesos de aprendizaje a nivel de firma, resulta difícil encontrar estudios referidos a países latinoamericanos que consideren estos métodos de análisis de la información. En general, los análisis suelen desarrollarse utilizando metodologías cualitativas (estudios de caso a nivel de empresas, por ejemplo) o análisis econométricos en los que este aspecto es una entre tantas variables explicativas del desempeño innovativo o económico de las firmas. En estos últimos casos, la forma de aproximar la organización del trabajo se reduce a considerar una dimensión en particular (en general, el trabajo en equipo, el control o, más recientemente, la flexibilidad funcional), pero no se aborda la complejidad de estas configuraciones sociotécnicas a partir de la evaluación de las múltiples dimensiones que las constituyen.

En este contexto, la metodología propuesta en este capítulo y el método seleccionado para su desarrollo recoge las ventajas del AFCM y del análisis de clúster generales señaladas al comienzo de esta sección.

En primer lugar, la utilización de estos métodos permite construir grupos homogéneos internamente y diferentes entre sí a partir de las distintas dimensiones (trabajo en equipo, adquisición de experiencias, autonomía, flexibilidad, etc.) que describen formas específicas de la organización del trabajo. Frente a los estudios cualitativos estos grupos consideran la importancia relativa de cada dimensión, pero no solo en sí misma, sino también en su vínculo con las restantes. Al mismo tiempo, permite trabajar con un elevado nivel de profundidad en el análisis de varios casos a la vez, en lugar de uno o dos en particular. Frente a otros métodos cuantitativos, la conformación de grupos para el desarrollo de taxonomías permite reducir la dimensionalidad del fenómeno, pero sin resentir la variabilidad: precisamente esa variabilidad es la que hace posible establecer las formas arquetípicas de organización del trabajo a partir de las relaciones que se establecen entre las variables que sintetizan las dimensiones que la componen. A su vez, la variable que resulta de la clasificación, con sus distintas modalidades, pueden utilizarse como factor explicativo, por ejemplo, en el análisis de la relación entre organización del trabajo y otros elementos del comportamiento de la firma,

sin necesidad de simplificar extremadamente la definición de configuraciones a partir de una única dimensión.

En segundo lugar, frente a otros métodos, el AFCM y el análisis de clúster permiten obtener una caracterización de las formas de organización del trabajo que no se deriva de la discrecionalidad del/de la investigador/a, sino que es el resultado objetivo de relaciones entre variables y sus modalidades. Esto no implica que la definición de distintas formas de organización sea aleatoria y, por lo tanto, dependiente estrictamente de los individuos incluidos en la muestra. Por un lado, al considerar un marco teórico específico, se definen las dimensiones y variables que se utilizarán en el análisis y, por el otro, con un número suficiente de casos es posible testear la robustez de los resultados y la estabilidad de los grupos obtenidos.

En tercer lugar, este método requiere menores niveles de completud en la información disponible y, por lo tanto, es posible incluir a todos los individuos en alguna categoría, aun cuando no se cuente con la totalidad de la información sobre él. Así, por ejemplo, se podrá identificar la forma de organización del trabajo que predomina en una empresa aun cuando no se tenga información sobre las características de la autonomía, porque dicha configuración puede asignarse a partir del resto de las dimensiones y de las relaciones entre ellas. De esta manera, no se excluyen casos como consecuencia de déficits (razonables) de información.

Finalmente, la aplicación de estos métodos a la metodología propuesta en la segunda sección de este capítulo ha demostrado también potencialidad para caracterizar procesos de generación de conocimientos, especialmente aquellos menos formalizados que no responden a estructuras de formación y capacitación específicas y que, por el contrario, se asientan fuertemente en los conocimientos tácitos y en la transmisión a partir de la interacción y el saber hacer. Esto se debe a la posibilidad de incluir variables que permiten cualificar (en lugar de medir exclusivamente) cada uno de estos procesos y fenómenos.

Reflexiones finales: algunos desafíos para estas (y también otras) metodologías

En este capítulo se presentaron los desarrollos metodológicos y los métodos utilizados para caracterizar distintas formas de organización del trabajo y establecer relaciones entre estas configuraciones y los procesos

de aprendizaje e innovación a nivel de firmas. En este sentido, la propuesta realizada se inserta en la variedad de estudios que pretende aportar formas de aproximar el comportamiento heterogéneo de las empresas y el desarrollo de capacidades diferenciales para generar ventajas competitivas a partir de la innovación.

Las construcciones realizadas son el resultado de un proceso de aprendizaje colectivo que ha permitido incorporar dimensiones y profundizar los análisis y conocimientos sobre estas relaciones a través del tiempo. Si bien los desarrollos responden a investigaciones aplicadas al sector productivo argentino, los resultados conceptuales, metodológicos y empíricos han sido validados por integrantes de la comunidad académica internacional, especialmente en el contexto latinoamericano.

Como consecuencia de ello, es posible afirmar que el esquema propuesto no circunscribe su aplicabilidad y relevancia al caso de la Argentina, sino que también refleja las características con las que se desarrollan estas estructuras y procesos a nivel microeconómico en otros países de la región.

Más allá de las características específicas de los métodos utilizados y de las ventajas y desventajas que estos presentan para el análisis de la relación entre la organización del trabajo y los procesos de aprendizaje e innovación a nivel de firmas, existe un conjunto de cuestiones que resulta importante destacar en el particular contexto que definen los rasgos productivos y diversos aspectos institucionales de los países latinoamericanos.

La heterogeneidad es, sin duda, un elemento central en cualquier análisis productivo y tecnológico de las estructuras productivas y empresariales latinoamericanas. Las fuertes diferencias existentes en términos de productividades relativas, que no solamente se circunscriben al análisis intersectorial, sino que abarcan también al comportamiento intrasectorial, condicionan las posibilidades de utilizar esquemas analíticos complejos de manera generalizada. La variabilidad de casos y resultados es mayor entre estos países que en aquellos con mayores niveles de desarrollo relativo, lo cual hace necesario pensar en herramientas de análisis que sean capaces de “adaptarse” con relativa facilidad para poder captar las especificidades, más allá de aportar elementos para establecer patrones vinculados con las similitudes.

En la misma dirección, la heterogeneidad impone fuertes desafíos interpretativos: ¿qué es o qué implica que una organización del trabajo sea formativa en un determinado contexto?, ¿cómo se mide cada una de las

dimensiones constitutivas de la organización del trabajo en presencia de actividades tan diferentes como pueden serlo, en términos generales, la producción de bienes y servicios? Uno de los ejemplos más claros en esta dirección lo constituye el análisis de la flexibilidad. Bajo la lógica de los modelos clásicos de producción industrial, formas de organización del trabajo más virtuosas se asociaban con jornadas de trabajo preestablecidas, acotadas temporalmente y en un espacio provisto por la empresa, en la medida en que todo esto permitía sostener el rol del trabajo como ordenador de la vida. En la actualidad, y especialmente a partir de las posibilidades ofrecidas por las tecnologías de información y comunicación, todos estos aspectos claramente definidos comienzan a diluirse y, lo que es más significativo, no en todos los contextos ni por todos los trabajadores esto se percibe como una característica negativa de los nuevos modelos de organización de la producción. La realidad impone, entonces, repensar categorías y comprender que estamos pensando estructuras analíticas y metodologías para contextos abiertos y cambiantes.

Las características de los procesos innovativos que tienen lugar en las empresas latinoamericanas también generan necesidades metodológicas particulares para dar cuenta de las dinámicas y estructuras que favorecen la producción de conocimientos. Existe un claro consenso en torno al carácter “menos tecnológico” y “menos formalizado” de las dinámicas de innovación en las economías de la región. Como consecuencia, la capacidad de absorción, medida según Cohen y Levinthal (1989, 1990), considerando las inversiones en I+D, resulta, cuando menos, incompleta, aun cuando pueda ser un buen proxy en algunos sectores. El rol de las innovaciones organizacionales (Lam, 2005) y en comercialización permite subsanar, en parte, la imposibilidad de avanzar en procesos de innovación más complejos asociados a desarrollos técnicos en estos países.

En ese marco, las capacidades demandadas, los tipos de conocimientos involucrados y los procesos de adquisición y aprendizaje son sustancialmente diferentes. Es por ello que, por ejemplo, la participación y el involucramiento de los trabajadores en este tipo de dinámicas, que evidencian una especificidad mayor en los contextos organizacionales específicos, adquiere mayor importancia para la transmisión de conocimientos y para la generación de los mecanismos de coordinación y tregua, según lo plantean Nelson y Winter (1982), que la que tendrían en presencia de una innovación en producto.

Por su parte, la “informalidad” de los procesos de innovación también genera desafíos importantes para la medición. ¿Cómo medir aquello que

es tácito, que no está documentado y que no es el resultado de acciones sistemáticas, al estilo del departamento de I+D que ya Schumpeter en 1942 identificaba como el actor fundamental en el proceso de innovación? Decididamente, el camino en este caso es mucho más indirecto y, como tal, más complejo, y requiere propuestas como la presentada en este capítulo, en las que se busca evaluar el potencial de aprendizaje y desarrollo de la organización aun cuando esta no se proponga explícitamente ser productora de nuevo conocimiento.

Por último, pero no por ello menos importante en la medida en que se relaciona con todo lo anterior, resta preguntarnos por los desafíos que impone la (escasa) disponibilidad de información para abordar estos procesos. En los países más desarrollados, con sistemas estadísticos más complejos y formalizados, algunas de las cuestiones relevadas en este capítulo pueden aproximarse a partir de la información disponible en las encuestas de innovación. En el caso particular de la Argentina, la intermitencia de los relevamientos y la discontinuidad de las herramientas utilizadas limita (pero no impide) las posibilidades de utilizar estas fuentes.

Sin embargo, aún en presencia de sistemas estadísticos desarrollados, persiste la especificidad del objeto de estudio: se estudian las estructuras y el comportamiento de las empresas, pero es relativamente menos lo que se sabe y la información que se genera para comprender cómo aprenden las organizaciones y qué estructuras y procesos desarrollan para construir ventajas competitivas basadas en el conocimiento. Frente a esto, la alternativa son los relevamientos particulares, específicos para abordar estas cuestiones.

Estos desafíos y especificidades deben ser atendidas, lo cual requiere generar espacios para la reflexión y producción colectiva sobre esta temática entre investigadores de Latinoamérica en particular, y de los países en desarrollo, más en general.

Bibliografía

- Argyris, C. y Schön, D. (1978). *Organizational Learning: A Theory of Action Perspective*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Bécue Bertaut, M. y Valls i Marsal, J. (2005). *Manual de introducción a los métodos factoriales y clasificación con SPAD*. Bellaterra: Servei

d'Estadística. Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <https://sct.uab.cat/estadistica/sites/sct.uab.cat/estadistica/files/manualSPAD.pdf>.

- Borrastero, C. (2014). "Software y servicios informáticos en la Argentina". *Realidad Económica*, n° 285, pp. 123-150.
- Bosch, G. y Lehndorff, S. (2001). "New Forms of Employment and Working Time in the Service Economy. Final Report". Presentado en la conferencia organizada por la European Trade Union Institute (ETUI) y el Institut Arbeit und Technik (IAT), 26 y 27 de abril. Bruselas, Bélgica.
- Braverman, H. (1978). *Trabajo y capital monopolista*. México: Nuestro Tiempo.
- Burawoy, M. (1989). *El consentimiento en la producción*. Madrid: Ministerio de Trabajo y Seguridad Social.
- Chowhan, J., Pries, F. y Mann, S. (2017). "Persistent innovation and the role of human resource management practices, work organization, and strategy". *Journal of Management & Organization*, vol. 23, n° 3, pp. 456-471. DOI: 10.1017/jmo.2016.8.
- Cohen, W. y Levinthal, D. (1989). "Innovation and learning: the two faces of R & D". *The Economic Journal*, vol. 99, n° 397, pp. 569-596.
- _____ (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation". *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 128-152. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=9603111655&site=ehost-live>.
- Coriat, B. (1992). *El taller y el robot. Ensayos sobre el fordismo y la producción de masa en la era de la electrónica*. Madrid: Siglo XXI.
- de la Garza Toledo, E. (2018). "Los estudios laborales en América Latina al inicio del siglo XXI". *Algarrobo-MEL*, vol. 5, n° 5. Disponible en: <https://revistas.uncu.edu.ar/ojs3/index.php/mel/article/view/924>.
- Edwards, R. (1979). *Contested terrain. The transformation of the workplace in the twentieth century*. Londres: Heinemann.
- Erbes, A.; Roitter, S. y Delfini, M. (2008). "Conocimiento, organización del trabajo y empleo en tramas productivas". *Revista de trabajo. Nueva Época*, vol. 4, n° 5, pp. 73-86.

- _____ (2011). “Organización del trabajo e innovación: un estudio comparativo entre ramas productivas argentinas”. *Economía: teoría y práctica*, n° 34, pp. 101-132.
- Erbes, A.; Roitter, S. y Kababe, Y. (2013). “Procesos de aprendizaje en el sector servicios: ¿nuevas formas de organización del trabajo? En Suárez, D. (comp.), *El sistema argentino de innovación: instituciones, empresas y redes. El desafío de la producción y la apropiación de conocimiento*. Los Polvorines: UNGS.
- Fernández Macías, E. (2003). “Nuevos tiempos de trabajo y calidad del empleo”, *Nuevos tiempos de actividad y empleo*. España: Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales.
- Finkel, L. (1994). *La organización social del trabajo*. Madrid: Pirámide.
- Friedman, A. (1977). *Industry and Labour. Class struggle at work and monopoly capitalism*. Londres: Macmillan.
- García-Ochoa-Mayor, M.; Blázquez-de-la-Hera, M. L. y López-Sánchez, J. I. (2012). “Uso y aplicación de la técnica de análisis estadístico multivariante de cluster sobre la capacidad de innovación tecnológica en Latinoamérica y España”. *Innovar*, vol. 22, n° 44, pp. 21-40.
- George, G.; Zahra, S. A. y Wood, D. R. (2002). “The effects of business-university alliances on innovative output and financial performance: A study of publicly traded biotechnology companies”. *Journal of Business Venturing*, vol.17, n° 6, pp. 577-609. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0883-9026\(01\)00069-6](https://doi.org/10.1016/S0883-9026(01)00069-6).
- Gore, E. (2003). *Conocimiento colectivo. La formación en el trabajo y la generación de capacidades colectivas*. Buenos Aires: Granica.
- Grimshaw, D., Huw, B., Rubery, J. y Ward, K. (2002). “The restructuring of career paths in large service sector organizations: ‘delaying’, upskilling and polarization”. *The Sociological Review* 2002, vol. 50, n° 1.
- Hempell, T. y Zwick, T. (2008). “New technology, work organisation and innovation”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 17, n° 4, pp. 331-354.

- Hodgkinson, G. (2003). "The Interface of Cognitive and Industrial, Work and Organizational Psychology." *Journal of Occupational and Organizational Psychology*, vol. 76, n° 1, pp. 1-24.
- Kantis, H. D.; Federico, J. S. e García, S. I. (2020). "Entrepreneurship policy and systemic conditions: Evidence-based implications and recommendations for emerging countries". *Socio-Economic Planning Sciences*, vol. 72.
- Kogut, B. y Zander, U. (1992). "Knowledge of the firm, kombinatoric". *Organization Science*, vol. 3, n° 3, pp. 383-397.
- Lam, A. (2005). "Organizational innovation". En Fagerberg, I., Mowery, D. y Nelson R. (eds.), *The Oxford handbook of innovation*, Oxford: Oxford University Press.
- Leite, M. (1996). *El rescate de la calificación*. Montevideo: Centro Interamericano de Investigación y Documentación sobre Formación Profesional (Cinterfor/OIT).
- Lichtenthaler, E. y Lichtenthaler, U. (2009). "A capability-based framework for open innovation: Complementing absorptive capacity". *Journal of Management Studies*, vol. 46, n° 8, pp. 1315-1338. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6486.2009.00854.x>.
- López-Roldán, P. y Fachelli, S. (2015). "Software para el análisis de datos: SPSS, R y SPAD". *Metodología de la investigación social cuantitativa*, cap. 3.1. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. Disponible en: <https://ddd.uab.cat/record/129380>.
- Lorenz, E. y Valeyre, A. (2005). "Organisational innovation, human resource management and labour market structure: a comparison of the EU-15". *Journal of Industrial Relations*, vol. 47, n° 4, pp. 424-442.
- Mallet, L. (1995) "Organización formativa, coordinación y motivación". *Revista europea de formación profesional*, n° 5, pp. 11-17.
- Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MinCyT) y Ministerio de Trabajo, Empleo y Seguridad Social (MTEySS) (2015). *Encuesta Nacional de Dinámica de Empleo e Innovación (ENDEI) 2010-2012*. Buenos Aires: MinCyT/MTEySS.

- Nelson, R. R. y Winter, S. G. (1983). "An evolutionary theory of economic change". *The Economic Journal*, vol. 93, n° 371, pp. 652-654. DOI: <https://doi.org/10.2307/2232409>.
- Nonaka, I. y Takeuchi, H. (1995). *The Knowledge-creating company: How Japanese companies create the Dynamics Of Innovation*. Oxford: Oxford University Press.
- Novick, M. (2000). La transformación de la organización del trabajo. En de la Garza Toledo, E. (ed.), *Tratado Latinoamericano de sociología del trabajo*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Novick, M.; Roitter, S. y Erbes, A. (2006). "Empleo y organización del trabajo en el marco de la difusión de TIC's en la industria manufacturera argentina. En Borello, J. A., Robert, V. y Yoguel, G. (eds.), *La informática en Argentina. Desafíos a la especialización y a la competitividad*, pp. 73-90. Los Polvorines/Buenos Aires: UNGS/Prometeo.
- Piore, M. y Sabel, C. (1984). *The second industrial divide: possibilities of prosperity*. Nueva York: Basic Books.
- Rodríguez, M. y Mendoza, H. (2007). "Sistemas productivos y organización del trabajo: una visión desde Latinoamérica", *Gaceta Laboral*, vol.13, n° 2.
- Roitter, S. (2010). *El comportamiento heterogéneo de las firmas frente al empleo: determinantes cíclicos y estructurales. El caso de la industria metalmeccánica argentina en el período 1993-2007*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Roitter, S.; Erbes, A. y Montenegro, B. (2022). "Calidad del empleo en grandes filiales de EMN en Argentina. Una aproximación a partir del análisis de la gestión de recursos humanos y la organización productiva". En Cretini, I., Delfini, M., Erbes, A. y Quadrana, A. (comps.), *Empresas multinacionales en Argentina. Representación, inserción sectorial y trabajo*. Los Polvorines: UNGS.
- Roitter, S.; Erbes, A.; Yoguel, G.; Delfini, M. y Pujol, A. (2007). "Competencias endógenas y vinculaciones en agentes pertenecientes a las tramas productivas automotriz y siderúrgica". *Economía: teoría y práctica*, n° 26, 69-118.
- Sarstedt, M. y Mooi, E. (2014). *A Concise Guide to Market Research*. Berlín: Springer-Verlag.

- Schumpeter, J. (1942). *Capitalism, socialism, and democracy*. New York: Harper & Brothers.
- Villavicencio, D. (2006). “Trabajo, aprendizaje tecnológico e innovación”. En de la Garza Toledo, E. (coord.), *Teorías sociales y estudios del trabajo*. Barcelona: Anthropos.
- Zarifian, P. (1996). *Travail et communication. Essai sociologique sur le travail dans la grande entreprise industrielle*. París: PUF.
- Zoghi, C.; Mohr, R. D. y Meyer, P. B. (2010). “Workplace organization and innovation”. *Canadian Journal of Economics. Revue canadienne d'économique*, vol. 43, n°2, pp. 622-639. DOI : <https://doi.org/10.1111/j.1540-5982.2010.01586.x>.
- Zollo, M. y Winter, S. G. (2002). “Deliberate learning and the evolution of dynamic capabilities”. *Organization Science*, vol. 13, n°3, pp. 339-351. DOI: <https://doi.org/10.1287/orsc.13.3.339.2780>.

Capítulo 2

Consideraciones para realizar estudios comparados utilizando datos provenientes de las encuestas de innovación en América Latina y el Caribe

Sandra Zárate, Nadia Albis, José Miguel Natera, Erika Sánchez y Fernando Vargas

Introducción

Los datos sobre innovación en el sector productivo, que se derivan de las distintas encuestas inspiradas en el *Manual de Oslo* (Eurostat/OECD, 2005, 2018), son un insumo fundamental para entender los procesos de innovación en el interior de las empresas y alimentar políticas públicas basadas en la evidencia. En América Latina y el Caribe (ALC), el primer ejercicio de este tipo se remonta a finales de la década de los ochenta en Uruguay (Argenti, Filgueira y Sutz, 1990), pero solo desde mediados de los noventa empezó a generalizarse su aplicación. Actualmente, trece países de la región han realizado encuestas de innovación y en siete de ellos se efectúan de manera regular.

Las encuestas de innovación en la región guardan un marco conceptual similar, basado en el *Manual de Oslo* (Eurostat/OECD, 2005) y el *Manual de Bogotá* (Jaramillo, Lugones y Salazar, 2001) y más recientemente se ha logrado cierta convergencia a través de la adopción de los parámetros establecidos en la Community Innovation Survey (CIS). Adicionalmente, las oficinas encargadas participan en ejercicios periódicos para reportar datos a organizaciones internacionales (como

la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT) o la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Unesco) y la difusión de guías para la implementación de encuestas de innovación con cuestionarios adaptados a los países de ALC (Anlló *et al.*, 2014). No obstante, aún persisten diferencias metodológicas que limitan la comparabilidad en el micro y macronivel (Guillard y Salazar, 2017; Zárata, 2018; Crespi *et al.*, 2022). Los problemas de comparabilidad internacional de indicadores de innovación pueden ser reducidos a través de la implementación de formularios y metodologías comunes para la elaboración de las encuestas (Wilhelmsen, 2012). Sin embargo, esto no ha sido el caso de los países de ALC.

Estas limitaciones, sumadas a la dificultad para acceder a los microdatos, complican la elaboración de estadísticas y estudios comparados entre países de ALC y otras regiones del mundo, restando su potencial para evaluar los efectos de las políticas de innovación y comprender las particularidades o las semejanzas de los sistemas nacionales de innovación de la región.

Se han realizado variados esfuerzos en la región para analizar estos problemas y proponer alternativas para mejorar la comparabilidad de los indicadores de innovación entre los países de ALC. Entre ellos destaca el trabajo realizado desde la RICYT, a través de la promoción del desarrollo y el uso de instrumentos para la medición y el análisis de la ciencia, la tecnología y la innovación, y las iniciativas lideradas por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) que buscan contribuir a la producción de indicadores de innovación con estándares de calidad y metodologías reconocidas internacionalmente tales como: a) la elaboración de un manual para la implementación de encuestas de innovación (Anlló *et al.*, 2014); b) la construcción de un balance de la experiencia en la aplicación de encuestas de innovación en países latinoamericanos que hubiesen desarrollado más de tres rondas (Guillard y Salazar, 2017) y c) la construcción de una base de datos armonizada y regional denominada LAIS (Latin American Innovation Surveys Database), que identifica preguntas similares entre encuestas para facilitar la estimación de estadísticas comparables entre países (Crespi *et al.*, 2022). También destaca el trabajo realizados por Barletta y Suárez (2015), en el que se revisan doce encuestas de innovación de países latinoamericanos y se contrastan con las aplicadas en España y Portugal con el formulario CIS, discutiendo también las ventajas y limitaciones de la comparabilidad, y,

más recientemente, el documento de Zárate (2018), en el que se identifican los aspectos diferenciadores y de comparabilidad de diez encuestas de innovación en ALC, a partir de una comparación metodológica de los instrumentos utilizados.

Estos trabajos han puesto de manifiesto las dificultades que implica armonizar la información de las encuestas de innovación, desde el punto de vista estadístico y en su conceptualización para asegurar la comparabilidad de los datos entre países y construir indicadores y análisis económicos más complejos de los procesos de innovación. Por una parte, se observan diferencias metodológicas en la forma como se estructuran los formularios, el uso de filtros que definen las empresas que contestan las diversas secciones de las encuestas, la elección de la unidad estadística, los criterios de clasificación (empresas versus establecimientos), la población objetivo, o el período de medición que considera cada encuesta. Por otra parte, existen diferencias en la formulación y conceptualización de las preguntas y en la disponibilidad de la información de los indicadores de innovación que pueda vincularse con otros indicadores económicos o la posibilidad de trabajar con datos de panel.

En este marco, el presente documento tiene como propósito realizar un balance de los principales desafíos metodológicos que enfrenta la elaboración de estudios comparativos entre países usando las encuestas de innovación realizadas en ALC. Con base en la revisión de doce encuestas de innovación aplicadas durante la ventana de observación de cinco años (2012-2016), en el documento se hace un balance de los principales problemas metodológicos que subsisten en la armonización y comparación de variables y marcos estadísticos entre encuestas. Se toma como base y se enriquecen los trabajos realizados por el BID (Crespi *et al.*, 2022) y Zárate (2018) sobre esta materia y se plantea un conjunto de recomendaciones para abordar los estudios comparados con datos de innovación en ALC.

Este documento se organiza de la siguiente manera. En la segunda sección se expone la metodología utilizada. A continuación, se presentan las principales diferencias y similitudes metodológicas y de estructura de los instrumentos de levantamiento de información sobre innovación en ALC. Luego se propone una serie de pautas para tratar los datos al momento de realizar estudios comparados con encuestas de innovación. Por último, se realiza una conclusión en la que se plantean desafíos y recomendaciones.

Metodología

El estudio se llevó a cabo a través de tres fases. La primera consistió en la revisión y síntesis de las principales diferencias y similitudes identificadas entre las doce encuestas de innovación analizadas, tomando como referencia y actualizando los trabajos elaborados por Zárate (2018) y Crespi *et al.* (2022); una revisión de la literatura que realiza estudios comparados en ALC extrayendo las opiniones expresadas por sus autores respecto a las dificultades para realizar este tipo de trabajos y la consulta a expertos en estudios y medición de la innovación en ALC.¹ Los dos grandes ámbitos que se comparan entre las encuestas son los siguientes: a) el diseño metodológico de las encuestas en relación con los sectores cubiertos, periodicidad y conformación de la muestra y b) el contenido y secuencialidad de los cuestionarios, en particular, considerando la organización de las preguntas y las categorías temáticas (actividades conducentes a la innovación, resultados, obstáculos, vínculos motivaciones, fuentes de ideas y propiedad intelectual).

En el estudio se incluye la versión más actualizada de la encuesta de innovación en cada país, en una ventana de observación de cinco años (2012-2016) (cuadro 1).

¹ Instituto Brasileño de Geografía y Estadística, Universidad de Chile, Departamento Nacional de Estadística de Colombia, Ministerio de Ciencia, Tecnología y Telecomunicaciones de Costa Rica, Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación de Ecuador, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología de México, Foro Nacional Internacional de Perú, Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay y Comisión de Investigaciones Científicas de Argentina.

Cuadro 1. Encuestas de innovación revisadas

Encuesta	País	Período de referencia	Entidad ejecutora
Encuesta nacional de innovación (ENDEI)	Argentina (ARG)	2014-2016	INE y MINCyT
Encuesta de innovación tecnológica	Brasil (BRA)	2012-2014	IBGE, MCTIC
Encuesta nacional de innovación	Chile (CHL)	2015-2016	INE, Ministerio de economía
Encuesta de desarrollo e innovación tecnológica	Colombia (COL)	"Manufactura: 2015-2016 Servicios: 2016-2017"	DANE
Encuesta nacional de innovación empresarial	Costa Rica (CRI)	2015-2016	MICITT
Encuesta nacional de actividades de innovación	Ecuador (ECU)	2012-2014	NEC, SENESCyT
Encuesta nacional de innovación	El Salvador (SLV)	2009-2012	DICA, MINEC
Encuesta sobre investigación y desarrollo tecnológico	México (MEX)	2012-2013	INEGI, CONACyT
Encuesta de investigación, desarrollo e innovación	Panamá (PAN)	2011-2013	INEC
Encuesta de innovación empresarial de Paraguay (EIEP)	Paraguay (PAR)	2013 -2015	CONACyT y DGEEC
Encuesta nacional de innovación	Perú (PER)	2012-2014	INEI
Encuesta de actividades de innovación en la industria uruguaya	Uruguay (URÚ)	2013-2015	INE, ANII

Nota: Se excluye República Dominicana debido a que el período de la aplicación de la encuesta se encuentra muy alejado de la ventana de observación para el resto de los países.

Fuente: elaboración propia

La segunda fase consistió en plantear recomendaciones metodológicas para la realización de estudios comparados, considerando los problemas de comparabilidad identificados en la fase anterior. Es importante notar que la mayor parte de las encuestas de innovación de la región generan datos de sección cruzada y no es posible lograr una plena trazabilidad entre firmas y versiones de encuestas; con excepción de los casos de Colombia y Uruguay, para los cuales se puede construir bases de datos

longitudinales.² En ese sentido y por su brevedad, el estudio se concentrará en los problemas metodológicos que surgen de la comparación de datos de corte transversal.

Revisión de encuestas de innovación

Diferencias en el diseño de las encuestas

Diseño muestral

A) Tamaño de las empresas a encuestar

Respecto a los criterios de inclusión para la conformación de la muestra, la mayoría de los países utiliza como variable principal el número de empleados (cuadro 2). Así, la ARG, BRA, ECU, EL SLV y PAR encuestaron a empresas con más de diez empleados, MÉX incluyó empresas con veinte empleados o más, URU dirigió la encuesta a empresas con más de cinco personas empleadas y CRI empresas con más de seis empleados. Por otra parte, CHL³ y PER tomaron como criterio las ventas anuales, en el primer caso con ventas superiores a US\$96.552 y en el segundo mayores a US\$20.800. En ECU y COL se usa una combinación de las ventas anuales y el tamaño de la firma (ventas anuales de US\$142.000 y con más de diez empleados para manufactura y, en servicios, estos criterios varían según división o grupo). En el caso de PAN se consideran todos los tamaños empresariales, pero se limita a las empresas que desempeñan actividades de I+D internas o externas.

Todos los países incluidos en este estudio encuestaron a empresas de tamaño pequeño, mediano y grande, aunque entre las encuestas el criterio que define el tamaño de las empresas es diferente. MÉX tiene una división de seis rangos, según el número de personal empleado, sin distinguir cuáles se refieren a una clasificación específica. COL no hace ninguna especificación para la segmentación de sus empresas con excepción de la cota inferior que define los criterios de inclusión. URU y PAN son los únicos que tienen en cuenta dentro de su diseño muestral a las

² De estas dos, la única diseñada como panel es la de Uruguay. En Colombia, es posible construir un panel, porque se censa a la población objetivo. Si bien existe entrada y salida de empresas en torno al umbral a partir del cual se define a la población objetivo, un porcentaje significativo de las empresas se mantiene ronda tras ronda.

³ Excepto para los sectores de minería y de energía, gas y agua que hacen un censo de las empresas (sobre otro umbral).

microempresas. El criterio con el que en cada encuesta clasifica el tamaño de las empresas es muy heterogéneo, como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Definición del tamaño de las empresas en las encuestas de innovación de ALC

País	Criterio	Micro-empresa	Pequeña empresa	Mediana empresa	Grande empresa	Autorrepresentados
ARG	Número de trabajadores/as	N/A	10-25	26-99	100-499	≥ 500
BRA	Número de trabajadores/as	N/A	10-99	100-499	> 500	N/A
CHL	Ventas anuales	N/A	US\$96.552-US\$1M	US\$1M-US\$4M	> US\$4M	N/A
COL	Número de trabajadores/as y ventas anuales	N/A	N/A	N/A	N/A	"Manufactura: 10-49; ventas ≥ US\$142.000 Servicios: según subsector**"
CRI	Número de trabajadores/as	N/A	6-25	26-100	> 100	N/A
ECU	Número de trabajadores/as y ventas anuales	N/A	10-49	50-499	≥ 500; ventas ≥ US\$5M	N/A
SLV	Número de trabajadores/as	N/A	10-50	51-100	≥ 100	N/A
MEX	Número de trabajadores/as	N/A	"Rango 6: 20-50 Rango 5: 51-100"	"Rango 4: 101-250 Rango 3: 251-500"	Rango 2: 501-750	Rango 1: ≥ 751
PAN	Ventas del último año de recolección	≥ US\$150.000	US\$150.001-US\$1M	US\$1M-US\$2.5M	US\$2.5M-US\$15M	Muy grande ≥ US\$16M
PAR	Número de trabajadores/as	N/A	10-49	50-99	100-249	≥ 250
PER	Ventas	N/A	US\$20.800-US\$156.000	US\$156.001-US\$1.7M	> US\$1.7M	Empresas que representan el 80% de las ventas anuales
URU	Número de trabajadores/as y ventas anuales	5-9	10-19	20-49	50-99	"≥ 100; ventas > US\$2.760.000 o US\$5.520.000 para empresas comerciales"

Notas: (*) > 10 división 58; > 20 divisiones 35, 36, 37, 38 y 51; grupos 492 y 854; > 40 divisiones 53, 55, 59, 61 y 86; grupos 561, 562, 601, 602; > 50 división 47; > 75 grupos 620 y 631; > 100 divisiones 45 y 46. (N/A) No aplica.

Censo: División 72 y clases 6411 y 6412. Los grupos, divisiones y clases corresponden a la CIU revisión 4 adaptada para Colombia.

Fuente: adaptado del estudio de Zárate (2018) y Crespi et al. (2022)

B) Sectores cubiertos por las encuestas

En las encuestas de innovación no todos los países priorizan la medición en el mismo tipo de sectores y actividades económicas, esto en parte se explica por las diferencias en la estructura y especialización productiva, así como las prioridades asignadas desde los gobiernos. Teniendo en cuenta las recomendaciones del *Manual de Oslo* y del *Manual de Bogotá*, todas las encuestas inicialmente recolectaron información del sector manufacturero. Con el paso del tiempo se han incorporado nuevas clasificaciones y sectores en los que se considera importante la medición de la innovación, sea porque representan parte de la actividad económica relevante de cada país o por la prioridad que tienen desde la política de ciencia, tecnología e innovación (CTI). Estas diferencias sectoriales necesariamente deben ser consideradas al estimar e interpretar las estadísticas de innovación a nivel país.

Durante el período analizado todas las encuestas midieron la actividad innovadora en el sector manufacturero; no obstante, respecto a los demás sectores hay una diversidad de desagregaciones como se muestra a continuación.

Cuadro 3. Sectores cubiertos por las encuestas de innovación en ALC (CIU rev. 4)

Sector	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
1. Agricultura y pesca*	-	-	X*	-	X	-	-	-	X*	-	-	-
2. Minería	-	X	X	-	-	X	-	X	X	-	-	-
3. Manufactura	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
4. Servicios	-	X	X**	X**	X	X**	X	X	X**	X	-	X
4.1 Atención de la salud humana y trabajo social	-	-	X	X	X	X	-	-	X	-	-	X
4.2 Educación	-	-	X	X	-	-	-	X	X	-	-	-
4.3 Actividades de servicios administrativos y de apoyo	-	-	X	-	-	X	-	-	X	-	-	X
4.4 Actividades profesionales, científicas y técnicas	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-	X
4.5 Actividades inmobiliarias	-	-	X	-	-	X	-	X	-	-	-	-
4.6 Actividades financieras y de seguros	-	-	X	X	X	X	-	X	X	-	-	X
4.7 Información y comunicaciones	-	-	X	X	-	X	X	X	X	X	-	X
4.8 Actividades de alojamiento y servicio de comida	-	-	X	X	X	X	-	-	X	X	-	X
4.9 Transporte y almacenamiento	-	-	X	X	-	X	-	X	X	X	-	X
4.10 Construcción	-	-	X	-	-	X	-	X	X	X	-	-
4.11 Agua; alcantarillado, gestión de desechos y saneamiento	-	-	-	X	-	X	-	-	X	-	-	X
4.12 Electricidad, gas, vapor y aire acondicionado	-	X	X	X	-	X	-	X	X	-	-	X

Notas: (*) Incluyen pesca; (**) hacen la medición de actividades de comercio.

Fuente: adaptado del estudio de Zárate (2018) y Crespi et al. (2022)

C) Estratificación

Los países de ALC han adquirido experiencia y capacidades para la recolección y sistematización de información, lo que ha permitido garantizar la medición de la innovación en un porcentaje amplio de empresas, en especial las de mayor tamaño. Respecto a la construcción de la muestra, la mayoría sigue la recomendación del *Manual de Oslo* sobre hacer un muestreo estratificado, COL hace un cuasicenso por lo que es representativa de todos los estratos y URU construyó una muestra tipo panel usando un muestreo estratificado por actividad económica y tamaño. El muestreo estratificado que se usa distingue dos tipos de estrato: a) el estrato forzoso que tiene en cuenta las empresas de mayor tamaño y b) el estrato muestral en el que se incluyeron las demás empresas (cuadro 4).

Esta metodología fue aplicada en la mayoría de los países, aunque con variaciones; por ejemplo, CHL la utilizó, pero al mismo tiempo hizo una operación de censo para los sectores de minas, canteras, suministro de electricidad, gas y agua. CRI hizo un muestreo aleatorio simple, pero en cada encuesta mantuvo el 50% de la muestra del año anterior. Por otra parte, el estrato muestral de BRA no fue completamente aleatorio, porque fue construido a conveniencia, pues se aseguró que el 80% de las empresas del estrato probabilístico tuviera algún tipo de actividad innovadora. Un caso similar sucede en PAN cuya muestra se extrae considerando las empresas que contestaron positivamente las preguntas de I+D en el censo económico de 2010.⁴

Cuadro 4. Estratificación de las encuestas de innovación de ALC

Estratificación	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Actividad económica	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X	-	X
Tamaño de la empresa	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Región	X	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-

Nota: COL se incluye, aunque su operación es de cuasicenso, no tiene una estratificación, de tal forma que los tres niveles están autorrepresentados.

Fuente: adaptado del estudio de Zárate (2018) y Crespi et al. (2022)

Respecto a la estratificación que se hace por tipo de actividad económica, esta es muy diversa entre países debido a la variedad de actividades

⁴ Para más detalle del censo económico de 2010 de Panamá, ver Suárez (2018).

que son o no tenidas en cuenta dentro de las encuestas (ver más adelante). Adicionalmente, en algunos países como ARG, BRA, CHL, COL, ECU y PER el diseño de la muestra permite que haya representatividad por localización geográfica.

D) Inferencia estadística

La mayoría de las encuestas que aquí se exploran garantizan una representatividad según la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). CHL, COL, CRI, ECU, El SLV, PAN, PAR, PER y URU utilizan la versión 4 de la CIIU, mientras que, la ARG trabaja con la CIIU, revisión 3. Por otra parte, las divisiones y agregaciones de BRA se encuentran con la Clasificación Nacional de Actividades Económicas 2.0 (CNAE 2.0) y los sectores productivos de MÉX están por rama de actividad de la OCDE; sin embargo, en ambas clasificaciones se puede hacer la equivalencia con la CIIU, revisión 4. Hay que tener en cuenta que, según la versión adaptada, hay diferencias en la clasificación de las empresas, pues la revisión 4 ha desplazado algunas actividades entre sectores.

Cuadro 5. Inferencia estadística en las encuestas de innovación de ALC

Versión ISIC	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
CIIU 3	2d-4d	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
CIIU 4	N/A	4d	1d-2d	4d	4d	3d	2d	2d	2d	2d	2d	4d

Notas: (#d) Número de dígitos; (1d) sección; (2d) división; (3d) grupo; (4d) clase; (N/A) no aplica.

Fuente: adaptado del estudio de Crespi *et al.* (2022) y Zárate (2018)

Periodicidad

La periodicidad de la aplicación de las encuestas de innovación depende de múltiples factores, principalmente relacionados con la fortaleza institucional que garantice la disposición de recursos que faciliten el levantamiento, procesamiento y análisis de esta información. En América Latina, durante la última década, las oficinas de estadísticas nacionales y los ministerios e instituciones relacionadas con la CTI han hecho un esfuerzo por mantener la periodicidad y continuidad en la aplicación de estos instrumentos, incorporando las sugerencias de los manuales internacionales y recolectando necesidades de información de los actores interesados en este tipo de temáticas. Así se puede reconocer el trabajo

constante de Uruguay, Colombia y Chile, que durante los últimos doce años han hecho una medición periódica y continua.

En las encuestas revisadas se identificó, además, que la mayoría de los países tiene un período de observación trienal con excepción de CHL, CRI, MÉX y COL, en los que es bienal. Las diferencias en la periodicidad pueden generar algunos inconvenientes para hacer comparables los datos, pues además en algunos casos solo se pregunta por la información del último año de observación; tal como sucede con el personal dedicado a actividades conducentes a la innovación en las encuestas de BRA, CRI, ECU, PER y URU; la inversión en actividades conducentes a la innovación en BRA y PAN y los ingresos generados por innovaciones en BRA, CHL, COL, El SLV, PAN, PAR, PER y URU.

De acuerdo con Crespi *et al.* (2022), el sesgo de recuerdo puede ser mayor con un período de observación más amplio, teniendo un impacto negativo en la calidad de los datos. Por otra parte, ese mismo estudio resalta que las empresas que innovan ocasionalmente tendrían una mayor probabilidad de ser identificadas en encuestas que tienen períodos de referencia más amplios. Así, todo lo demás constante, países con períodos de referencia más largos podrían presentar una mayor tasa de innovación que países con encuestas de menor cobertura temporal.

Diferencias en el contenido de los cuestionarios

Para realizar el análisis de los datos obtenidos de la aplicación de las encuestas de innovación, es importante considerar la secuencialidad de las preguntas en los cuestionarios y la forma en cómo se van generando diferentes filtros, pues esto puede afectar la calidad de las respuestas (McFarland, 1981). Si bien las encuestas incluyen categorías iguales o muy similares, no miden el mismo tipo de empresas en todas las preguntas. Esto permite diferenciar tres tipologías de empresas: a) Empresas innovadoras: las que durante el período de referencia declararon tener como resultado algún tipo de innovación. b) Empresas potencialmente innovadoras: estas hicieron inversiones en innovación sin que necesariamente hubieran obtenido un resultado. c) Empresas no innovadoras: las empresas que no invirtieron en ningún tipo de actividad y que no generaron ningún tipo de resultado en innovación.

El cuadro 6 resume los filtros que se usaron en las encuestas de innovación de ALC analizadas. Así, se encontró que ARG, COL, CRI, El SLV y PER tienen cuestionarios que incluyen (en casi la totalidad de la encuesta)

tanto a las empresas innovadoras y potencialmente innovadoras como a las no innovadoras. En la construcción de formularios también se han retomado otras experiencias, por ejemplo, El SLV y PAR consultaron el formulario propuesto en un manual del BID (Anlló *et al.*, 2014) y PER se inspiró en la experiencia de los formularios de URU. Además, la mayoría de estos países revisan de manera constante el formulario CIS.

Por otra parte, están las encuestas de MÉX, BRA y CHL, países que hacen parte de la OCDE desde antes de 2016 y que para la construcción de sus formularios tomaron como referencia el *Manual de Oslo* y la encuesta europea CIS, buscan así caracterizar la actividad de las empresas innovadoras y potencialmente innovadoras, teniendo como prioridad recolectar información comparable con el grupo de países OCDE (Zárate, 2018). ECU y PAR, si bien no pertenecen al grupo de países OCDE, tienen un formulario que en su mayoría se enfoca en describir la actividad de empresas innovadoras y potencialmente innovadoras.

Cuadro 6. Filtros usados en las encuestas de innovación de ALC

Filtro	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Actividades conducentes a la innovación	Todas	I/PI	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	I/PI	I	Todas	Todas	Todas
Resultados de innovación	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	I/PI
Personal dedicado	I/PI	I/PI (solo I+D)	Todas	I/PI	Todas (solo I+D)	Todas	Todas	Todas (solo I+D)	Todas (solo I+D)	Todas	I/PI	I/PI
Obstáculos	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	Todas	I/PI	Todas	Todas	Todas	Todas
Cooperación	Todas	I/PI	I/PI	I/PI	Todas	I/PI	Todas	I	I	Todas	Todas	I/PI
Fuentes de información	I/PI	I/PI	I/PI	I/PI	Todas	I/PI	Todas	I/PI	I	Todas	Todas	I/PI
Motivaciones/objetivos	I/PI	N/A	N/A	N/A	N/A	I/PI	Todas	I/PI	N/A	Todas	I/PI	N/A
Impactos	N/A	I/PI	I	I	I	I	N/A	N/A	I	Todas	N/A	I/PI
Propiedad intelectual	I/PI	I/PI	Todas	Todas	Todas (solo patentes)	Todas	I	N/A	I	Todas	Todas	I/PI

Notas: (I) Empresas innovadoras; (P/I) potencialmente innovadoras; (Todas) la sumatoria de las anteriores clasificaciones incluyendo además las no innovadoras; (N/A) no aplica. Aunque no hay un filtro explícito en el cuestionario, la mayoría de las empresas no innovadoras no responden esta sección.

Fuente: adaptado de Zárate (2018) y Crespi *et al.* (2022)

El cuadro 7 muestra un resumen por país según el orden general en el que se estructuran las encuestas de innovación en ALC. Para el período analizado, la mayoría de las encuestas comenzaron recolectando información básica del desempeño económico y características generales de las empresas (como empleo total, ventas, principal producto de exportación, entre otros). COL y PER son los únicos que iniciaron su formulario preguntando directamente por los resultados de innovación alcanzados y la realización de actividades innovadoras, respectivamente.

Cuadro 7. Orden de las secciones en las encuestas de innovación de ALC

Secciones	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Características generales	1°	1°	1°	2°	1°	1°	1°	1°	1°	1°	3°	1°
Resultados de innovación	3°	2°	2°	1°	2°	2°	3°	3°	3°	3°	2°	3°
Actividades conducentes a la innovación	2°	3°	3°	3°	3°	3°	2°	2°	2°	2°	1°	2°

Fuente: adaptado del estudio de Zárate (2018) y Crespi et al. (2022)

Actividades conducentes a la innovación

Todos los países preguntaron a las empresas sobre la realización de alguna actividad conducente a la innovación y por el monto anual destinado a cada una de estas actividades. MÉX es el único que no aplicó una pregunta filtro de si invierte o no en innovación y averiguó directamente por el monto invertido. El SLV realizó esta consulta para el primer y último año y BRA preguntó por el monto invertido solo para el último año, las demás encuestas de innovación consultan por la inversión en actividades conducentes a la innovación en cada uno de los años del período cubierto. El cuadro 8 muestra, de manera detallada, las actividades conducentes a la innovación consultadas por las encuestas de cada país.

Cuadro 8. Actividades conducentes a la innovación

Actividades conducentes a la innovación	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Gastos en cualquier tipo de innovación	X	-	X	X	X	-	-	-	X	-	-	X
Gastos únicamente en innovaciones de productos o procesos	-	X	-	-	-	X	X	X	-	X	X	-
I+D interna	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
I+D externa	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Maquinaria y equipo	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hardware	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	X	-
Software	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-
Hardware y software	X	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
Maquinaria, equipo y software	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Transferencia de tecnología	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-
Consultoría	X	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-
Transferencia de tecnología y consultoría	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	X
Capacitación	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ingeniería y diseño	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Estudios de mercado	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	X	X
Actividades en desarrollo	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-
Abandonadas o suspendidas	-	X	X	X	-	X	-	-	-	-	X	-
Otros	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	-	X

Nota: En MÉX se pregunta de forma indirecta, se averigua respecto de si el proyecto o el segundo principal están en esa situación. En el caso de la ARG, CHL, COL, CRI, PAN y URU los gastos reportados corresponden a actividades desarrolladas para introducir cualquier tipo de innovación, mientras que, para BR, EC, El SLV, MÉX, PER y PAR, esta información se refirió exclusivamente a actividades dirigidas a innovaciones en producto o procesos.

Fuente: Adoptado de Crespi et al. (2022) y Zárate (2018)

Todos los países, aunque con denominaciones o agregaciones heterogéneas, incluyeron las clasificaciones de inversión relacionada con I+D interna y externa, transferencia de tecnología, adquisición de maquinaria y equipo para la innovación, adquisición de software (CHL lo agregó con maquinaria y equipo y la ARG, COL, URU lo sumaron con hardware), capacitaciones para innovar, e ingeniería y diseño (CHL, solo

se refirió a actividades de diseño). Otra actividad incluida en la mayoría de las encuestas fue la asistencia técnica o la consultoría, excepto en BRA, CHL, PER y URU.

Otro aspecto que miden diferentes países está relacionado con los proyectos o actividades de innovación abandonadas, suspendidas o aún en desarrollo, que se preguntaron en países como BRA, CHL, COL, ECU y PER. En todos ellos se incluyeron preguntas sobre las actividades abandonadas, ECU no preguntó por las actividades suspendidas, CHL y PER no hicieron diferencia entre actividades abandonadas y suspendidas, BRA se refirió a proyectos incompletos, COL no preguntó por las suspendidas y BRA y COL preguntaron en términos de proyectos.

Respecto a la información sobre fuentes de financiamiento de las actividades conducentes a la innovación, el cuadro 9 muestra un resumen. Todas las encuestas preguntaron por las fuentes de financiación públicas de la innovación. Respecto a los recursos propios, todos los países incluyeron esta categoría de gasto, excepto CHL. En cuanto al financiamiento de la banca comercial, se puede extraer esta información para todos menos para BRA y CHL. Los recursos provenientes de otras empresas solo se midieron en las encuestas de CRI, COL, MÉX y URU, mientras que los recursos provenientes de organismos internacionales los incluyó ECU, CRI, MÉX, y URU, además BRA y MÉX, incluyeron la desagregación de recursos que provienen del extranjero. Para todos los países, además, se puede extraer información de otras fuentes de financiamiento.

Cuadro 9. Fuentes de financiamiento para las actividades conducentes a la innovación

Tipo de recurso	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	EC	SLV	MÉX	PAN	PR	PER	UR
Público	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Banca	x	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Recursos propios	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Otros*	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Nota: (*) Entre los que se incluye: recursos de la casa matriz, recursos de proveedores, recursos de clientes, recursos de universidades, recursos de fundaciones, asociaciones sin fines de lucro u ONG.

Fuente: adaptado de Zárte (2018) y Crespi et al. (2022)

Resultados de innovación

Se observa una cierta convergencia en las definiciones de innovación utilizadas en los instrumentos de medición. En todos los casos, se pregunta por la innovación de producto y el proceso organizacional o de marketing (cuadros 10.1 y 10.2). Las diferencias en la medición se relacionan principalmente con la desagregación que aplican a las innovaciones y, en particular, la distinción entre innovaciones nuevas o mejoradas o su alcance, ya sea internacional, nacional, para el mercado de referencia o para la firma.

En el cuadro 10.1 se evidencia que todos los países preguntaron sobre los cuatro tipos de innovación; sin embargo, existen diferencias en las características de esta información. Como se muestra en el cuadro 10.2, más de la mitad de los países distinguió entre innovaciones de producto nuevas o significativamente mejoradas (ARG, BRA, COL, ECU, El SLV, PAR y PER) mientras que el resto combinó en una misma categoría ambos tipos de innovación de producto (CHL, CRI, MÉX y URU). En referencia al grado de novedad (empresa/mercado nacional/mercado internacional/mercado de referencia), CHL y PAN no distinguieron entre mercado nacional o internacional, pues, al igual que en la CIS, solo considera las innovaciones nuevas para la firma y nuevas para su mercado de referencia.

Cuadro 10.1 Resultados de innovación por tipo de innovación y ventas de productos innovadores

Resultados de Innovación	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Innovación en producto (bienes y/o servicios)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Innovación de proceso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Innovación organizacional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Innovaciones de marketing	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ventas de productos innovadores	-	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X

Fuente: adaptado de Crespi et al. (2022) y Zárate (2018)

Cuadro 10.2 Resultados de innovación por grado de novedad

Resultados de innovación	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Existencia de productos nuevos (bienes y/o servicios)	X	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	-
Existencia de productos mejorados (bienes y/o servicios)	X	-	-	X	-	X	X	-	-	X	X	-
Existencia de productos nuevos o mejorados (bienes y/o servicios)	-	-	X	-	-	-	-	X	X	-	-	-
Grado de novedad de la innovación del producto (bienes y/o servicios)	a	a	b	a	a	a	a	a	b	a	a	a
Grado de novedad de la innovación del proceso	a	a	b	-	a	a	a	-	b	a	a	a

Nota: (a) Nueva para la firma, el mercado nacional y el mercado internacional; (b) nueva para la firma o mercado de la empresa.

Fuente: adaptado de Zárata (2018) y Crespi et al. (2022)

En cuanto a la innovación de proceso, El SLV, ECU y PER son los únicos países que solicitaron información desagregada sobre si los procesos son nuevos o mejorados. Por otra parte, BRA, CHL y PER preguntaron por desagregaciones de innovación de proceso: a) métodos de producción; b) logística y c) actividades de apoyo. En cuanto al grado de novedad de la innovación de proceso se pregunta en la mayoría de las encuestas, con excepción de COL y MÉX.

Considerando las preguntas sobre innovaciones organizacionales, ECU, CHL, PER, BRA y MÉX, preguntaron de forma separada por tres tipos de desagregación de las innovaciones organizacionales (nuevas prácticas de negocios, nuevos métodos de la organización de responsabilidades y toma de decisiones, nuevos métodos de organización de las relaciones externas). Respecto a las innovaciones en comercialización o marketing, todos los países averiguaron por la introducción de este tipo, particularmente ECU, CHL, PER, BRA y MÉX incluyeron desagregaciones, referentes a cambios en el diseño o empaque de un bien o servicio y los cambios o nuevos métodos en la distribución o las ventas.

En lo que se refiere a las ventas percibidas por productos innovadores (cuadro 10.1), todos los países a excepción de ARG y CRI preguntaron por porcentaje de ventas y exportaciones. En la mayoría de los cuestionarios analizados (BRA, CHL, COL, SLV, PAR, PER, y URU) recogieron información de las ventas del último año de referencia; MÉX y ECU se pregunta por el porcentaje de ventas y exportaciones de todo el período de referencia.

Obstáculos a la innovación

Todos los países incluyeron en su encuesta una sección dedicada a los obstáculos que enfrentan las empresas para desarrollar los procesos de innovación. Se observa una gran disparidad en los tipos de obstáculos considerados, las opciones de respuesta con que se miden y el tipo de empresas que contestan estas preguntas. Respecto al tipo de obstáculos (cuadro 11), las siguientes opciones fueron las más frecuentes: ausencia de personal calificado (todos); altos costos de innovar (diez países); falta de información sobre los mercados (diez países); falta de información sobre tecnologías (nueve países) y falta o dificultades de acceso al financiamiento externo (nueve países).

En cuanto a la calificación que se asigna al obstáculo, hay una variación en la escala utilizada para reportar las respuestas, la ARG y El SLV no miden el grado de importancia de los obstáculos, se limitan a preguntar si existen o no, contrario a lo que sucede en el resto de los países que sí utilizan una escala (cuadro 12).

Hay también disparidades en el tipo de respuesta que se reporta. En las encuestas de la ARG, CHL y CRI se preguntó de forma general, sobre los obstáculos para innovar; BRA, MÉX, PAR, PER y URU preguntaron por obstáculos para la realización de actividades innovadoras; COL se refirió a los obstáculos para la introducción de todos los tipos de innovaciones que miden (producto, proceso organizacional y marketing), mientras que, en ECU, solo se preguntó por quienes realizan actividades de innovación para introducir innovaciones de producto o proceso.

Cuadro 11. Tipos de obstáculos a la innovación

	Obstáculos relacionados con...	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Factores financieros o de coste	Falta o dificultades de acceso al financiamiento externo	X	X	X	X	X	X	X	-	-	-	X	X
	Ausencia de financiamiento interno	-	-	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-
	Altos costos de innovar	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-
	Elevado riesgo	-	X	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X
	Período de retorno excesivamente largo	X	-	-	-	X	-	X	-	X	X	-	X
Factores institucionales	Barreras regulatorias	-	X	X	X	-	-	-	X	X	X	X	X
	Insuficientes incentivos públicos a la innovación	-	-	-	-	X	-	X	X	X	X	X	X
	Debilidad del sistema de propiedad intelectual para proteger la innovación	-	-	-	X	X	-	X	-	X	X	-	X
Factores de mercado	Incertidumbre respecto a la demanda de bienes y servicios innovadores	-	-	X	X	-	X	X	X	-	X	X	-
	Mercado dominado por empresas establecidas	-	-	X	-	-	X	X	-	X	X	X	-
	Reducido tamaño del mercado	-	-	-	-	X	-	X	-	X	X	X	X
	Facilidad de imitación por terceros	-	-	-	X	X	-	-	-	X	X	X	-
Factores de conocimiento	Ausencia de personal calificado	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Dificultades para encontrar socios de cooperación para la innovación	-	X	X	X	X	X	-	-	X	-	X	X
	Falta de información sobre tecnologías	-	X	X	X	X	X	-	X	X	-	X	X
	Falta de información sobre los mercados	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X
Factores organizativos	Rigidez organizacional de la firma	-	X	-	-	X	-	X	X	X	X	X	X
	Otros obstáculos	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X

Fuente: adaptado de Zárate (2018)

Cuadro 12. Tipo de escalas para calificar los obstáculos a la innovación

País	Tipo de escala utilizada			
	* Alta * Media * Baja * Irrelevante	* Altamente significativo * Moderadamente significativo * Poco significativo * No significativo	* Mucho * Algo * Poco * No obstaculizó	Respuesta binaria (Sí/No)
ARG	-	-	-	X
BRA	X*	-	-	-
CHL	X**	-	-	-
COL	X*	-	-	-
CRI	-	-	X*	-
ECU	X*	-	-	-
SLV	X***	-	-	X
MÉX	-	X*	-	-
PAN	X****	-	-	-
PAR	-	X*	-	-
PER	X*	-	-	-
URU	X*	-	-	-

Notas: (*) Importancia o grado de importancia; (**) se pregunta más por la influencia; (***) no incluye irrelevante; (****) no incluye media.

Fuente: elaboración propia

Cooperación

Todos los países incluyeron preguntas relacionadas con la cooperación o la vinculación de las empresas con algún tipo de socio, excepto MÉX (ver cuadro 13). Sin embargo, la forma en la que se plantean estas preguntas difiere ampliamente entre países: la mayoría solicitó información sobre la cooperación para la realización de actividades conducentes a la innovación, excepto El SLV y PAR, que no se refieren a un objetivo específico; URU capturó información de los tres socios más importantes y PER hizo lo mismo, pero en una pregunta adicional. Respecto a los tipos de socios, la mayoría (excepto URU) coincidieron en la recolección de información sobre los vínculos con clientes o consumidores, proveedores, competidores, consultores, universidades, laboratorios/empresas de I+D, otras empresas (relacionadas y no relacionadas) y otras organizaciones (que no se clasifican en las anteriores categorías).

Cuadro 13. Cooperación

Cooperación con...	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Empresas del grupo y/o casa matriz	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Clientes y/o consumidores	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Proveedores	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Competidores	-	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	-
Clientes, proveedores y/o competidores	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Consultores/asesores	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Universidades/otras instituciones de educación superior	X	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Centros de investigación o tecnológicos	-	X	X	X	X	-	-	-	X	-	X	X
Laboratorios/empresas de I+D	-	X	-	-	X	X	X	-	X	X	X	X
Consultores/laboratorios/empresas de I+D	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Instituciones públicas de CTI*	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Organizaciones no gubernamentales	X	-	-	X	-	-	-	-	-	X	X	-

Nota: (*) Incluye organismos o instituciones públicas de CTI, Gobierno, agencias o programas gubernamentales de promoción de CTI.

Fuente: adaptado de Zárata (2018) y Crespi et al. (2022)

La ARG, BRA, COL, CRI, ECU, El SLV, PAN, PAR, PER y URU preguntaron por el objetivo de la cooperación (ver cuadro 14). En todos estos países se incluyeron las siguientes clasificaciones de actividades conducentes a la innovación en las que se coopera: I+D, ingeniería y diseño, capacitación para innovar, asistencia técnica y/o consultoría (excepto la ARG), pruebas y ensayos de productos (menos COL) y solicitud de información y financiamiento (menos la ARG, BRA y COL).

Cuadro 14. Objetivo de la cooperación

Cooperación con el objetivo de...	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Innovar	X	X	-	X	X	X	-	-	X	X	X	X
I+D	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Ingeniería y diseño	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Capacitación	-	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Asistencia técnica	X	X	-	X	X	X	X	-	X	X	X	X
Pruebas de productos	X	X	-	-	X	X	X	-	X	X	X	X
Cambio organizacional	X	-	-	-	X	-	-	-	X	-	-	X
Solicitud de información y financiación	-	-	-	-	X	X	X	-	X	X	X	X

Fuente: adaptado de Crespi et al. (2022) y Zárate (2018)

Sobre la cooperación, un número importante de países incluyeron una pregunta sobre la ubicación geográfica de los socios, tal es el caso de BRA, CHL, CRI, COL, PAR y PER.

Fuentes de información

Todos los países analizados incluyeron preguntas sobre las fuentes de información y conocimiento o el origen de ideas para innovar. La mayoría utilizaron una escala de Likert para evaluar su importancia, excepto las encuestas de COL, CRI, El SLV y PAR. Respecto al tipo de fuente, todas preguntaron por: fuentes de información internas (cuadro 15) y externas (cuadro 16) con diferentes niveles de agregación. En las fuentes internas, CHL, CRI, PER y URU no incluyeron desagregaciones; las demás, en su mayoría, preguntaron por fuentes internas como departamentos de I+D (ocho países), departamentos de marketing, producción (siete países) y gerencia/dirección (seis países).

En cuanto a las fuentes externas, se evidencia que todas las encuestas incluyeron las fuentes de ideas para innovar provenientes de

proveedores, clientes, competidores, universidades (u otros centros de enseñanza superior), centros de investigación y desarrollo y otras fuentes libres como las ferias, conferencias y exposiciones. Otras categorías frecuentes fueron: las fuentes de ideas provenientes de internet presentes en todas las encuestas, menos en PAN y MÉX; los consultores y expertos, sin considerar a CHL y PER; los libros, revistas o catálogos (que no fue preguntado en BRA y PAN); las bases de datos de publicaciones científicas, que no se preguntó en BRA, CRI, PER, y, por último, las bases de datos de patentes y propiedad intelectual (que no fue medida en BRA, CHL MÉX, PER y URU).

Cuadro 15. Fuentes de información internas

País	Fuente interna	Departamentos de la empresa						Empresas del grupo		
		I+D	Marketing	Producción	Distribución	Gerencia/dirección	Otros	Empresa relacionada o del grupo/casa matriz	Otra empresa relacionada	Casa matriz extranjera
ARG	-	X	X	X	-	X	X	X	-	-
BRA	-	X	-	-	-	-	X	-	-	-
CHL	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
COL	-	X	X	X	-	X	X	-	X	X
CRI	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ECU	-	X	X	X	X	X	-	X	-	-
SLV	-	X	X	X	X	X	X	-	-	-
MÉX	-	X	X	X	-	-	X	-	-	-
PAN	-	X	X	X	-	X	X	-	-	-
PAR	-	X	X	X	X	X	X	X	-	-
PER	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-
URU	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: adaptado de Zárate (2018) y Crespi et al. (2022)

Cuadro 16. Fuentes de información externas

Fuente externa	ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Clientes y/o consumidores	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Proveedores	-	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Proveedores/clientes	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Competidores	-	X	-	-	X	X	X	X	X	X	-	X
Competidores y/o otras empresas	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	X	-
Consultores	X	X	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X
Laboratorios/empresas de I+D	-	-	-	-	-	X	X	-	-	X	-	-
Consultores/laboratorios/empresas de I+D	-	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X	-
Universidades/otras instituciones de educación superior/centros de investigación o tecnológicos	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ferias, conferencias, exposiciones	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Instituciones públicas de CTI	X	-	-	X	-	X	X	X	-	X	X	-
Bases de datos de patentes/propiedad intelectual/digitales	-	-	-	X	X	X	X	X	X	X	-	X
Libros, revistas o catálogos	X	-	X	X	X	X	X	X	-	X	X	X
Internet	X	X	X	X	X	X	X	-	-	X	X	X
Otros	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X	X	X

Fuente: adaptado de Crespi et al. (2022) y Zárate (2018)

Objetivos e impactos de la innovación

Este conjunto de variables se refiere a los objetivos e impactos de la decisión de la empresa de innovar. Es necesario aclarar que, si bien las opciones de respuestas en las dos secciones son similares, desde los objetivos se mide la intención que las empresas tienen de introducir innovaciones, lo que no necesariamente implica su obtención; mientras que la medición de los impactos implica que la empresa ha introducido una innovación y es capaz de identificar los efectos que genera.

En las encuestas se encontró que la mayoría de las clasificaciones de objetivos e impactos son similares (ver cuadro 17); la ARG, El SLV, PAR y PERÚ realizaron una pregunta en la que no incluyeron una clasificación de escala. ECU es el único que incluye en su formulario los dos tipos de preguntas, objetivos e impactos.

Cuadro 17. Comparación de las preguntas relacionadas con los objetivos para innovar y los impactos de la innovación

Motivaciones/objetivos/impactos		ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MEX	PAN	PAR	PER	URU
Productos y procesos	Ampliar la gama de productos (bienes/servicios)	O	I	I	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
	Mejorar la calidad de los productos (bienes/servicios)	O	I	I	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
	Reemplazar los productos o procesos desactualizados	-	-	-	-	-	O/I	-	O	-	-	-	-
Oportunidades y amenazas de mercado	Detección de demanda insatisfecha en el mercado	O	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Aprovechar una idea o novedades científicas y técnicas	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Aprovechar una idea generada al interior de la empresa	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Aprovechar incentivos gubernamentales	-	-	-	-	-	-	-	-	-	O	O	-
	Amenaza de la competencia	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Ingresar a nuevos mercados/ ampliar o mantener la participación de mercado	O	I	I	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
Eficiencia en los procesos	Reducir los costos de los procesos productivos	O	I	-	I	-	O	I	O	-	-	-	-
	Reducir los costos laborales	-	I	-	I	I	-	I	-	I	-	-	I
	Reducir los costos por unidad producida (por ejemplo, laboral, consumo de materiales y de energía, etc.)	-	-	I	-	-	I	-	-	-	-	-	I
	Reducir el consumo de materias primas/de energía/de agua	-	I	-	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
	Mejorar la flexibilidad de la producción/aumentar la capacidad de producción	O	I	I	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
	Reducir el daño ambiental/mejorar la salud/seguridad	O	I	I	I	I	O/I	I	O	I	-	-	I
	Solucionar un problema técnico	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
Cumplimiento de normas y regulaciones	Mejorar el cumplimiento de regulaciones/estándares nacionales o internacionales	O	I	-	I	I	O	O/I	O	I	O	O	I
	Cambios en normas de propiedad intelectual	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Procesos de certificación	-	-	-	-	-	O	O	-	-	O	O	-
	Otros	-	-	-	I	I	-	I	-	-	-	-	I

Nota: (O) Medido como objetivo; (I) medido como impacto.

Fuente: adaptado de Zárata (2018) y Crespi et al. (2022)

Propiedad intelectual

Las preguntas relacionadas con la utilización de algún tipo de método formal de protección de la propiedad intelectual estuvieron presentes en todos los instrumentos revisados, con excepción de MÉX (cuadro 18). Los métodos formales más frecuentes en las encuestas son las marcas, las patentes, los modelos de utilidad, los diseños industriales y los derechos de autor. No obstante, el tipo de registro por el que se pregunta varía entre las encuestas.

Los países que preguntaron por la posesión de algún título de propiedad intelectual fueron COL, ECU, PAR y PER, por otra parte, CRI preguntó por patentes que ha registrado y dónde lo ha hecho, la ARG consultó si los implementa, COL preguntó por los registros solicitados y los obtenidos y CHL y PER averiguaron exclusivamente por los registros solicitados. Además, ECU, El SLV, PAR, URU y la ARG incluyeron la pregunta de si utilizaron algún título de propiedad intelectual.

Respecto a los mecanismos estratégicos de protección de propiedad intelectual, las opciones más frecuentes en los instrumentos fueron: mantener un liderazgo en el mercado (la ARG, BRA, ECU, El SLV, PAR, PER y URU); complejidad en el diseño (BRA, COL, El SLV, PER, URU); control de las redes de distribución (la ARG, ECU, El SLV, PAR, PER y URU); escala de producción (la ARG, El SLV, PER, PAR y URU); secreto industrial (BRA, COL y URU); acuerdos de confidencialidad con empleados o con otras compañías (la ARG, COL, ECU, El SLV, PAN, PAR, PER y URU).

Cuadro 18. Métodos de protección

Métodos de protección		ARG	BRA	CHL	COL	CRI	ECU	SLV	MÉX	PAN	PAR	PER	URU
Formales	Patentes	X	-	X	X	X	X	X	-	X	X	X	X
	Marcas	X	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
	Modelos de utilidad	X	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
	Diseño industrial	X	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
	Derechos de autor	X	-	X	X	-	X	X	-	X	X	X	X
	Indicación geográfica denominación de origen	-	-	-	-	-	X	X	-	X	X	X	X
	Obtención de variedades vegetales	X	-	X	X	-	-	-	-	-	-	-	-
Estratégicos	Secreto industrial	-	X	-	X	-	-	-	-	-	-	-	X
	Alta complejidad en el diseño	-	X	-	X	-	-	X	-	-	X	X	X
	Liderazgo en el mercado	X	X	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X
	Control de las redes de distribución	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X
	Escala de producción	X	-	-	-	-	-	X	-	-	X	X	X
	Acuerdos o contratos de confidencialidad con otras empresas	X	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X
	Acuerdos o contratos de confidencialidad con los empleados	X	-	-	X	-	X	X	-	X	X	X	X
Otros	-	X	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	

Fuente: adaptado de Crespi *et al.* (2022) y Zárte (2018)

La experiencia de los estudios previos

Aunque escasos, existe una serie de trabajos que han realizado análisis econométricos comparados entre países de la región integrando datos a nivel de firma, aunque no de todos ellos fue posible extraer lecciones relevantes para abordar este tipo de trabajos.

Crespi y Vargas (2015) resaltan que los problemas de comparabilidad que se derivan de las diferencias en la cobertura y el diseño de las encuestas de innovación en los países de ALC están relacionados con la heterogeneidad existente en los períodos de medición, el tamaño mínimo de inclusión de las empresas en la muestra y los subsectores medidos. Por otra parte, Raffo, Lhuillery y Miotti (2008) plantean que las definiciones de las variables no son exactamente las mismas y no permiten obtener variables exactamente comparables, lo que da lugar a cierta ambigüedad en las interpretaciones. Cimoli, Primi y Rovira (2011) mencionan que, si bien se ha avanzado en ALC en la frecuencia y calidad de la producción de información sobre innovación, existen problemas relacionados con la confidencialidad y las restricciones de acceso a los microdatos por parte de las oficinas nacionales de estadística. Crespi y Zuñiga (2012), en un análisis comparativo de encuestas de seis países de la región, destacan la necesidad urgente de un cuestionario central de ALC y menciona que la falta de datos del panel impide mejorar la estrategia de identificación, puesto que diferentes preguntas no recogen información de todas las empresas.

En el marco de esta investigación se consultó anónimamente a dos expertos externos que han trabajado con encuestas de innovación de ALC, quienes respondieron un cuestionario virtual de nueve preguntas sobre factores que dificultan la elaboración de estudios comparativos en innovación empresarial y propuestas para mejorarlos. Los expertos consultados coinciden en señalar que los principales problemas de comparabilidad se relacionan con la amplia variabilidad en la definición del marco muestral; la diversidad en los procedimientos del cálculo de la muestra, las diferencias en las preguntas filtro aplicadas para encuestar a las empresas, las diferencias en las definiciones utilizadas y la redacción de las preguntas. Otras dificultades mencionadas en cuanto a la interpretación de los resultados y análisis comparativos de encuestas de innovación empresarial en ALC son los problemas de acceso a microdatos (en buena parte generados por la ausencia de mecanismos de anonimización de las empresas), la heterogeneidad en los documentos que describen metodología aplicada en cada encuesta y la calidad de los factores de expansión. Esta opinión es compartida por los autores de este capítulo, quienes tienen amplia experiencia en los temas de medición de innovación en América Latina y han participado en las discusiones institucionales sobre la implementación de encuestas de innovación en la región.

Recomendaciones metodológicas para la elaboración de estudios comparados usando encuestas de innovación

A partir de los hallazgos de la sección anterior, es posible esbozar algunas recomendaciones metodológicas para elaborar estudios comparados usando las encuestas de innovación disponibles en los países de la región. Entre los elementos que resaltan o que pueden ser comunes a las diferentes dimensiones están: a) seleccionar cuidadosamente los sectores y subsectores que son posible comparar; b) usar datos de sección cruzada, debido a que recoger datos de panel en la región no es una práctica generalizada; c) trabajar con empresas de más de diez empleados; d) tener cuidado con las encuestas que por su diseño muestral tienen un sesgo hacia las grandes empresas o las que son innovadoras; e) trabajar en la medida de lo posible con indicadores relativos y variables dicotómicas que permitan aislar el sesgo introducido por los valores numéricos (por ejemplo, el gasto) y f) valorar la posibilidad de agrupar categorías para hacer frente a las diferencias en las desagregaciones incluidas en las preguntas (considerando el riesgo de subestimar la medición en las encuestas que tienen un menor nivel de desagregación).

Respecto a esta última recomendación, por ejemplo, las variables de cooperación con clientes, proveedores y otras empresas en la Argentina se agregan en una sola categoría y, por tanto, no es posible hacer análisis con cada categoría por separado. En este caso, una solución es diseñar una nueva variable que se podría denominarse “cooperación con otras empresas” que agrupe la respuesta de los tipos de socios empresariales. Otras dimensiones en las que se presentan este problema de agregación de subcategorías son: novedad de la innovación de producto (nuevo o significativamente mejorado); algunos gastos en actividades conducentes a la innovación como el software y las TIC y las fuentes de ideas para innovar cuando se agregan las fuentes internas (como pasa en Chile). En todo caso, está la opción de eliminar el país que agrega las subcategorías, siempre y cuando el país excluido no sea tan relevante al analizar ciertos temas o no incluirlo se aleje del interés del investigador. Hay que tener en cuenta además que esta agregación no sería necesaria en el caso de que todas las variables estén disponibles en los países que se quieren analizar.

Cuadro 19. Recomendaciones para realizar estudios comparados

Dimensión	Principales hallazgos	Recomendaciones para realizar estudios comparados
Sectores cubiertos por las encuestas	Heterogeneidad de los sectores incluidos en el caso de los servicios	Trabajar con una muestra que incluya los países y subsectores de servicios coincidentes
	Todas las encuestas trabajan con el sector manufacturero	Utilizar el sector manufacturero para estudios que cubren todos los países que hacen encuestas
Periodicidad	<ul style="list-style-type: none"> * Diferencias en el período abarcado (entre dos y tres años) * La mayoría de las encuestas son de corte transversal * Diferencias en el año de aplicación de las encuestas 	<ul style="list-style-type: none"> * Realizar los estudios comparados con datos de corte transversal (con la posible excepción de trabajos que comparen solo COL y URU) * Utilizar las encuestas de innovación que tengan períodos que coincidan en una amplia ventana de observación * Construir indicadores por período y no por año
Criterios de inclusión, estratificación e inferencia estadística	<ul style="list-style-type: none"> * Heterogeneidad en los criterios de inclusión de las empresas, estratificación y representatividad sectorial y regional * En algunos países los datos están sesgados hacia la medición de las grandes empresas (PAN, PER y BRA) 	<ul style="list-style-type: none"> * Para efectos de comparación, en manufactura tomar las empresas con 20 o más empleados o 10 empleados (en el caso de que no se incluya la encuesta de MEX). En el caso de los servicios, ajustar la muestra según criterios de inclusión por subsector * Las encuestas de PAN y BRA solo son comparables con las de otros países si se usa la muestra de empresas que innovan. Por su parte, los datos de PER deben ser tomados con cautela por su sobrerepresentación hacia las grandes empresas. Es importante trabajar también con medidas relativas * Los análisis sectoriales o la construcción de variables dicotómicas por sector se pueden trabajar con un máximo de dos dígitos (aunque CHL presenta un excepción al tener sectores de un dígito)

<p>Orden de las secciones en las encuestas de innovación</p>	<p>Heterogeneidad en los filtros y el orden de las encuestas</p>	<p>Unificar la muestra de empresas a comparar según las variables que hayan sido utilizadas en los filtros. Hay que tomar en cuenta que los filtros pueden llevar a tener: (i) empresas innovadoras (si el filtro es tener resultados de innovación) y (ii) empresas potencialmente innovadoras (si el filtro consiste en realizar actividades de innovación)</p>
<p>Actividades conducentes a la innovación</p>	<p>* Si bien las definiciones internas siguen las recomendaciones de los manuales, la forma de nombrar y desagregar las categorías no siempre coinciden * Indicadores sesgados hacia arriba (tendencia a la sobrestimación), por cifras de empresas mucho más grandes que la empresa típica; esto sucede sobre todo en las encuestas con diseños muestrales que privilegian las empresas innovadoras. Esto ocurre también en encuestas que se están aplicando por primera vez (las firmas tienden a dar respuestas más precisas a medida que tienen más experiencia con las EI) * La comparación entre cifras monetarias (incluso si se trabajan en paridad cambiaria con el dólar) tiene fuertes limitaciones.</p>	<p>* Trabajar con variables agregadas: gasto en I+D, el total de actividades conducentes a la innovación o una agrupación de variables (por ejemplo, tecnología incorporada versus no incorporada; I+D, adopción de tecnología u otras actividades funcionales) * Preferir variables dicotómicas de gasto en vez de valores absolutos o normalizar las variables a través de métodos como min/máx</p>
<p>Resultados de innovación</p>	<p>Diferencias en las desagregaciones incluidas y la definición de innovación en producto</p>	<p>Trabajar con indicadores agrupados para cada uno de los tipos de innovación; considerando que hay un riesgo de subestimar los resultados en las encuestas que tienen un menor nivel de desagregación.</p>

<p>Obstáculos</p>	<p>* Diferencias en las desagregaciones incluidas * Hay una gran diversidad del objeto sobre el cual se pide evaluar el obstáculo, si bien las opciones de respuestas pueden ser similares, no siempre se está evaluando sobre lo mismo</p>	<p>* Agrupar las categorías. Por ejemplo: i) factores financieros, de costo, institucionales, de mercado, de conocimiento o ii) factores internos y externos * Evitar comparaciones si el objeto del obstáculo evaluado no es el mismo; o resaltar las diferencias sobre lo que cada encuesta pide evaluar frente al obstáculo</p>
<p>Cooperación</p>	<p>Diferencias en las desagregaciones incluidas</p>	<p>Agrupar las categorías, por ejemplo, cooperación con organizaciones de mercado (clientes, proveedores y competidores) versus cooperación con organizaciones de I+D+i (universidades, centros de investigación, centros tecnológicos, consultores, empresas de I+D, etc.)</p>
<p>Fuentes de información</p>	<p>Diferencias en las desagregaciones incluidas</p>	<p>Agrupar las categorías, por ejemplo, i) fuentes relacionadas con organizaciones de mercado (clientes, proveedores y competidores), fuentes relacionadas con organizaciones de I+D+i (universidades, centros de investigación, centros tecnológicos, consultores, empresas de I+D, etc.) o información libre; ii) fuentes internas versus externas</p>
<p>Objetivos e impactos de la innovación</p>	<p>* Diferencias en las desagregaciones incluidas * La desagregación de las respuestas que se obtiene de la pregunta de objetivos es muy similar</p>	<p>* Agrupar las categorías, por ejemplo, competencia, demanda y mercados; producción y distribución; organización del lugar de trabajo; reducción de impactos ambientales; regulaciones * Cuando se haga la comparabilidad de encuestas no se debe confundir ni comparar en el mismo nivel las respuestas de los objetivos y los impactos, puesto que el primero puede evaluarse sin ningún resultado de innovación asociado</p>
<p>Propiedad intelectual</p>	<p>* Diferencias en las desagregaciones incluidas * Recolección de datos de solicitudes y de patentes concedidas</p>	<p>Agrupar indicadores de protección estratégica y formal</p>

Fuente: elaboración propia

Reflexiones finales sobre el uso de las encuestas de innovación en estudios comparativos en ALC

El análisis metodológico de las encuestas de innovación de América Latina permite extraer una serie de reflexiones finales sobre las posibilidades reales que actualmente existen para el uso de estos datos en estudios comparados. La idea central de esta sección final es mostrar en un espacio concreto las implicaciones de tener un alto nivel de heterogeneidad en el diseño de las encuestas de innovación en América Latina y, ojalá, promover un pensamiento crítico que conlleve a acciones orientadas a fortalecer estos instrumentos para caracterizar mejor los procesos de innovación en la región.

En primer lugar, hay que tomar en cuenta los tipos de análisis comparativos que son más factibles de desarrollarse usando las actuales encuestas de innovación; para ello será necesario plantear una serie de generalizaciones que, si bien (por definición) no pueden ser exhaustivas, esperamos que sirvan de base para quienes quieran desarrollar estos estudios.

Empecemos por los análisis más factibles: los de corte transversal. Para lograr compilar la mayor cantidad de datos que integren a los distintos países latinoamericanos, será necesario trabajar con estudios estáticos, buscando establecer relaciones de nivel y de estructura entre las variables de interés. Estos análisis permitirán conocer las características de las empresas encuestadas, los efectos cruzados entre las dimensiones (tal como se hace en los análisis de regresión lineal) y relaciones estructurales basadas en modelos atemporales.

Sin embargo, tendrán como principal limitante la escasa posibilidad de ver las características evolutivas que solo son observables en el tiempo. Incluir la dimensión temporal es uno de los principales retos al utilizar las encuestas de innovación; existen muchas variables a considerar que solo pueden ser resueltas a través de diseños de investigación específicos (¡y muy sólidos!). En este sentido, la mejor recomendación es tener cautela cuando se quiere desarrollar trabajos que se enfoquen en estudiar la evolución de las variables. Es importante mencionar que, por ejemplo, al realizar análisis longitudinales con este tipo de datos, los problemas que se pueden encontrar se incrementan notablemente por la heterogeneidad tanto en los diseños metodológicos como en la información que se releva en las encuestas: los instrumentos cambian en el tiempo (en la mayoría de los casos entre más antigua y más versiones tenga una encuesta mayor es la calidad de la información más reciente).

Enfrentarse a la necesidad de resolver los desafíos analíticos aquí planteados requiere, primero, tener la oportunidad del acceso a los datos. Si bien los países de la región han avanzado hacia modelos que facilitan el acceso a los microdatos de sus encuestas de innovación, aún quedan países que presentan grandes limitaciones. La reciente construcción de LAIS (Crespi *et al.* 2022) atenúa parte del problema del acceso a la comunidad científica y los tomadores de decisiones; sin embargo, la sostenibilidad de los beneficios potenciales de tener a más investigadores trabajando en la identificación de nuevas oportunidades para la convergencia de encuestas de innovación, así como también de nuevas recomendaciones para el análisis comparado, dependerá de que nuevos países migren hacia modelos de datos abiertos.

Pensando en las limitaciones de los estudios comparativos usando las encuestas de innovación, se dedican estas últimas líneas a los esfuerzos futuros que serían muy beneficiosos para América Latina. Hay una clara necesidad de promover la armonización de las metodologías desde el diseño de las encuestas: es evidente que las realidades específicas de cada país conllevan a generar instrumentos que no pueden ser absolutamente homogéneos (pensemos en las diferencias entre México y Uruguay, por ejemplo). Aun así, estamos frente a un falso dilema si pensamos que la comparabilidad compromete a la especificidad: quizás lo que es realmente necesario es establecer mecanismos de diálogo constante entre los organismos que diseñan e implementan las encuestas de innovación en los países de la región, algo que permitiría realizar armonizaciones de manera más sencilla y, quizás más importante, generar mecanismos de aprendizaje que construyan capacidades institucionales.

Un primer paso puede ser la selección de un set de indicadores básicos para medir la innovación, que tengan un alto nivel de homogeneidad, dejando otras secciones de la encuesta para recabar información sobre procesos particulares de cada país. Desde el punto de vista más estructural, creemos que el trabajo de armonización por diseño debería considerar: a) homogeneizar el diseño muestral y propender a estudios de panel; b) la inclusión de sectores más allá de la manufactura en todos los países, al menos los servicios y c) la definición de un conjunto básico de criterios que permita acercarnos a la armonización de los marcos estadísticos de las encuestas, en términos de la población objetivo, el diseño muestral, la secuencia con que se hacen las preguntas y los filtros que se aplican al inicio de los cuestionarios con el fin obtener información más detallada de las empresas que no innovan.

Bibliografía

- Anlló, G., Crespi, G. A., Lugones, G., Suárez, D., Tacsir, E. y Vargas, F. (2014). *Manual para la implementación de encuestas de innovación*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Argenti, G., Filgueira, C. y Sutz, J. (1990). "From standardization to relevance and back again: Science and technology indicators in small, peripheral countries". *World Development*, vol. 18, n° 11, pp. 1555-1567.
- Barletta, F. y Suárez, D. (2015). *Encuestas de innovación en Iberoamérica: Avances en la medición y desafíos futuros. El estado de la ciencia 2014*. Buenos Aires: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (RICYT)/Organización de Estados Americanos (OEA).
- Cimoli, M., Primi, A. y Rovira, S. (2011). *National innovation surveys in Latin America: Empirical evidence and policy implications*. Santiago: ECLAC.
- Crespi, G. A., Guillard, C., Salazar, M. y Vargas, F. (2022). *Harmonized Latin American Innovation Surveys Database (LAIS): firm-level microdata for the study of innovation*. Washington, DC: Inter-American Development Bank (IDB). Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Harmonized-Latin-American-Innovation-Surveys-Database-LAIS-Firm-Level-Microdata-for-the-Study-of-Innovation.pdf>.
- Crespi, G. y Vargas, F. (2015). "Innovación y productividad en las empresas de servicios en ALC. Evidencia a partir de encuestas de innovación". En Aboal, D., Arias Ortiz, E., Crespi, G., Garda, P., Rasteletti, A., Rubalcaba, L., Vairo, M. y Vargas, F. (eds.), *La innovación y la nueva economía de servicios en América Latina y el Caribe. Retos e implicaciones de política*, pp. 105-135. Montevideo: Centro de investigaciones económicas (cinve).
- Crespi, G. y Zuñiga, P. (2012). "Innovation and productivity: evidence from six Latin American countries". *World development*, vol. 40, n° 2, pp. 273-290.
- Guillard, C. y Salazar, M. (2017). *La experiencia en encuestas de innovación de algunos países latinoamericanos*. Washington, DC: Inter-American Development Bank. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/La-experiencia-en-encuestas-de-innovacion-de-algunos-paises-latinoamericanos.pdf>.

iadb.org/publications/spanish/viewer/La-experiencia-en-encuestas-de-innovaci%C3%B3n-de-algunos-pa%C3%ADses-latinoamericanos.pdf.

- Jaramillo, H., Lugones, G. y Salazar, M. (2001). *Manual de Bogotá. Normalización de indicadores de innovación tecnológica para América Latina y el Caribe*. Bogotá: RICYT/OEA. Disponible en: <http://www.ricyt.org/2019/09/manual-de-bogota-3/>.
- McFarland, S. G. (1981). "Effects of Question Order on Survey Responses". *American Association for Public Opinion Research*, vol. 45, n° 2, pp. 208-215.
- Raffo, J.; Lhuillery, S. y Miotti, L. (2008). "Northern and southern innovativity: a comparison across European and Latin American countries". *The European Journal of Development Research*, vol. 20, n° 2, pp. 219-239.
- Statistical Office of the European Union (Eurostat) y Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005). *Oslo Manual Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data*. París/Luxemburgo: Eurostat/OECD.
- _____ (2018). *Oslo Manual: 2018. Guidelines for Collecting, Reporting and Using Data on Innovation*. París/Luxemburgo: Eurostat/OECD.
- Suárez, D. (2018). *Indicadores de innovación de Panamá, 2013*. Ciudad de Panamá: Secretaría Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Panamá.
- Wilhelmsen, L. (2012). *A question of context: Assessing the impact of a separate innovation survey and of response rate on the measurement of innovation activity in Norway*. Oslo-/Kongsvinger: Statistics Norway.
- Zárate, S. (2018). *Medición de la innovación en las empresas de América Latina: una comparación metodológica*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Ciudad de México.

Capítulo 3

Desafíos para los países de América Latina y el Caribe en la medición de la innovación frente a la edición 2018 del *Manual de Oslo*¹

Mónica Salazar, Nadia Albis, Sandra Zárata y Fernando Vargas

Introducción

En los años noventa, diversos países de América Latina y el Caribe (ALC) implementaron las primeras encuestas de innovación (EI) en la región. Estos ejercicios permitieron que, con el liderazgo de la Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología Iberoamericana e Interamericana (RICYT) y el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación (Colciencias, hoy Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia), se adaptara el *Manual de Oslo* (MO) (primera edición de 1992) al contexto Latinoamericano, en el denominado *Manual de Bogotá* (Jaramillo, Lugones y Salazar, 2001).

Actualmente, dieciséis países de ALC realizan encuestas de innovación, pero solo siete de ellos lo hacen de manera regular (Guillard y Salazar, 2017). Entre los referentes metodológicos utilizados se pueden mencionar el *Manual de Oslo* (diversas ediciones), el *Manual de Bogotá*, el cuestionario de Eurostat (Community Innovation Survey (CIS)) y el cuestionario propuesto por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (Anlló *et al.*, 2014).

La nueva edición del *Manual de Oslo* (MO) publicada en 2018 es producto de más de dos años de trabajo del secretariado de la División de Ciencia, Tecnología e Innovación de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) junto con un grupo de expertos (de países

¹Agradecemos los aportes de la División de Estudios y Estadísticas del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, al Instituto Nacional de Estadística de Chile, la Agencia Nacional de Investigación e Innovación de Uruguay y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia.

e instituciones multilaterales) y varias rondas de discusiones con los miembros del grupo de trabajo de la OCDE; grupo denominado NESTI (National Experts of Science and Technology Indicators).

Diversos países de la OCDE, y particularmente los miembros de la Comunidad Europea, han adoptado algunas directrices de la nueva edición del MO en la CIS de 2018. Tanto la CIS, una operacionalización del MO, y el mismo MO son dos importantes referentes utilizados por los países de ALC. A la fecha, Uruguay, Chile, Colombia y Perú han realizado ajustes a sus cuestionarios con base en el MO 2018, mientras que países como la Argentina, Paraguay, Panamá y El Salvador están en camino de realizarlo.

Este documento se organiza de la siguiente manera, después de una breve introducción se plantean los objetivos y la metodología aplicada. En la tercera sección se comparan el MO de 2005 versus la edición de 2018, presentando los principales cambios. En el cuarto apartado se analizan los formularios de las EI en ALC ajustados al MO 2018. Finalmente, se plantean desafíos y recomendaciones para los países de ALC que quieran adoptar el MO 2018.

Metodología

El objetivo de este capítulo es identificar los desafíos que enfrentan los países de ALC para introducir las nuevas directrices brindadas en el MO 2018 en sus EI y se llevó a cabo a través de tres etapas. La primera es la comparación de las dos últimas versiones del MO, revisando los conceptos y definiciones principales, las categorías de medición y análisis propuestas, las metodologías sugeridas y los métodos de recolección de información.

La segunda consiste en documentar experiencias de adopción del MO 2018 en Europa y ALC, para lo cual se realizaron comparaciones de formularios de EI basados tanto en el MO 2005 como en el de 2018 para países de la OCDE y de ALC, entrevistas y una encuesta a expertos y técnicos de los países que ya han adoptado algunas directrices del MO 2018. La revisión de distintas versiones de los cuestionarios de los países que ya incorporaron cambios a partir del MO 2018 permite contrastar los cambios en la estructura, contenido y metodología de las EI.

En la tercera etapa se identificaron los principales desafíos que enfrentan los países de ALC para adecuar los cuestionarios y las metodologías de las encuestas de innovación frente a las recomendaciones del MO 2018 y se formularon recomendaciones en ese sentido.

Comparación del MO 2005 y 2018

El proceso de revisión del MO se inició en diciembre de 2015. La OCDE y, particularmente, el Comité de Política de Ciencia y Tecnología (CSTP, por su nombre en inglés) brindaron una serie de orientaciones para la revisión del manual:

- Asegurarse que la cuarta edición mantenga su relevancia y significado amplio, principalmente para la discusión y análisis de políticas; e intentar extender su uso en las empresas como proveedores de datos.
- Proporcionar los puentes necesarios –en términos de conceptos y definiciones– que tomen en cuenta los vínculos con la innovación fuera de las empresas.
- Abordar especialmente las áreas que representan desafíos conocidos y de larga data, como, por ejemplo, atender la subjetividad, la interpretación de *una mejora significativa*, los insumos y resultados de la innovación y asegurarse que el *Manual* logre exponer los objetivos establecidos en la última revisión, incluyendo una robusta cobertura de las formas de innovación no basadas en I+D y de todas las actividades empresariales.

Por otro lado, los delegados de los países ante NESTI acordaron que la visión estratégica y el alcance del manual revisado serían:

- Concentrar los recursos de revisión y la orientación práctica a la medición basada en encuestas en el sector empresarial y garantizar que la orientación sea relevante en su totalidad y aplicable en todos los países.
- Proponer una descripción general de la innovación en el capítulo dedicado a los conceptos de innovación, para proporcionar los puentes hacia una agenda de investigación, posterior a la revisión.

Estos puntos sentaron las directrices del trabajo a realizar, reconociendo que el MO es mucho más que una guía para la recolección e interpretación de indicadores de innovación; es también un referente conceptual para la política de innovación. El anexo del MO 2005 referido a los países en *vías de desarrollo* fue integrado al cuerpo principal

del manual, teniendo en cuenta que varios de los puntos allí expuestos podían aplicar a todos los países.

El *Manual* contiene varios cambios, por un lado, respecto de los elementos o temas abordados, y por otro, en cuanto a definiciones o precisiones dando alcance a temáticas cubiertas en ediciones anteriores. Las temáticas nuevas consideran: las capacidades empresariales de innovación (dimensión interna), los factores externos que influyen en la innovación empresarial (dimensión externa), el enfoque de medición basado en objeto y el uso de los datos de innovación para indicadores estadísticos y los análisis. Es de anotar que los países de ALC habían incluido la medición de capacidades desde hace tiempo, siendo que era uno de los temas resaltados en el *Manual de Bogotá*.

La conceptualización de la innovación parte de comprender sus dos dimensiones. Por un lado, el proceso (qué hace la empresa) y, por otro, el resultado (lo que se obtiene de esas actividades); las dos son relevantes y necesitan ser medidas. La segunda es lo que normalmente se denomina “innovación” y la primera son las actividades de innovación. Ambas definiciones fueron abordadas por la nueva edición del MO. El manual propone una definición amplia de innovación (en el capítulo 2) que puede ser usada en cualquier ámbito o sector (sector empresarial, gobierno, sin ánimo de lucro, individuos u hogares). Sin embargo, el foco del manual es la innovación empresarial, de ahí que a partir del capítulo 3 se hace referencia solo a las empresas.

La definición propuesta es: una innovación empresarial es un producto o proceso empresarial nuevo o mejorado, o una combinación de estos, que difiere significativamente de los productos o procesos empresariales anteriores de la empresa, y que ha sido introducida en el mercado o puesta en práctica por la empresa (Eurostat y OECD, 2018: 68). Como se ha establecido en las últimas ediciones del *Manual*, una innovación tiene varias características: no necesariamente está basada en I+D, es más que ideas, la implementación es requerida, mínimo debe ser nueva para la firma y, si bien se apunta al éxito, este no está garantizado ni es requerido. El tema del éxito fue ampliamente discutido durante la elaboración de la nueva edición, buscando que la definición de innovación fuese más precisa, pero finalmente no se incluyó la condición de que una innovación fuese exitosa únicamente desde lo comercial. Otro cambio importante es que se establecieron solo dos tipos de innovaciones, de producto y de proceso empresarial (a diferencia de las cuatro que proponía la versión anterior del manual). Así:

- Una innovación de producto es un bien o servicio nuevo o mejorado que difiere significativamente de los bienes o servicios anteriores de la empresa y que ha sido introducido al mercado.
- Una innovación de proceso empresarial es un proceso empresarial nuevo o mejorado para una o más funciones empresariales que difiere significativamente de los procesos anteriores de la empresa y que ha sido puesto en uso por la firma (Eurostat y OECD, 2018: 70-72).

Se discutió crear una categoría de producto para los productos de información o conocimiento, pero finalmente se optó solo por aclarar su papel. Respecto de la innovación de proceso, ante las dificultades que se presentaban para diferenciar entre una innovación de proceso, de mercadeo u organizacional, particularmente en el sector servicios, se adoptó una taxonomía basada en las funciones que desarrolla una firma (producción de bienes y servicios; distribución y logística; mercadeo, ventas y servicios posventa; procesos basados en tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC); administración y gestión y desarrollo de productos y procesos). Este es uno de los principales cambios introducidos en la nueva edición, que tiene directas repercusiones en los cuestionarios, los resultados y las series de datos en las EI.

El capítulo sobre innovación abierta e intercambio (transferencia) de conocimiento tiene también elementos novedosos. El foco tradicional en fuentes de ideas de innovación, flujo entrante (*inbound*), se complementa con la dimensión saliente (*outbound*) de conocimiento de la empresa, y elimina el concepto de vínculos que era algo confuso. El énfasis ahora es abordar los flujos de conocimiento, los canales de intercambio de conocimiento (por ejemplo, con instituciones de educación superior e institutos públicos de investigación) y los socios de las diversas colaboraciones, sin considerar la formalidad de estos.

Además, se abordan algunos temas transversales, como la economía digital, tanto productos digitales como procesos basados en TIC (plataformas, capacidades digitales, herramientas digitales para la medición, etc.), y la globalización, considerando los mercados globales, los vínculos transfronterizos en el interior de las multinacionales y la localización de las diferentes funciones realizadas por la firma. Finalmente, en cuanto a temas de construcción de capacidades, la guía para países en desarrollo se incorporó al documento central del manual, al igual que la guía metodológica para productores y usuarios de información. El cuadro 1 describe los cambios propuestos por el MO 2018.

Cuadro 1. Comparación del MO 2005 y 2018: principales cambios

Temática	MO 2005	MO 2018	Comentarios sobre MO 2018
Definición de innovación empresarial	<p>Una innovación es la introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, producto (bien o servicio), de un proceso, de un nuevo método de comercialización o de un método organizativo, en las prácticas internas de las empresas; la organización del trabajo o las relaciones exteriores.</p>	<p>Una innovación empresarial es un producto o proceso comercial nuevo o mejorado, o una combinación de los mismos, que difiere significativamente de los productos o procesos comerciales anteriores de la empresa y que ha sido introducido en el mercado o puesto en práctica por la empresa.</p>	<p>Aspectos de la innovación que se deben resaltar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • No necesariamente está basada en I+D, es más que ideas • La implementación y el uso son requeridas • Mínimo debe ser nueva para la firma • Se apunta al éxito, aunque este no está garantizado ni es requerido • No usar la expresión "innovación tecnológica".
Tipos de innovación	<p>Cuatro tipos de innovaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • De producto: introducción de un bien o de un servicio nuevo, o significativamente mejorado, en cuanto a sus características o en cuanto al uso que se destina. • De proceso: introducción de un nuevo, o significativamente mejorado, proceso de producción o de distribución. Ello implica cambios significativos en las técnicas, los materiales o los programas informáticos. • De mercadotecnia: aplicación de un nuevo método de comercialización que implique cambios significativos del diseño o el envase de un producto, su posicionamiento, su promoción o su tarificación. • De organización: introducción de un nuevo método organizativo en las prácticas, la organización del lugar de trabajo o las relaciones exteriores de la empresa. 	<p>Solamente dos tipos de innovaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Una innovación de producto es un bien o servicio nuevo o mejorado que difiere significativamente de los bienes o servicios anteriores de la empresa y que se ha introducido en el mercado. • La innovación de un proceso empresarial es un proceso empresarial nuevo o mejorado para una o más funciones empresariales que difiere significativamente de los procesos anteriores de la firma y que esta ha puesto en uso. 	<p>Taxonomía basada en todas las funciones empresariales que desarrolla una firma:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Producción de bienes y servicios • Distribución y logística • Mercadeo, ventas y servicios posventa • Procesos basados en tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) • Administración y gestión • Desarrollo de productos y procesos empresariales <p>Facilita la aplicación para la innovación en servicios, en la que la separación entre innovación de producto y proceso puede ser confusa.</p>

<p>Actividades de innovación</p>	<p>Las actividades innovadoras se corresponden con todas las operaciones científicas, tecnológicas, organizativas, financieras y comerciales que conducen efectivamente, o tienen por objeto conducir, a la introducción de innovaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación y desarrollo experimental (I+D) • Actividades relativas a las innovaciones de producto y proceso: adquisición de conocimientos en el exterior (por ejemplo, patentes, licencias, marcas, etc.); adquisición de máquinas, equipos y otros bienes de capital; formación y capacitación • Preparación destinada a las innovaciones de mercadotecnia • Preparación destinada a las innovaciones organizacionales • Diseño 	<p>Incluye todas las actividades de desarrollo, financieras y comerciales que adelanta una firma, que tiene como intención producir una innovación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Investigación y desarrollo (I+D) • Adquisición o arriendo de activos tangibles (maquinaria y equipo) • Desarrollo de software y bases de datos • Ingeniería, diseño y otras actividades creativas • Actividades relativas a la propiedad intelectual • Capacitación y entrenamiento • Mercadeo y valoración de marca (brand equity) • Gestión de la innovación 	<p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identificar las actividades llevadas a cabo por un tercero • Identificar los gastos asociados a esas actividades y diferenciar las que conducen a la innovación • No se recomienda separar las actividades por tipo de innovación • Recoger la inversión en innovación para todas las firmas: innovadoras, no innovadoras y las que realizan actividades de innovación (innovation active)
<p>Capacidades empresariales para la innovación</p>	<p>-</p>	<p>Las capacidades para la innovación incluyen el conocimiento, las competencias y los recursos que una empresa acumula con el tiempo y se basa en la consecución de sus objetivos, las más relevantes son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidades de gestión • Habilidades de la fuerza laboral • Capacidades tecnológicas (experiencia técnica, capacidades de diseño y competencias digitales) 	<p>Recopilar datos sobre las capacidades empresariales que son críticas para el análisis de los impulsores y los impactos de innovación (por qué algunas empresas innovan y otras no).</p>

<p>Vínculos y flujos de conocimiento</p>	<p>Vínculos con fuentes de información (exteriores a la empresa):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fuentes abiertas de información • Adquisición de tecnología y conocimiento • Cooperación en innovación <p>Fuentes de información internas a la empresa: I+D, producción, comercialización y distribución</p>	<p>Buscar medir los flujos de conocimiento y canales de intercambio de conocimiento, desde una perspectiva de innovación abierta. Se distingue entre flujos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entrantes (inbound) • Salientes (outbound) • Acoplados (coupled): cooperación en innovación y codesarrollo de conocimiento relacionado 	<p>Se elimina el concepto de vínculos que era un poco confuso. Se busca medir las fuentes de conocimiento y los socios de colaboración. Temas a ser incluidos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Qué empresas adoptan el enfoque de innovación abierta y porqué (movilidad de recursos humanos para transferencia de conocimiento) • Vínculos tradicionales e innovación abierta • Difusión hacia adentro • Gestión del conocimiento (incluye derechos de propiedad intelectual y flujos intrafirma)
<p>Factores externos que influyen en la innovación empresarial</p>	<p>Obstáculos a la innovación:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factores económicos (por ejemplo, costos elevados, insuficiente demanda) • Factores vinculados a la empresa (por ejemplo, falta de personal calificado) • Factores jurídicos (por ejemplo, normativas de calidad) 	<p>Orientado a comprender el contexto en el que operan las empresas, desde una perspectiva sistémica. Los factores externos analizados en este capítulo son:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Factores espaciales y de localización • Mercados; de insumos y recursos (proveedores, recursos humanos, finanzas), de resultados (clientes y usuarios, competencia, etc.) e intermediarios y plataformas digitales • Política pública: marco regulatorio, apoyo del gobierno, infraestructura pública y política macroeconómica • Sociedad y entorno natural <p>Preguntas clave:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sector industrial de la empresa y mercado principal que atiende • Impulsores de la innovación • Barreras a la innovación • Competencia y características del mercado de productos • Localización de las actividades de la empresa y las cadenas de valor 	<p>Este capítulo discute las características del entorno externo de la empresa que puede influir en la innovación y los desafíos y oportunidades asociados, que los gerentes deben tener en cuenta al tomar decisiones estratégicas, incluyendo la innovación.</p> <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Utilizar lenguaje neutro para medir los factores externos, bien sea obstáculo o incentivo • Preguntar a todas las empresas, independientemente de si es innovadora o no • Use preguntas sobre el comportamiento de las empresas en respuesta a los factores externos, en lugar de preguntas que requieren que los encuestados apliquen heurística para estimar los impactos

<p>Objetivos y resultados de la innovación</p>	<p>Objetivos (motivaciones de la empresa para innovar):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Competencia, demanda y mercados (por ejemplo, aumentar la gama de productos, introducirse en nuevos mercados, etc.) • Producción y distribución (por ejemplo, mejorar la calidad, reducir costos) • Organización del lugar de trabajo (por ejemplo, mejorar la comunicación y la interacción entre las distintas actividades de la empresa) • Otros (por ejemplo, respetar las normas) <p>Efectos o impacto (resultados efectivamente observados de las innovaciones) en:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cifra de los negocios (proporción ventas productos nuevos o mejorados, ciclo de vida de los productos) • Productividad • Costos y empleo 	<p>Objetivos o resultados por área de influencia:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mercados para los productos de la firma (por ejemplo, mejora de productos o servicios, creación de nuevos mercados, etc.) • Producción y distribución (por ejemplo, actualización de tecnología de procesos o métodos, reducción de materiales, costos de energía, etc.) • Organización de la empresa (mejora de procesos de transferencia de conocimiento, mejora de comunicación al interior de la empresa, etc.) • Economía, sociedad y entorno (reducción impacto ambiental negativo, mejora inclusión social, etc.) <p>Objetivos y resultados de las estrategias empresariales:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Posicionamiento en el mercado de los productos de la firma • Capacidades internas y organización • Posicionamiento de la firma respecto de sus competidores <p>Resultados cuantitativos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ventas productos nuevos o mejorados 	<p>Considera tanto la medición cualitativa de los objetivos y resultados como cuantitativa de resultados. Los objetivos y los resultados pueden ser capturados en la misma lista de opciones de objetivos (por área de influencia), que si se realizan se convierten en resultados. Los objetivos son intencionales pero los resultados no siempre lo son.</p> <p>En comparación con las innovaciones de producto, los encuestados enfrentan mayores dificultades para proporcionar estimaciones de resultados cuantitativos para las innovaciones de los procesos de negocio (por ejemplo, ahorros en procesos).</p> <p>Recomendaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Explorar la medición de los resultados de la innovación en los procesos utilizando el enfoque de objeto (la principal innovación) • Uso de métodos econométricos para estimar los resultados de la innovación controlando los efectos de los posibles sesgos
---	---	--	---

<p>Métodos para aplicación de encuestas de innovación a empresas</p>	<p>En el capítulo "Procedimientos de encuesta" se establecen los lineamientos frente a:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Población objetivo y población marco • Métodos de encuesta y técnicas de muestreo • Estimación de resultados • Presentación de resultados • Frecuencia de las recogidas de datos 	<p>Lineamientos metodológicos para la recolección de datos de innovación empresarial, con un mayor desarrollo que en la edición anterior. Orientado a productores de datos, desde una perspectiva del ciclo de recolección e integración de datos de encuestas.</p>	<p>Se recomienda la convergencia en las prácticas de los países (armonización en las metodologías y el diseño de los formularios):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia de recolección de datos de uno a tres años (ideal que haya convergencias; pero no hay consenso) • Período de observación de uno a tres años, máx. 3) • Sectores a encuestar (ver tabla 9.1 en el MO o nota del cuadro 6 de este trabajo) para comparación internacional (CIU rev 4, secciones B a M, salvo J) solo para efectos nacionales secciones A, I, N y S) • Población objetivo: empresas de más de 10 empleados • Tratar de no usar filtros y que todas las empresas respondan el cuestionario • Orden de las preguntas (primero preguntas sobre actividades y capacidades empresariales y después resultados de innovación) • Tratar de no desagregar una pregunta en más de siete opciones • No se recomienda la combinación de encuesta de innovación con la de I+D
<p>Uso de datos. Indicadores y análisis</p>	<p>-</p>	<p>Dirigido a organizaciones oficiales y otros usuarios de datos de innovación, como analistas de políticas y académicos, este capítulo también busca promover una mejor comprensión entre los productores de datos de innovación sobre cómo se usan o se pueden usar sus datos. El objetivo final es garantizar que los datos, indicadores y análisis de innovación proporcionen información útil para los tomadores de decisiones en el gobierno y la industria al tiempo que garantiza que la confianza y la confidencialidad se preserven.</p>	<p>Este capítulo proporciona orientación sobre el uso de los datos de innovación para construir indicadores, así como realizar análisis estadísticos y económicos. El capítulo proporciona una guía para la producción de indicadores de innovación por áreas temáticas, a partir de las recomendaciones de los capítulos anteriores. Proporciona sugerencias para la experimentación futura y uso de datos de innovación en análisis y evaluación de políticas.</p>

Nota: La versión en inglés del MO es del año 2005 (tercera edición), por lo cual se hace referencia genérica como MO 2005, si bien la versión en español fue publicada al año siguiente. Las definiciones y explicaciones que se presentan en esta tabla para el MO 2005 son tomadas directamente de la versión en español, mientras que para la edición 2018 se trata de traducciones de los autores.

Fuente: Eurostat, OECD y Tragsa (2006); Eurostat y OECD (2018)

Análisis de los formularios de encuestas de innovación ajustados al MO 2018

En la región, países como Uruguay, Chile y Colombia son pioneros en aplicar instrumentos que incorporan parte de las nuevas recomendaciones del MO 2018. En este apartado documentamos la experiencia de estos equipos. A través de entrevistas y encuestas a expertos que participaron en la formulación y modificación de las encuestas, identificamos los cambios y desafíos que enfrentaron en la adaptación de los cuestionarios y la metodología de las EI.

Se evidencia que el país que adoptó un mayor número de cambios sugeridos por el nuevo MO fue Uruguay, mientras que Chile y Colombia asumieron una posición más conservadora. A continuación, se muestra una descripción de las dimensiones sobre las que los países analizados hicieron un mayor esfuerzo para adaptarse al MO 2018.

Actividades de innovación

Las principales recomendaciones del nuevo MO respecto a la medición de la inversión en actividades de innovación se dirigen a capturar mejor la información sobre otras actividades creativas, la propiedad intelectual, el desarrollo de software y las bases de datos, la valorización de la marca y la gestión de la innovación. El cuadro 2 muestra el resumen de los ajustes realizados en esta dimensión.

En Uruguay y Colombia se hicieron los mayores esfuerzos para adaptar las preguntas de esta dimensión a las recomendaciones del nuevo MO, mientras que Chile realizó cambios en el orden y contenido de ciertas preguntas del módulo de inversión, considerando los resultados de la prueba cognitiva que realizó este país previo a la ejecución de la encuesta y las recomendaciones del MO 2018. No obstante, estas adaptaciones no fueron tan marcadas como en la CIS, en la que, además, se cambia la forma de preguntar la inversión en innovación y su ubicación en la estructura del formulario.

En Colombia la mayor parte de los ajustes tuvieron en consideración la comparabilidad de los resultados, ya sea a través de cambios menores en las definiciones de algunas preguntas como TIC, mercadotecnia y propiedad intelectual o la adición de nuevos campos, tales como el gasto en edificaciones para actividades de innovación y el desarrollo de métodos organizativos, el cual incluye además el rubro de gestión de la innovación. Las modificaciones sustantivas corresponden a la inclusión de otras actividades creativas al gasto en ingeniería y diseño, y el gasto asociado a la valoración de la marca en mercadotecnia.

Cuadro 2. Adaptación de preguntas relacionadas con las actividades conducentes a la innovación

Tipo de cambio	CIS	Uruguay	Colombia	Chile
Eliminadas	Todas las demás actividades de innovación, incluyendo diseño, capacitación, mercadeo y otras actividades relevantes.	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Cambios menores en la definición*	<ul style="list-style-type: none"> - Marketing, creación de marca, publicidad (incluye costos internos y servicios comprados) - Diseño del producto (incluye costos internos y servicios adquiridos) 	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición de bienes de capital (bienes tangibles) para innovación (se pasa para este rubro el gasto en hardware. Se contempla aquí la compra de editores) - Adquisición de software y actividades de bases de datos para innovación (se adicionan las actividades de bases de datos. Se le da mayor detalle a la definición para incluir software) - Actividad de marketing y de valor de marca (se incluyen ahora actividades de marketing innovadoras para productos existentes y su tipología) 	<ul style="list-style-type: none"> - Adquisición o uso de propiedad intelectual (cambio de nombre, con la misma definición) - TIC, desarrollo de software y actividades de análisis de datos (se detalla más precisamente la definición) - Mercadotecnia (se introduce el gasto en la promoción de la marca ligado a la innovación) 	Se cambió la introducción para la pregunta.
Cambios sustanciales en la definición**	<ul style="list-style-type: none"> - Servicios, materiales, suministros comprados a otros para la innovación - Adquisición de maquinaria, equipo, construcción y otros activos tangibles (por el software se pregunta aparte y se detallan los tipos de activos tangibles) - Gestión de los derechos de propiedad intelectual propios (DPI) y compra o concesión a terceros 	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades vinculadas a la propiedad intelectual (desaparecen la asistencia técnica, las consultorías a terceros) - Ingeniería, diseño y otros trabajos creativos (se incluyen otros trabajos creativos: actividades para obtener nuevos conocimientos o aplicar el conocimiento de una manera novedosa que no cumpla con los requisitos específicos para ser I+D) 	<ul style="list-style-type: none"> - Ingeniería, diseño industrial y otras actividades de trabajo creativos (se incluyen otras actividades creativas) - Mercadeo de innovaciones (se incluye gastos de promoción de marca) 	Ninguna
Nuevas preguntas	<ul style="list-style-type: none"> - Desagregación del gasto en otras actividades de innovación distintas a la I+D según destino: personal que trabaja en innovación, compra de bienes y servicios y adquisición de bienes de capital, bienes de capital (adquisición de maquinaria, equipos, software, derechos de propiedad intelectual (DPI) para la innovación) y análisis de datos 	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de la innovación (permite gasto igual a cero, única en la que se permite) 	<ul style="list-style-type: none"> - Edificaciones para actividades de innovación - Actividades para el desarrollo de métodos organizativos (incluye gestión de la innovación) 	<ul style="list-style-type: none"> - Gasto en años anterior al periodo actual - Gasto en personal propio
Otros cambios	La estructura general de la sección de actividades de innovación fue sustancialmente modificada y también la forma de preguntar			Se modificó el orden y contenido de otras preguntas de este módulo a partir de los resultados de la prueba cognitiva y en consecuencia de lo que señala el IMC.

Notas: Los nombres de las variables corresponden a aquellos dados en la versión adaptada de la encuesta.

(*) Mejoras en las definiciones para hacerlas más precisas de acuerdo con el nuevo MO, afecta levemente la comparabilidad de las encuestas; (**) implica un cambio profundo en la definición que afecta la comparabilidad entre versiones de la encuesta.

Fuente: elaboración propia.

En Uruguay se hicieron diversos cambios importantes que, si bien afectan la comparabilidad de los resultados entre versiones de su encuesta, se encuentran alineados a las recomendaciones de MO 2018. Entre ellos: las actividades vinculadas a la propiedad intelectual, la inclusión de otros trabajos creativos en el gasto de ingeniería y diseño y una mejor precisión de las actividades de mercadotecnia que ahora incluyen el valor de marca. Un aspecto para destacar del caso de Uruguay es la inclusión de una pregunta que busca recoger información sobre las actividades de gestión de la innovación en la empresa.

Tipos de innovación

Uno de los grandes cambios del *Manual* se dio en los tipos de innovación, disminuyendo de cuatro categorías a dos. Las últimas versiones de las encuestas de los países latinoamericanos analizados han incluido este cambio. Las encuestas CIS y chilena hacen cambios sobre la definición de innovación de producto (que no solo implica su introducción al mercado, sino también si se ha puesto a disposición de los potenciales usuarios e incluye cambios de diseño). Uruguay y Colombia, en cambio, no actualizan esta definición. Sin embargo, las últimas versiones de las encuestas analizadas hacen cambios mayores para medir las innovaciones en procesos empresariales de acuerdo con el MO 2018.

Esta modificación ha sido adoptada de diferente forma. En Colombia y en Chile se capturan por separado cada uno de los tipos de innovación relacionados con los procesos empresariales, al tiempo que se tuvo el cuidado de que la medición permitiera hacer un empalme con las series anteriores. En Uruguay, en contraste, las innovaciones en procesos empresariales se agruparon en una sola categoría sin desagregar las innovaciones por tipo de función en la empresa, con lo cual se abandona la medición por separado de la innovación organizacional y en comercialización.

Si bien persisten diferencias en la forma como cada encuesta aborda las desagregaciones de la innovación en procesos empresariales, en los tres países hay coincidencia en incluir tres tipos de innovaciones que antes no se medían: en métodos de distribución y logística, en métodos de procesamiento de información o comunicación (o servicios TIC) y en métodos de administración y gestión (incluyendo contabilidad). Por otra parte, Uruguay es el único que incluye como innovación en procesos empresariales la introducción de nuevos servicios de I+D, creatividad o diseño para el desarrollo de productos y procesos de negocios.

El cuadro 3 muestra los cambios más importantes que se dan en las EI de los países analizados respecto a los tipos de innovación.

Cuadro 3. Adaptación de las preguntas relacionadas con los tipos de innovación

Tipo de cambio	CIS	Uruguay	Colombia	Chile
Eliminadas	<p>Innovación organizacional: Nuevas prácticas de negocio para organizar procedimientos Nuevos métodos para la organización de las relaciones externas con otras empresas o instituciones públicas Innovación de marketing: Cambios significativos en el diseño estético o en el empaque de un bien o servicio Nuevos métodos para la colocación de productos o canales de venta Nuevos medios o técnicas para la promoción de productos Estas variables se eliminan para construir variables agrupadas de innovación organizacional y en marketing.</p>	<p>Innovación en proceso (incluida en la innovación en procesos empresariales) Innovación organizacional (incluida en la innovación en procesos empresariales) Innovación en comercialización (incluida en la innovación en procesos empresariales)</p>	<p>Ninguna</p>	<p>Cambios significativos en el diseño, empaque y embalaje de productos (bienes y servicios). (Se incluye en la innovación de producto) Nuevos medios o técnicas para la promoción del producto (se captura en innovación en marketing) Nuevos métodos para los canales de distribución del producto (se captura en innovación en marketing) Nuevos métodos de tarificación de bienes y servicios (se captura en innovación en marketing)</p>
Cambios menores en la definición*	<p>Métodos de organización de la responsabilidad laboral, toma de decisiones y gestión de recursos humanos (se agrega recursos humanos)</p>	<p>Ninguno</p>	<p>Técnicas de comercialización nuevas o mejoradas en su empresa (se introducen los métodos de fijación de precios)</p>	<p>Ninguno</p>
Cambios sustanciales de la definición**	<p>Innovación de producto (incluye ahora cambios significativos en diseño) Métodos de contabilidad y otras operaciones administrativas (se crea una pregunta aparte distinta a actividades de soporte como compras y sistemas) Métodos de marketing (se integra en una sola categoría diseño y empaque, promoción de productos, colocación de productos o servicios posventa) Innovación organizacional (se integra en una sola categoría procedimientos organizacionales y relaciones externas)</p>	<p>Ninguno</p>	<p>Métodos de prestación de servicios o producción de bienes nuevos o mejorados en su empresa (se captura sin considerar los métodos de distribución, entrega o sistemas logísticos) Métodos organizativos nuevos o mejorados, implementados en el funcionamiento interno de la empresa (se incluye explícitamente la gestión de los recursos humanos, gestión comercial, organización de responsabilidad laboral y gobierno corporativo)</p>	<p>Cambio en la definición de innovación de producto (no solo implica su introducción al mercado, sino también si se ha puesto a disposición de los potenciales usuarios. Incluye ahora cambios significativos en diseño) Nuevos o significativamente mejorados métodos de contabilidad y otras actividades administrativas (se separa en otra pregunta relacionado con el soporte informático) Nuevos o significativamente mejorados prácticas de negocios para la organización de procesos, o de las relaciones externas (antes las relaciones externas se preguntaban por separado)</p>

<p>Nueva pregunta</p>	<p>Innovación en procesos empresariales, lo cual incluye preguntas nuevas y otras que vienen del formulario anterior (ver punto anterior)</p> <p>Métodos para producir bienes o prestar servicios</p> <p>Métodos de logística, entrega o distribución</p> <p>Métodos de organización de la responsabilidad laboral, toma de decisiones y gestión de recursos humanos</p> <p>Prácticas comerciales para organizar procedimientos o relaciones externas</p> <p>Métodos de marketing para promoción, empaque, fijación de precios</p> <p>Colocación de productos o servicios</p> <p>Posventa</p> <p>Nuevas:</p> <p>Métodos de contabilidad y otras operaciones administrativas</p> <p>Métodos de procesamiento de información y comunicación</p>	<p>Innovación en procesos empresariales (se calcula de manera agregada sin detallar sus partes componentes que incluyen dimensiones nuevas u otras que ya se medían en la versión anterior)</p> <p>Version anterior de la encuesta:</p> <p>Diseño o adopción de nuevos métodos de producción de bienes y servicios</p> <p>Diseño o adopción de nuevos métodos de distribución y logística</p> <p>Introducción de nuevos métodos de administración y gestión aplicados a las prácticas de negocio, la organización del lugar de trabajo o a las relaciones externas de la empresa</p> <p>Diseño o adopción de nuevos métodos de comercialización que impliquen cambios significativos del diseño o emvasado de un producto, posicionamiento, promoción y/o precio</p> <p>Nuevas:</p> <p>Introducción de nuevos servicios de tecnología de la información y las comunicaciones (TIC)</p> <p>Introducción de nuevos servicios de I+D, creatividad o diseño para el desarrollo de productos y procesos de negocios</p> <p>Grado de novedad de la innovación (se pasó a preguntar específicamente por la innovación más relevante para la empresa, tomando en cuenta la prueba cognitivo y el MO 2018)</p>	<p>Innovación en procesos empresariales, lo cual incluye preguntas nuevas y otras que vienen del formulario anterior con algunas modificaciones (ver punto anterior)</p> <p>Version anterior de la encuesta:</p> <p>Métodos de prestación de servicios o producción de bienes nuevos o mejorados en su empresa</p> <p>Métodos organizativos nuevos o mejorados, implementados en el funcionamiento interno de la empresa</p> <p>Técnicas de comercialización nuevas o mejoradas en su empresa</p> <p>Nuevas:</p> <p>Métodos de distribución, entrega o sistemas logísticos nuevos o mejorados en su empresa</p> <p>Métodos para la contabilidad u operaciones administrativas nuevas o mejoradas en su empresa</p> <p>Métodos de procesamiento de información o comunicación nuevos o mejorados en su empresa</p>	<p>Innovación en procesos empresariales, lo cual incluye preguntas nuevas y otras que vienen del formulario anterior con algunas modificaciones (ver punto anterior)</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados métodos de producción de bienes o prestación de servicios</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados métodos de logística, entrega o distribución para sus insumos, bienes o servicios</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados métodos de contabilidad y otras actividades administrativas</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados prácticas de negocios para la organización de procesos, o de las relaciones externas</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados métodos de la organización de responsabilidades, toma de decisiones y gestión de recursos humanos</p> <p>Nuevas:</p> <p>Nuevos o significativamente mejorados métodos para el procesamiento de la información y las comunicaciones</p>	<p>Otros cambios</p>	<p>La estructura general de la sección de resultados de innovación fue sustancialmente modificada y también la forma de preguntar.</p>	<p>Ninguno</p>	<p>Ninguno</p>	<p>Para innovación de productos y procesos de negocio se modificó la redacción para que las empresas caractericen únicamente los resultados de la innovación más relevante para ellos. Esto para solucionar las confusiones para los casos de empresas con más de una innovación.</p>
------------------------------	---	---	---	---	-----------------------------	--	----------------	----------------	---

Notas: Los nombres de las variables corresponden a aquellos dados en la versión adaptada de la encuesta.

(*) Mejoras en las definiciones para hacerlas más precisas de acuerdo con el nuevo MO, afecta levemente la comparabilidad de las encuestas; (**) implica un cambio profundo en la definición que afecta la comparabilidad entre versiones de la encuesta.

Fuente: elaboración propia.

Flujos de conocimiento

En MO 2018 se propone ampliar el foco de fuentes de ideas y no solo considerar los flujos entrantes (*inbound*). Así, se recomienda abordar la dimensión de salida de conocimiento de la empresa (*outbound*) y la cooperación y codesarrollo de conocimiento (acoplados (*coupled*)). Por tanto, cobra importancia la medición de los flujos de conocimiento formales e informales, los canales de intercambio de conocimiento y los socios de las diversas colaboraciones.

La CIS ha hecho un cambio significativo al respecto, pues en la última versión incluyó una sección específica denominada “Estrategias y flujos de conocimiento” en la que introducen nuevas preguntas. Dentro de esta se incluyen preguntas sobre el foco de la estrategia empresarial para asegurar el desempeño económico de la empresa, cómo la empresa responde a requisitos de los usuarios, si cocrea o hace customización de sus productos o servicios y el porcentaje de ingresos que recibe por esto según el tipo de usuario.

Por otra parte, en esta misma sección, la CIS amplía las preguntas referentes a la propiedad intelectual, pues incluye la obtención de estos títulos y la adquisición o concesión de licencias. Por otro lado, elimina la pregunta que califica el grado de importancia de las fuentes de información y en su lugar averigua si la empresa usa o no canales de adquisición de conocimiento, allí incluye la clasificación que en la versión anterior denominaba como otras fuentes de información y adiciona otras como: ingeniería inversa, información de patentes publicadas, redes sociales, plataformas basadas en la web o crowdsourcing y plataformas abiertas o software de código abierto.

Además, la CIS incluye preguntas sobre la adquisición de servicios técnicos provenientes de empresas privadas u organismos públicos de investigación o instituciones de educación superior, la naturaleza de la adquisición de maquinaria y equipo, y si esta se basa en nueva tecnología o no. Además, agregó la pregunta sobre el grado de importancia de los distintos métodos de organización del trabajo para la gestión de su empresa y su personal.

En el caso de la EI uruguaya, mientras que en la edición de 2005 no se incluía la pregunta de fuentes de información, esta sí está presente en la versión de 2018, retomando la tradición previa a la encuesta de 2005. Respecto a los aspectos de propiedad intelectual, no hizo ninguna alteración en las preguntas sobre su uso, al igual que sobre la cooperación, en la que se mantiene la pregunta en la que averigua por vínculos, el objetivo, la existencia de acuerdos de cooperación y la participación en redes.

Cuadro 4. Adaptación de las preguntas relacionadas con los flujos de conocimiento

Tipo de cambio	CIS	Uruguay	Colombia	Chile
Eliminadas	Se eliminan las clasificaciones de tipo de fuente de información de cooperación: Interna Fuentes de mercado Educación e investigación Otras fuentes	Ninguna	Ninguna	Ninguna
Cambios menores en la definición*	Las clasificaciones de socio de cooperación en innovación: Consultores, laboratorios comerciales*** Institutos de investigación privados*** Institutos de investigación públicos o gubernamentales****	Ninguno	Se ajusta la nueva clasificación de tipos de innovación en la pregunta sobre la importancia de las fuentes de información y conocimiento.	Ninguno
Cambios sustanciales en la definición**	Se crea una nueva sección de "Estrategias y flujos de conocimiento" que incluye flujos entrantes y salientes de información y la cooperación y codesarrollo de conocimiento.	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Nueva pregunta	Se incluyen nuevos tipos de socio para la cooperación en innovación: organizaciones sin fines de lucro; canales para adquirir conocimientos; ingeniería inversa; información de patentes publicadas; redes sociales, plataformas basadas en web o crowdsourcing; plataformas abiertas o software de código abierto. Nuevas clasificaciones de derechos de propiedad intelectual (DPI): licenciar sus propios DPI a terceros; vender sus propios DPI (o cederlos) a otros; intercambio de DPI (agrupación, concesión de licencias cruzadas, etc.) y celebra un contrato de franquicia. Adquisición o concesión de DPI a empresas privadas o particulares, organizaciones públicas de investigación, universidades y otras instituciones de educación superior. Compra de servicios técnicos de empresas comerciales privadas; organización de investigación pública, universidades y otras instituciones de educación superior. Adquisición de maquinaria, equipo o software basándose en la misma tecnología utilizada en su empresa antes o nueva tecnología que no se usaba antes en su empresa.	Se incluye una nueva pregunta del grado de importancia de las siguientes fuentes de información: Internas: fuentes internas a la empresa Mercado: proveedores, clientes, competidores y otras empresas relacionadas, consultores y expertos Academia: universidades, centros o institutos de investigación o desarrollo (públicos o privados) Otros: ferias, conferencias y exposiciones, revistas científicas, publicaciones técnicas y comerciales y bases de datos, asociaciones profesionales y sectoriales	Se pregunta por la cooperación en adquisición o uso de propiedad intelectual, otras actividades de trabajo creativas junto con ingeniería y diseño, edificaciones para actividades de innovación y actividades para el desarrollo de métodos organizativos	Ninguna

Notas: Los nombres de las variables corresponden a aquellos dados en la versión adaptada de la encuesta.

(*) Mejoras en las definiciones para hacerlas más precisas de acuerdo con el nuevo MO, afecta levemente la comparabilidad de las encuestas; (**) implica un cambio profundo en la definición que afecta la comparabilidad entre versiones de la encuesta; (***) se fusionan en una única clasificación; (****) se hace específico que no incluye a clientes o consumidores.

Fuente: elaboración propia.

Tanto en la encuesta colombiana como en la chilena, se mantuvieron los tipos de fuentes de información y actividades de cooperación considerados en la medición (no se añaden preguntas sobre la dimensión de salida de ese tipo de conocimiento y no se incluyen modificaciones en las preguntas relacionadas con la transferencia de conocimiento a través de propiedad intelectual. Sin embargo, para el caso colombiano, en la última encuesta se hizo un cambio en la redacción de esta pregunta (ver cuadro 5).

Modificaciones en otras secciones de las encuestas

Los cuestionarios incluyen, además, modificaciones en otras secciones. La mayoría corresponde a variaciones y ajustes en la redacción de las preguntas, la inclusión de nuevas desagregaciones, la ampliación de algunas opciones de respuesta y la inserción de nuevas secciones que levantan información complementaria. El cuadro 5 muestra información con mayor detalle sobre estos cambios.

Cuadro 5. Modificaciones en otras secciones relevantes de las encuestas

Tema	Uruguay	Colombia	Chile
Recurso humano	Ninguno	Ninguno	Mejora la pregunta respecto a los doctores para su mejor interpretación.
Financiación de la innovación	Ninguno	Se actualizan los nombres de los instrumentos de apoyo a la innovación para cofinanciación y crédito.	Ninguno
Efectos de la innovación	Cambios menores en la redacción.	Se agregan las siguientes opciones: si la empresa ha aumentado el nivel de ventas, si ha visto aumentado el nivel de utilidades o se han mejorado las prácticas gerenciales de gestión.	Se ajustó la redacción para que respondan solamente por la innovación más relevante. Antes no se especificaba y era difícil para las empresas responder si habían implementado/introducido más de una innovación. También se revisaron las alternativas para considerar otros posibles efectos.

Obstáculos a la innovación	Se cambió la redacción de la pregunta para las empresas que no habían realizado actividades de innovación. Se intenta indagar lo mismo, pero tomando en cuenta lo que contestaron previamente.	Se agrega la opción de baja cultura de la innovación.	Ninguno
Propiedad intelectual	Ninguno	Se agregan más opciones a los obstáculos para la solicitud u obtención de registros de propiedad intelectual: desconocimiento de la existencia de las entidades competentes del registro y protección de la propiedad intelectual y desconocimiento del proceso requerido para obtener un registro de propiedad intelectual.	Ninguno
Otras secciones antes no mencionadas	Se agregó la pregunta que indaga sobre los motivos para no innovar. Se agregó una sección sobre compras públicas y su vínculo con la innovación.	Se hace un levantamiento de información sobre la gestión empresarial. Esta sección permite medir en parte las capacidades empresariales que sugiere el MO 2018.	Se ajusta el módulo relacionado con la Ley de incentivos tributarios a la I+D (Ley 20.241).

Fuente: elaboración propia.

Métodos de recolección de información

Los métodos de recolección de información en las EI de los países analizados no fueron modificados significativamente, mientras que en la CIS la adaptación al MO 2018 implicó un cambio sustancial en la estructura.

El cambio más sustancial derivado del MO se observó en la encuesta chilena en la que se limitó el número de filtros con el fin de lograr que un mayor número de empresas contestaran el cuestionario (ver cuadro 5). Vale la pena destacar que en Chile también se hizo un esfuerzo importante por mejorar la forma de abordar las preguntas y simplificar las definiciones introductorias a los módulos.

Cuadro 6. Modificaciones en los métodos de recolección

Tema	Recomendación MO	CIS	Uruguay	Colombia	Chile
Orden de las preguntas	Primero pregunta sobre actividades y capacidades empresariales y después resultados de innovación.	Sin cambio (resultados de la innovación antes que de actividades de innovación)	Ya se cumplía con la recomendación del MO.	Sin cambio (resultados de la innovación antes de actividades de innovación)	Sin cambio (resultados de la innovación antes de actividades de innovación)
Filtros	No usar filtros y que todas las empresas respondan el cuestionario.	Se elimina el filtro por obtención de innovaciones o actividades en curso o abandonadas (responden todas las empresas con filtros mínimos).	Sin cambio (firmas que realizan actividades de innovación)	Sin cambio (firmas innovadoras de cualquier tipo o que tienen en curso o abandonaron actividades de innovación)	Sin cambio (no hay filtros en preguntas de resultados o actividades de innovación)
Frecuencia	Uno a tres años, buscando convergencia entre países hacia los dos años.	Sin cambio (2 años)	Sin cambio (3 años)	Sin cambio (2 años)	Sin cambio (2 años)

<p>Se efectuaron cambios Manufactura y servicios Sectores recomendados incluidos: A, B, C, D, E, F, G, H, J, K, M, N Sectores no recomendados e incluidos: P, Q, R, S (El cambio en la cobertura sectorial se basó parcialmente en el MO 2018. En realidad, en la versión anterior se habían incluido sectores que no se deberían haber considerado, por lo que se volvió a la cobertura que se había tenido en rondas anteriores que considera lo que señala el MO).</p>	<p>Sin cambio (estratificación según volumen de ventas o diez empleados o más)</p>	<p>Cambios (representativo al nivel de macrozonas que agrupan a varias regiones) Los ajustes del diseño implican una disminución de los dominios de estudio a nivel geográfico.</p>	<p>Cambia de ventas a tasa de innovación</p>
<p>Sin cambios Manufactura y servicios Sectores recomendados incluidos: D, E, G, H, I, J, K Sectores no recomendados incluidos: P, Q, R, S</p>	<p>Sin cambio (estratificación según volumen de ventas o diez o más empleados)</p>	<p>Sin cambios (representativa del nivel de regiones administrativas)</p>	<p>-</p>
<p>Sin cambios Manufactura y servicios Sectores recomendados incluidos: C, D, E, H, I, J, E, M, N Sectores no recomendados incluidos: Q</p>	<p>Sin cambio (cinco personas ocupadas con actividad principal en la industria manufacturera y algunas ramas del sector servicios seleccionadas de la CIU rev.4)</p>	<p>Sin cambios (representativa de las regiones de Uruguay)</p>	<p>-</p>
<p>Sin cambios Manufactura y servicios Sectores recomendados incluidos: D, E, G, H, I, J, K Sectores no recomendados incluidos: P, Q, R, S</p>	<p>No disponible</p>	<p>Sin cambios (representativa de las regiones de Europa)</p>	<p>-</p>
<p>Sectores recomendados:* comparación internacional: CIU rev. 4, secciones B a M, salvo I; uso nacional: secciones A, I, N y S Sectores no recomendados:* O, P, Q, R, S</p>	<p>Tamaño de la firma encuestada Empresas de más de diez empleados</p>	<p>Representatividad regional</p>	<p>Variable de diseño</p>
<p>Población objetivo</p>			

Desagregación de preguntas	No más de siete opciones	No se cumple para algunas preguntas	No se cumple para algunas preguntas	No se cumple para algunas preguntas	No se cumple para algunas preguntas
Realización conjunta de encuestas	No se recomienda la combinación de encuesta de innovación con la de I+D	Se cumple	Se cumple	Se cumple	Se cumple

Notas: (*) Sectores recomendados por el MO 2018: (A) producción agropecuaria, forestación y pesca (nacional); (B) explotación de minas y canteras (nacional y comparación internacional); (C) industrias manufactureras (nacional y comparación internacional); (D) suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (nacional y comparación internacional); (E) suministro de agua y alcantarillado (nacional y comparación internacional); (F) construcción (nacional y comparación internacional); (G) comercio al por mayor y al por menor (nacional y comparación internacional); (H) transporte y almacenamiento (nacional y comparación internacional); (I) alojamiento y servicios de comida (nacional); (J) información y comunicación (nacional y comparación internacional); (K) actividades financieras y de seguros (nacional y comparación internacional); (L) actividades inmobiliarias (nacional y comparación internacional); (M) actividades profesionales, científicas y técnicas (nacional y comparación internacional); (N) actividades administrativas y servicios de apoyo (nacional). Sectores no recomendados por el MO 2018: (O) administración pública y defensa; (P) enseñanza; (Q) servicios sociales y relacionados con la salud humana; (R) artes, entretenimiento y recreación; (S) otras actividades de servicio.

Fuente: elaboración propia.

Al mismo tiempo, se observó que desde la versión anterior de las encuestas algunos países ya venían cumpliendo los criterios sugeridos por el nuevo manual, por ejemplo, las preguntas de inversión precedan a las de resultados de la innovación, como en Uruguay; población objetivo de firmas de diez o más empleados, como en Colombia¹ y Chile,² y no se realizar las EI en conjunto con las de I+D, lo cual cumplen todos los países analizados.

Resumen de los cambios en las encuestas de innovación en LAC

El cuadro 7 muestra el resumen de las modificaciones efectuadas en las EI de los países analizados. Esta información se corresponde con las respuestas recolectadas a través de un cuestionario diligenciado por especialistas que estuvieron involucrados en los cambios generados en las encuestas de cada país, con el propósito de comprender el contexto de los cambios realizados en las distintas secciones de la encuesta. Así, se buscó identificar si las modificaciones están inspiradas en el MO 2018 o si corresponden a ajustes realizados por las agencias atendiendo a otros criterios.

La mayoría de los ajustes buscan atender las recomendaciones del MO 2018. Los cambios más evidentes se encuentran en las secciones sobre actividades, en las que todos los países incluyen nuevas clasificaciones, y en los resultados de la innovación, como consecuencia de las modificaciones en la definición de las tipologías de innovación. Chile es el único país que adopta parte de las sugerencias para hacer ajustes en la metodología, particularmente en los filtros aplicados, el diseño muestral y la cobertura sectorial. También fue el único país que realizó un test cognitivo para evaluar el grado de comprensión de las preguntas clave de su encuesta, tanto en su versión anterior como en la nueva.

¹ Solo en manufactura.

² En combinación con umbrales de ingresos anuales.

Cuadro 7. Resumen de las modificaciones según MO (2018)

Ítem	Tema	Chile	Uruguay	Colombia
Metodología	Población objetivo	No	No	No
	Diseño muestral	Sí*	No	No
	Cobertura sectorial	Sí*	No	No
	Representatividad geográfica	Sí**	No	No
	Cambio en el criterio de inclusión de las empresas	No	No	No
	Orden de las secciones de la encuesta	No	No	No
	Filtros aplicados	Sí*	No	No
	Otros cambios no señalados anteriormente	No	No	No
Actividades de innovación	I+D interna	No	No	No
	I+D externa	No	No	No
	Adquisición de maquinaria y equipo/bienes de capital para innovar	No	Sí**	No
	Adquisición de conocimientos externos/propiedad intelectual	No	Sí*	Sí*
	Asistencia técnica y consultoría	N/A	N/A	No
	Capacitación para la innovación	No	No	No
	Introducción de innovaciones al mercado	No	Sí*	Sí*
	Ingeniería y/o diseño	No	Sí*	Sí*
	Instalación y puesta a punto de nuevos equipos	No	No lo incluye	No lo incluye
	TIC para innovación	Sí*	Sí*	Sí*
	Métodos organizativos	Sí*	Sí*	Sí*
Gestión de la innovación	Sí*	Sí*	Sí*	
Tipologías de innovación	Innovación de producto	Sí**	No	No
	Innovación en procesos empresariales	Sí*	Sí*	Sí*
	Innovación de proceso	Sí*	Sí*	Sí*
	Organizacional	Sí*	Sí*	Sí*
	Comercialización	Sí*	Sí*	Sí*
	Logística	No	No	Sí*
	Métodos de procesamiento de información o comunicación	Sí*	No	Sí*
	Grados de novedad en producto	Sí*	No	No
Otras secciones	Fuentes de ideas para innovar	No	Sí*	No
	Cooperación/colaboración en innovación	No	No	Sí*
	Recurso humano	No	Sí**	No
	Financiación de la innovación	No	No	Sí
	Efectos de la innovación	Sí**	Sí**	Sí*
	Obstáculos a la innovación	No	Sí**	Sí*
	Propiedad intelectual	No	No	Sí

Notas: (*) Cambios inspirados en el MO 2018; (**) cambios no inspirados en el MO 2018; (N/A) no aplica.

Fuente: elaboración propia

Los principales obstáculos en el proceso de adaptación de las encuestas al MO 2018 se relacionan con:

- Los empresarios tienen una larga tradición en contestar la encuesta, por lo que un nuevo formulario implica un esfuerzo para asimilar los nuevos conceptos y preguntas.
- La falta de una traducción oficial al castellano del MO que facilite el proceso.
- Analizar los resultados de la encuesta mapeando los cambios generados por el MO.

Por otra parte, las entidades que respondieron la encuesta esperan poder seguir incorporando las recomendaciones del MO 2018 de forma gradual. En Uruguay se discute la posibilidad de cambiar el orden de las secciones para la próxima EI. En Chile se realizará un piloto del cuestionario para incluir de forma paulatina los capítulos 5 y 7 de MO 2018 y agregar preguntas asociadas al cambio climático y el enfoque de género en la sección de recurso humano.

Desafíos y recomendaciones

En esta sección se plantean las recomendaciones sobre la adaptación de las directrices del MO 2018, especialmente en el diseño de formularios, cambios metodológicos de aplicación de las encuestas, tipo de resultados a obtener y cambios en la interpretación, entre otros aspectos. En una línea similar van también los hallazgos de los trabajos desarrollados por el BID para la armonización de indicadores de innovación en ALC. Sin embargo, hay algunos desafíos que los países arrastran desde sus primeras EI, o son debilidades estructurales de sus agencias estadísticas.

No debemos desfallecer en la búsqueda de hacer mejores y más significativas comparaciones internacionales del desempeño innovador de los países y las empresas, es decir, buscar la comparabilidad en los micro y macroniveles. Esto no está garantizado ni en los países de la OCDE que utilizan el MO ni en los países que aplican la CIS. Al respecto, en el MO 2018 se incluyó un capítulo que promueve la convergencia en los métodos de aplicación de las EI. Sin embargo, en ALC el problema es aún mayor, ya que la divergencia es más grande en cuanto a cuestionarios,

variables, marcos muestrales (calidad y cobertura), población objetivo y metodologías de diseño muestral, entre otros.

El BID ha realizado varios intentos de análisis comparado de métricas de innovación en América Latina (Crespi, 2022; Albis, Vargas y Sánchez, en prensa) y ha encontrado diversos problemas y diferencias entre los países, entre sus principales diferencias se encuentran:

- Marcos muestrales: alta heterogeneidad en calidad y cobertura geográfica y sectorial.
- Unidad estadística y tamaño de la firma: no hay claridad total sobre la definición de lo que se considera una firma en cada país, se toman diferentes medidas para determinar el tamaño (empleo o ventas) y el umbral mínimo es variable.
- La forma en que las encuestas son respondidas y el tipo de interacción entre quien responde y la agencia estadística.
- Diseño de los cuestionarios: orden de las preguntas y filtros establecidos.

Es claro que los procesos de armonización no pueden corregir las diferencias en las metodologías utilizadas por los países, de tal manera que el esfuerzo se debe realizar desde el diseño de los cuestionarios y los métodos de aplicación de las encuestas.

La incorporación de las recomendaciones del MO 2018 comienza por un cambio sustancial que afecta el diseño de las EI y el análisis de las series históricas: pasar de una clasificación de cuatro tipos de innovación a solo dos (de producto y de proceso empresariales). El ajuste requiere una transición y reorganización de la información que ya se tiene disponible (definiendo solo dos tipos y a su vez desglosando el segundo) para atenuar la pérdida de comparabilidad intertemporal de las series.

Por otra parte, si bien el cambio en las definiciones de innovación no es radical, la desagregación de los diferentes tipos de innovación de procesos empresariales puede generar cambios en las series que es necesario estudiar. En esta línea, Chile, Colombia y Uruguay (y próximamente Perú) son los primeros países que pueden elaborar pruebas cuantitativas que permitan estimar, *ex post*, la influencia del cambio de las preguntas y definiciones en la relación entre variables observables e innovación. Por otro lado, es deseable que en países que aún no actualizan las definiciones

se diseñe un experimento que permita realizar esta estimación antes de contar con los datos oficiales.

Considerando las recomendaciones del MO 2018, destacamos dos acciones prioritarias para los países de ALC:

- Continuar y profundizar la caracterización de todas las empresas: innovadoras, no innovadoras y aquellas que solo realizan actividades de innovación. Es importante conocer las actitudes y comportamientos de todas ellas y analizar por qué algunas empresas innovan y otras no. Por esto se recomienda que las encuestas eviten los filtros y permitan que todas las empresas respondan el cuestionario completo.
- Incluir más preguntas sobre innovación abierta, tanto sobre el flujo de conocimiento entrante (*inbound*) como el saliente (*outbound*).

Finalmente, respecto de la búsqueda en la convergencia metodológica, se recomienda discutir y acordar prácticas comunes entre los países utilizando espacios como los que brindan la RICYT y el BID en los siguientes aspectos:

- Aplicar pruebas cognitivas sobre todas las preguntas de los cuestionarios actuales, no solo las nuevas. Si bien las recomendaciones buscan mejorar y hacer más precisas las mediciones en innovación, no se conoce con certeza si lo que actualmente se mide y la manera como se están haciendo las preguntas permite un entendimiento suficiente de los conceptos abordados en las EI.
- La sostenibilidad de la medición de la innovación enfrenta múltiples desafíos, especialmente en países que fueron analizados en este capítulo. La volatilidad presupuestaria para los esfuerzos de medición de innovación quizás sea el factor más importante. Diseñar las encuestas con objetivos claros de política de innovación puede ayudar a atenuar el riesgo de discontinuidad en las encuestas.
- La región debe converger a períodos de cobertura y frecuencia de medición común. Las actuales diferencias de cobertura (países con dos y tres años) y de frecuencia (también de dos o más años) dificultan la comparación. Avanzar a un modelo como el planteado

por Eurostat, es decir, cobertura de tres años y frecuencia de dos, puede ser un buen norte al cual apuntar.

- Se sugiere unificar el orden de las preguntas, que primero se aborden secuencialmente las actividades y capacidades empresariales y posteriormente los resultados de innovación.
- Uno de los inconvenientes cuando se realiza la comparación de los resultados de las encuestas de innovación se encuentra en la heterogeneidad de la población objetivo de las EI. Se recomienda homogeneizar un criterio mínimo para la población objetivo: que las muestras sean representativas de las empresas de diez o más empleados, lo cual a su vez depende de que las agencias de estadística tengan buenos directorios con datos de empleo.
- Se recomienda encuestar como mínimo a los sectores recomendados por el MO (ver sección anterior). En casos en que los países decidan muestrear a más sectores, se debe poner especial cuidado en el cálculo, publicación y comparación con estadísticas obtenidas solo de los sectores recomendados. Igualmente, sería útil que las agencias estadísticas evalúen la utilidad (costo-beneficio) de muestrear empresas de sectores no recomendados.
- En cuanto a la estructura del formulario, se sugiere homogeneizar y evaluar el uso de escalas de Likert en los cuestionarios. Si bien estas se utilizan en las mismas secciones en diferentes países, existen diferencias en la cantidad de niveles utilizados que dificultan la comparación. También se sugiere evitar la desagregación de una pregunta en más de siete opciones.

Bibliografía

- Albis, N., Sánchez, E. y Vargas, F. (en prensa). *Compendio de indicadores de innovación para América Latina y el Caribe*. Washington, DC: Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Anlló, G., Crespi, G. A., Lugones, G., Suárez, D., Tacsir, E. y Vargas, F. (2014). *Manual para la implementación de encuestas de innovación*. Washington, DC: BID. Disponible en: <http://publications.iadb.org/handle/11319/6638>.

- Galindo-Rueda, F. (2018). "El Manual de Oslo 2018". Presentado en el *Comité Técnico de la Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología* (RICYT), noviembre. Buenos Aires.
- Galindo-Rueda, F. y Van Cruysen, A. (2016). *Testing innovation survey concepts, definitions and questions: Findings from cognitive interviews with business managers*. París: Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). Disponible en: <http://oe.cd/innocognitive>.
- González Olmos, B. (2012). *Buenas prácticas en aplicación y difusión de encuestas de innovación*. Buenos Aires: BID. Disponible en: <https://publications.iadb.org/handle/11319/5693>.
- Guillard, C. y Salazar, M. (2017). *La experiencia en encuestas de innovación de algunos países latinoamericanos*. Washington, DC: Inter-American Development Bank. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/spanish/viewer/La-experiencia-en-encuestas-de-innovaci%C3%B3n-de-algunos-pa%C3%ADses-latinoamericanos.pdf>.
- Guillard, C., Vargas, F., Salazar, M. y Crespi, G. A. (2022). *Harmonized Latin American Innovation Surveys Database (LAIS): firm-level microdata for the study of innovation*. Washington, DC: Inter-American Development Bank. Disponible en: <https://publications.iadb.org/publications/english/viewer/Harmonized-Latin-American-Innovation-Surveys-Database-LAIS-Firm-Level-Microdata-for-the-Study-of-Innovation.pdf>.
- Jaramillo, H., Lugones, G. y Salazar, M. (2001). *Manual de Bogotá. Normalización de indicadores de innovación tecnológica para América Latina y el Caribe*. Bogotá: RICYT/OEA. Disponible en: <http://www.ricyt.org/2019/09/manual-de-bogota-3/>.
- Statistical Office of the European Union (Eurostat) y Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2005). *Oslo Manual*. París/Luxemburgo: Eurostat/OECD.
- _____ (2018). *Oslo Manual*. París/Luxemburgo: Eurostat/OECD.
- Statistical Office of the European Union (Eurostat), Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) y Tragsa (2006). *Manual de Oslo Guía para la recogida e interpretación de datos sobre innovación*. Madrid: Tragsa.

Zárate, S. (2018). *Medición de la innovación en las empresas de América Latina: una comparación metodológica*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Xochimilco, Ciudad de México.

Capítulo 4

¿Complementariedad o sustitución sobre el comportamiento innovador?

Desarrollo de la estrategia empírica a partir del test de supermodularidad

Carlos Bianchi y Pablo Blanchard

Motivación y objetivos

El proceso de innovación que siguen los agentes, considerando los agentes colectivos, sean estas empresas u otro tipo de organizaciones, se puede caracterizar como una trayectoria de aprendizaje signada por sucesivas discontinuidades que están asociadas a la emergencia e identificación de problemas y a la resolución de estos mediante la generación y uso de conocimiento (Nelson y Winter, 1982; Dosi, 1988).

Los agentes enfrentan estos eventos con información imperfecta y llevan adelante diferentes estrategias para reducir la incertidumbre del proceso innovador (Dosi y Egidi, 1991). En ese proceso, se vinculan con el entorno y desarrollan sus capacidades articulando recursos internos de la organización con elementos externos. Así, interactúan con otros agentes, más o menos cercanos, para acceder a la información y el conocimiento, adquirir conocimiento codificado en forma de maquinarias, equipos o instrucciones o buscar apoyos públicos o privados para superar barreras que la organización encuentra en el proceso innovador (Lundvall, 1988; Pellegrino y Savona, 2017; Frederiksen y Lindbjerg, 2019; Álvarez, Morero y Ortiz, 2021).

De los enunciados anteriores se desprenden dos bloques fundamentales para la corriente neoschumpeteriana en estudios de innovación. Por un lado, ese cuerpo de literatura ha enfatizado que los agentes no son homogéneos, por el contrario, sus diversos atributos y la variedad de contextos en los que desarrollan su actividad explican la especificidad de la trayectoria de cada organización y la dificultad de identificar patrones agregados de comportamiento (Nelson, 1991; Johansson y Lööf, 2014). Asimismo, esta corriente enfatiza los supuestos sistémicos que postulan que el resultado de la acción agregada del sistema, captado mediante la interacción entre los agentes, internos y externos a la organización, es diferente que el efecto de la suma aislada de la acción de las partes (Yoguel y Robert, 2010; Fagerberg y Srholec, 2017).

A partir de estos postulados proponemos discutir la pregunta de investigación sobre efectos de complementariedad o sustitución en estudios de microeconomía de la innovación. Teóricamente, esta pregunta se justifica de acuerdo con los fundamentos esbozados más arriba. Empíricamente, además, esta pregunta se fundamenta en la observación de relaciones no lineales entre el uso simultáneo de diferentes y variados recursos por parte de las empresas y los efectos que se obtienen a medida que estos se aumentan.

Son muchos los ejemplos que se encuentran hoy en la literatura. En uno de los estudios pioneros en el tema, Veugelers y Cassiman (1999) indagaron si las estrategias de innovación que siguen las empresas –hacer o comprar conocimiento mediante la explotación de recursos internos y externos a la empresa– generan efectos complementarios en su desempeño. O si, por el contrario, las empresas sustituyen una estrategia por otra. Otros trabajos indagan si el desarrollo simultáneo de diferentes tipos de innovación –producto, proceso y organizacional genera efectos complementarios (sustitutos) en el desempeño de las empresas (por ejemplo, Ballot *et al.*, 2015; Guisado-González, Wright y Guisado-Tato, 2017); otros analizan si los obstáculos que percibe la empresa tienen efectos aislados o, por el contrario, se complementan (sustituyen) entre ellos (por ejemplo, Galia y Legros, 2004) y, por lo tanto, eso debe ser considerado en el diseño de políticas e instrumentos (por ejemplo, Mohnen y Röller, 2005; Resende, Strube y Zeidan, 2014; Vidal-Jaureguy, 2019; Bianchi, Blanchard y Vidal-Jaureguy, 2023). Asimismo, existen variados antecedentes sobre efectos de complementariedad (sustitución) del uso simultáneo de diferentes fuentes de conocimiento internas y externas (por ejemplo, Denicolai, Ramirez y Tidd, 2016; Grimpe y Sofka, 2016;

Serrano-Bedia, López-Fernández y García-Piqueres, 2018; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022).

Estas son algunas de las preguntas más frecuentes en estudios de innovación que indagan sobre efectos complementarios (sustitutos) de diferentes eventos sobre el proceso innovador de la organización, en general la empresa. En la literatura sobre el tema se observa cómo, a lo largo del tiempo, las y los investigadores se han preocupado por responder preguntas teóricas fundamentales, a la vez que por mejorar los métodos y técnicas de análisis para estimar efectos complementarios (sustitutivos) más allá de la posible coocurrencia de esos eventos.

Todos los antecedentes coinciden en que los resultados en este tema son fuertemente dependientes del contexto y las características de la organización. Por lo cual parece claro que es necesario incrementar la masa crítica en el tema, con particular énfasis en países en desarrollo. Los trabajos disponibles sobre países de América Latina, que emplean diferentes métodos para responder preguntas específicas sobre complementariedad y sustitución, coinciden en corroborar el carácter idiosincrático de este fenómeno, y cómo este se ve afectado por el contexto y por el tipo de agentes participantes (Motta *et al.*, 2013; Resende, Strube y Zeidan, 2014; González-Blanco, Vila-Alonso y Guisado-González, 2019; Vidal-Jaureguy, 2019; Álvarez, Morero y Ortiz, 2021; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022; Vidal-Jaureguy, Bianchi y Blanchard, 2023).

Por otra parte, para aplicar este tipo de metodología se requiere la comprensión de los fundamentos formales que la respaldan y formas creativas de aplicación para el análisis, considerando las restricciones que imponen diferentes bases de datos disponibles.

El objetivo de este capítulo es contribuir a difundir herramientas para el análisis empírico de algunos bloques fundamentales de la economía de la innovación, mediante el análisis y discusión de técnicas para identificar y estimar efectos de complementariedad y sustitución de determinados eventos sobre el comportamiento innovador de las empresas.

Para alcanzar ese objetivo, en el segundo apartado se presenta una revisión del estado del arte en la materia, con particular énfasis en los antecedentes que existen para América Latina. Luego se desarrolla la estrategia empírica de estimación, presentando algunos ejemplos, sus fundamentos lógico-matemáticos y las rutinas de programación para los softwares Stata y R, que se han desarrollado para el análisis

de datos de encuestas de innovación (Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022; Vidal-Jaureguy, Bianchi y Blanchard, 2023). Más adelante, se muestra la aplicación de esta técnica para el análisis de efectos de complementariedad y sustitución entre fuentes de información y conocimiento externas a la empresa, sobre el desempeño innovador de la misma. Finalmente, se discute los limitantes de esta metodología y sus potenciales aplicaciones para analizar temas de innovación en América Latina.

Estado del arte

El interés por identificar y analizar efectos complementarios (sustitutos) sobre el comportamiento innovador de los agentes es un tema recurrente en la literatura sobre innovación. Como fue dicho antes, la pregunta básica detrás de esa línea de investigación es: ¿hasta qué punto la diversificación simultánea de eventos genera efectos diferentes a la suma de las partes, de retroalimentación (complementariedad) o de sustitución entre uno u otro?

A partir de la evidencia empírica sobre el comportamiento innovador de los agentes, se ha expandido el consenso respecto a que la mayoría de los eventos que se observan (obstáculos, fuentes de conocimiento, formas de acceso al conocimiento, políticas, tipos de innovación) suelen tener un efecto no lineal sobre el desempeño de las organizaciones (Arvanitis *et al.*, 2015; Arora, Athreye y Huang, 2016). Es decir que la suma de eventos no genera un efecto “cuanto más mejor (peor)”, sino que los efectos de eventos simultáneos dependerán del tipo de evento, las capacidades de la organización y las características del entorno. Así, los resultados empíricos suelen mostrar relaciones no lineales, en las que el efecto de complementariedad o sustitución se expresa como un *trade-off* que varía según la experiencia y evolución de la empresa (Vega-Jurado, Gutiérrez-Gracia y Fernández-de-Lucio, 2009; Haus-Reve, Fitjar y Rodríguez-Pose, 2019; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022). A nivel de empresa, la aplicación de análisis de complementariedad para estudios de innovación ganó relevancia a partir de la adaptación de la metodología elaborada por Milgrom y Roberts (1990), que se basa en estimar funciones de producción y testear si estas se ajustan a formas supermodulares (Topkis, 1978). De acuerdo con esta metodología, que la función muestre la propiedad matemática de ser supermodular

(submodular) es un indicador robusto de efectos complementarios (sustitutos) entre los eventos que se desea estudiar sobre la variable dependiente.

Siguiendo este enfoque, Mohnen y Röller (2005) identifican diferentes abordajes para el estudio de complementariedad. Esos autores señalan, en primer lugar, el abordaje de preferencias reveladas, que consiste en testear correlaciones condicionales usando los residuos de una regresión entre eventos de interés sobre el total de controles o características de interés de la firma. Este abordaje, propuesto por Arora y Gambardella (1990), tiene la ventaja de su simplicidad y puede ser estimado sin información sobre el desempeño de la empresa. Sin embargo, esta metodología no permite acceder a evidencia de complementariedad o sustitución propiamente dichas sino sobre la coocurrencia de dos eventos (Arora, 1996; Athey y Stern, 1998). Asimismo, esta metodología no permite estimar efectos de los eventos sobre el comportamiento innovador de la firma sino la relación entre esos eventos.

Por otra parte, se encuentra el denominado abordaje en forma reducida (*reduced form approach*) que se basa en restricciones excluyentes. Este abordaje es aplicable solamente cuando el objetivo es testear la complementariedad entre dos eventos (Holmstrom y Milgrom, 1994) y se recomienda su uso cuando no es posible estimar modelos de función de producción (Arora, 1996).

El tercer abordaje, que es el que se desarrolla en este trabajo, es el que estima directamente la función de producción (llamada aquí función de innovación), vinculando el desempeño de la empresa con la combinación de determinadas prácticas o eventos, tales como tipos de innovación (Ballot et al., 2015); obstáculos a la innovación (D'Este, Rentocchini y Vega-Jurado, 2014; Galia y Legros, 2004) o fuentes de información y conocimiento (Belderbós, Carree y Lokshin, 2006), entre otras.

Mohnen y Röller (2005) operacionalizan el abordaje de Milgrom y Roberts (1990) para analizar eventos, actividades y prácticas vinculadas al comportamiento innovador de las empresas. La metodología propuesta por esos autores permite testear formalmente si el efecto en el comportamiento innovador, derivado de la combinación de un conjunto de prácticas simultáneas, es mayor (o menor) que la suma de los resultados individuales de cada práctica.

Este abordaje tiene fortalezas y debilidades que se irán desarrollando en el correr del capítulo, presentándolas al tiempo que se hará una comparación con otras alternativas empleadas para estimar

complementariedad en el micronivel. Un primer comentario es que el abordaje de Mohnen y Röller (2005) y otros trabajos que se derivan de los aportes de Milgrom y Roberts (1990, 1995), utiliza un marco analítico de función de producción que requiere de fuertes supuestos sobre la racionalidad de los agentes y el nivel de incertidumbre en que estos operan. Existen diferentes posiciones respecto a emplear este tipo de herramientas en una perspectiva neoschumpeteriana, que sin duda son de recibo, pero que, dadas las características y extensión de este capítulo, no se desarrollan aquí. En línea con los artículos citados a lo largo del capítulo entendemos que esta metodología permite acercarse de manera coherente a la estimación de los efectos sistémicos. No obstante, sugerimos la revisión crítica de este tipo de herramientas (por ejemplo, en Malerba y Orsenigo, 2000; Nelson y Nelson, 2002; Foster, 2005).

En América Latina este método se ha empleado para estimar efectos complementarios de políticas de innovación en economías nacionales (Motta *et al.*, 2013; Resende, Strube y Zeidan, 2014) o sectores específicos (Morero, 2017) y, también, estudios sobre efectos complementarios de estrategias de innovación (Morero, Ortiz y Wyss, 2014), fuentes de información (González-Blanco, Vila-Alonso y Guisado-González, 2019; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022;) y de los obstáculos percibidos por las empresas para innovar (Vidal-Jaureguy, 2019; Bianchi, Blanchard y Vidal-Jaureguy, 2023) (cuadro 1).

Cuadro 1. Antecedentes de estudios empíricos sobre complementariedad/sustitución y comportamiento innovador para América Latina

Referencia	País (sector)	Variable de interés	Método	Variable dependiente	Resultados	
					Complementariedad	Sustitución
Borrastero et al. (2013)	Argentina (servicios)	Obstáculos a la innovación	Directo	Propensión innovadora (inputs)	Escasez fuerza de trabajo calificada – fallas de apropiabilidad	Escasez fuerza de trabajo calificada – escasa demanda
				Desempeño innovador (outcomes)	1) Obstáculos financieros – escasez fuerza de trabajo calificada 2) Escasez fuerza de trabajo calificada – fallas de apropiabilidad	-
Resende, Strube y Zeidan (2014)	Brasil (manufactura)	Obstáculos a la innovación	Directo	Propensión innovadora (inputs)	1) Escasez fuerza de trabajo calificada – acceso información 2) Obstáculos a cooperación – acceso información	Obstáculos financieros – escasez información
				Desempeño innovador (outcomes)	1) Obstáculos financieros – fuerza de trabajo calificada 2) Obstáculos financieros – acceso información 3) Escasez fuerza de trabajo calificada – acceso información 4) Obstáculos a cooperación – acceso información	
González-Blanco, Guisado-González y Vila-Alonso (2019)	Brasil (manufactura)	"Tecnologías locales incorporadas, extranjeras desincorporadas, capacidad de la productiva de la empresa"	Directo (condicional)	Productividad mano de obra	1) Tecnologías extranjeras y capacidad productiva, cuando haya tecnologías locales 2) Tecnologías extranjeras y capacidad productiva, cuando haya tecnologías locales	Tecnologías locales y extranjeras, cuando capacidad productiva ausente

Vidal Jaureguy (2019)	Uruguay (servicios y manufactura)	Obstáculos a la innovación	"Directo (condicional e incondicional), con controles de endogeneidad por VI"	Esfuerzo innovador (inputs) Desempeño innovador (outcomes)	Escasez fuerza de trabajo calificada – obstáculos a cooperación Escasez fuerza de trabajo calificada – obstáculos a cooperación	Escasez fuerza de trabajo calificada – obstáculos financieros 1) Escasez fuerza de trabajo calificada – obstáculos financieros 2) Obstáculos a cooperación – obstáculos financieros
Álvarez, Moreno y Ortiz (2021)	Argentina (automotor y siderúrgica)	Fuentes de información para innovar	Directo	Índice de innovación (latent) (actividades y resultados)	Fuentes internas y externas de conocimiento	Fuentes nacionales y extranjeras de conocimiento
Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard (2022)	Uruguay (servicios y manufactura)	Fuentes de conocimiento relacionales (cadena de valor y CyT), fuentes codificadas	Directo (condicional e incondicional)	Desempeño innovador	Fuentes relacionales CyT y codificadas en empresas exportadoras, si y solo si también están presentes fuentes de cadena de valor	Fuentes relacionales de clientes o proveedores (cadena de valor) y fuentes codificadas
Bianchi, Blanchard y Vidal Jaureguy (2023)	Uruguay (servicios y manufactura)	Obstáculos a la innovación	Directo (condicional e incondicional)	Esfuerzo innovador	Obstáculos conocimientos externos – Obstáculos conocimiento internos	1) Obstáculos financieros – Obstáculos conocimiento internos. 2) Obstáculos financieros – Obstáculos conocimiento externos

Fuente: elaboración propia

Estas investigaciones ratifican la principal conclusión de los trabajos empíricos para otras regiones: los resultados son altamente contingentes según las características de las firmas y el contexto. Asimismo, evidencian problemas específicos para la interpretación de resultados debido a la idiosincrasia del contexto, desde luego, pero también al tipo de datos y sus posibilidades de tratamiento.

Descripción del método y las herramientas para su aplicación

El método para analizar efectos de complementariedad que se discute y expone en este capítulo consiste en estimar directamente la función de innovación de la firma y testear si la función es supermodular o submodular, lo que nos permitirá concluir sobre si las acciones o eventos estudiados presentan complementariedad o sustitución sobre la variable de interés.

Datos

Como se puede apreciar en las referencias citadas y, específicamente, para los antecedentes sobre América Latina (cuadro 1), este tipo de metodología requiere información sobre la ocurrencia simultánea de eventos que sea teóricamente esperable que tengan efectos de complementariedad (sustitución) sobre alguna medida de comportamiento innovador. Eso hace que este tipo de estudios se basen principalmente en datos de encuestas de innovación (Resende, Strube y Zeidan, 2014; Vidal-Jaureguy, 2019; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022), encuestas sectoriales específicas aplicadas por los equipos de investigación (Motta *et al.*, 2013; Álvarez, Morero y Ortiz, 2021), o encuestas empresariales aplicadas por organismos internacionales (González-Blanco, Vila-Alonso, Guisado-González, 2019).

Ese tipo de encuestas emplean baterías de preguntas basadas o inspiradas en el *Manual de Oslo* (OCDE, 2018) que permiten recoger opciones dicotómicas de uso o no uso de determinadas fuentes de información, el desarrollo de ciertas actividades de innovación, o la percepción de determinados obstáculos para innovar, entre otros aspectos relevados.

Por esta razón, este tipo de estrategia empírica está íntimamente ligado al desarrollo de las encuestas de innovación y su forma de relevamiento (Mohnen y Röller, 2005; D'Este, Rentocchini y Vega-Jurado, 2014;

Pellegrino y Savona, 2017). Más allá de los problemas ya conocidos de las encuestas de innovación, y en particular de las variables de percepción que estas relevan (Mairesse y Mohnen, 2010), ese tipo de datos tiene múltiples ventajas, entre las que se destaca que se trabaja con información directa de la percepción de los agentes, relevada de manera uniforme y sistemática. Además, el uso de esas fuentes ha permitido nuevos aprendizajes, referidos al relevamiento de variables de percepción que tienen una relación no lineal respecto al desempeño de la empresa, así como también a los múltiples desafíos econométricos que este tipo de datos presenta (D'Este, Rentocchini y Vega-Jurado, 2014; Pellegrino y Savona, 2017).

Uno de los principales problemas que aparece de manera reiterada en la literatura (Mohnen y Röller, 2005) refiere a la dificultad de construir paneles largos, que permitan controlar sesgos de endogeneidad debido a variables poco identificadas y/o causalidad reversa. Hasta donde se conoce, los únicos trabajos que avanzan en ese sentido son los de Vidal-Jaureguy (2019) y Vidal-Jaureguy, Bianchi y Blanchard (2023) que aplican variables instrumentales en las estimaciones, obteniendo resultados consistentes.

Vale notar que las encuestas de innovación realizadas en América Latina en las últimas décadas permiten, siempre que se acceda a los microdatos, la construcción de paneles por empresas. De manera que futuras investigaciones sobre el tema podrán profundizar en estrategias para controlar los sesgos de endogeneidad en las estimaciones. Si bien los microdatos de las encuestas de innovación no son de acceso libre en todos los países de la región, su uso está ampliamente extendido en varios países.

Estrategia empírica y econométrica

La implementación del método no presenta mayores desafíos cuando se trata de testear la complementariedad entre dos prácticas (por ejemplo, Cassiman y Veugelers, 2006; Grimpe y Sofka, 2016). Por su parte, uno de los desafíos recurrentes en la literatura empírica refiere a cómo implementar los test de complementariedad entre más de dos prácticas o eventos. En este trabajo se discuten y exponen dos abordajes para analizar efectos de complementariedad cuando se estudian más de dos prácticas o eventos. Para todos los casos se toma como ejemplo la estimación de efectos, de complementariedad y sustitución, sobre el desempeño innovador, a los que se llegó a partir de la consulta de tres fuentes externas de información y conocimiento (FIC).

El primer abordaje consiste en una adaptación de la metodología de Mohnen y Röller (2005) para el estudio de complementariedad entre obstáculos de innovación, mientras que el segundo consiste en la adaptación del abordaje que elaboraron Ballot *et al.* (2015) para el estudio de complementariedad entre tipos de innovación.

Mohen y Röller (2005) asumen que el desempeño innovador de la empresa j , está determinado por la función $f: f(S_j, Z)$, en la que Z es un conjunto de variables de control y S_j es un elemento de un conjunto de eventos teóricamente relevantes (en nuestro ejemplo, FIC) $S(S_j \in S)$ en la que $j = 1, \dots, n$. Los elementos en S son del tipo (000), (001)... (111), indicando en el primer caso que no usan FIC externas y en el tercero que usan tres simultáneamente.

De tal manera que la función f es supermodular si y solo si:

$$f(s'_j, Z_{ij}) + f(s''_j, Z_{ij}) \leq f(s'_j \vee s''_j, Z_{ij}) + f(s'_j \wedge s''_j, Z_{ij}) \quad (1)$$

En la que \vee indica el mínimo para cada componente entre S'_j y S''_j mientras que \wedge indica el máximo para cada componente.

A modo de ejemplo, supongamos que estamos interesados en conocer si realizar I+D interna y contratar I+D externa muestra efectos complementarios o sustitutos sobre el desempeño de la empresa (se presenta primero un ejemplo con dos acciones con fines ilustrativos). Nuestro conjunto S consistirá en un conjunto de cuatro elementos $S = \{(1,1), (0,1), (1,0), (0,0)\}$. La función es supermodular si se cumple que $f(1,0) + f(0,1) \leq f(1,1) + f(0,0)$. Si reordenamos esa inecuación, logramos una expresión más intuitiva:

$$f(1,0) - f(0,0) \leq f(1,1) - f(0,1)$$

Que implica que, si la función f es supermodular, el retorno de adoptar una nueva estrategia (por ejemplo, hacer I+D interna) es mayor cuando la empresa realiza también otra actividad (por ejemplo, I+D externa) que respecto a cuando la empresa no realiza la segunda actividad.

De acuerdo con este abordaje, cuando se trabaja con más de dos eventos, es suficiente chequear los pares de componentes. Eso resulta del hecho de que una función es supermodular bajo un subconjunto de estos argumentos, si y solamente si todos los pares de componentes en el subconjunto satisfacen las inecuaciones expresadas más arriba.

Eso implica que para testear la complementariedad en un caso con tres eventos se requiere testear simultáneamente dos inequidades y mantener el tercer evento constante. Para testear la complementariedad de dos fuentes, la expresión formal es:

$$f(10X, Z_{ij}) + f(01X, Z_{ij}) \leq f(00X, Z_{ij}) + f(11X, Z_{ij})$$

En la que $X = \{0,1\}$. Eso implica que, para testear cada par de eventos, necesitamos testear simultáneamente dos inequidades (una para cada valor de X).

En nuestro ejemplo, estimamos el modelo para testear efectos complementarios de tres tipos de fuentes de información sobre el desempeño innovador de las empresas. Las variables independientes son *dummies* para cada combinación posible de fuentes (ocho combinaciones en nuestro caso) de las tres FIC consideradas (s_j).

Kodde y Palm (1986) desarrollaron un test estadístico que permite chequear tales inecuaciones sobre la base de coeficientes de regresión, siguiendo los siguientes pasos. Se estima la función de innovación mediante una regresión con las combinaciones de eventos contra la variable de resultado de interés (incluyendo los controles que se consideren apropiados).

Siendo γ_j el coeficiente de regresión para cada s_j , el test de supermodularidad puede ser realizado mediante la comparación de tales coeficientes, reemplazando $f(S'_j, Z_{ij})$ por γ'_j (2).

$$\gamma_j^{10X} + \gamma_j^{01X} \leq \gamma_j^{00X} + \gamma_j^{11X}, X = \{0, 1\} \quad (2)$$

La hipótesis a testear se puede expresar como $H_0 = S\gamma \leq 0$ respecto a $H_1 = S\gamma > 0$. El test estadístico se expresa como (3):

$$W = [S(\gamma - \bar{\gamma})]' (S\Omega S')^{-1} S(\gamma - \bar{\gamma}) \quad (3)$$

En el que γ' es un vector de estimadores consistentes de γ , de 8×1 y Ω es la matriz de covarianzas estimada. $\bar{\gamma}$ es un vector de estimadores que minimiza W dada la hipótesis nula.

Kodde y Palm (1986) muestran que estos estadísticos siguen un mix de distribuciones chi-cuadrado y proveen los valores críticos relevantes para los valores de significación utilizados habitualmente. De esta manera es posible chequear las inecuaciones propuestas.

La principal dificultad para construir W es la estimación de γ , por eso, en este trabajo se presentan los *script* elaborados en Software R con los métodos numéricos para minimizar W (ver el anexo).

Para concluir si existe complementariedad o sustitución, es necesario realizar los test de supermodularidad y submodularidad por separado y luego interpretarlos en conjunto (cuadro 2). Para un caso con tres eventos se define complementariedad como la presencia de supermodularidad (Topkis, 1978) con al menos una de las inecuaciones siendo estrictamente positiva.

Así, cuando se acepta la hipótesis de supermodularidad y submodularidad simultáneamente (lo que solo puede ocurrir si $(f(100, Z_{ij}) + f(010, Z_{ij}) = f(000, Z_{ij}) + f(110, Z_{ij})$ y $f(101, Z_{ij}) + f(011, Z_{ij}) = f(001, Z_{ij}) + f(111, Z_{ij}))$, no se encuentra evidencia de complementariedad ni de sustitución.

Es importante señalar que Mohnen y Röller (2005) definen complementariedad como la presencia de supermodularidad estricta (Topkis, 1978), es decir, con ambas inecuaciones siendo estrictamente positivas.

La principal desventaja del abordaje de Mohnen y Röller (2005) es que los valores críticos (Kodde y Palm, 1986) presentan áreas muy amplias en las que los resultados no son concluyentes. Ballot *et al.* (2015) proponen una alternativa para superar ese problema, denominada test de complementariedad condicional, que es definida como la complementariedad entre dos acciones o eventos (FIC) condicional a la presencia o ausencia de una tercera acción o evento (FIC).

Este test considera una función objetivo $f: f(S, Z)$, como en Mohnen y Röller (2005), pero enfocada en dos tipos de acciones al mismo tiempo, a la vez que incluye o excluye la acción restante. De esa manera, para testear la complementariedad entre dos acciones, por ejemplo 1 y 2, se requiere testear separadamente (notar la diferencia con Mohnen y Röller (2005) que se debían testear simultáneamente ambas inecuaciones), cada una condicional a la ausencia o presencia de la tercera acción (4), lo que en la práctica implica dividir la muestra según la presencia o ausencia de esta tercera variable.

$$f(100, Z_{ij}) + f(010, Z_{ij}) < f(000, Z_{ij}) + f(110, Z_{ij}) \quad (4)$$

$$f(101, Z_{ij}) + f(011, Z_{ij}) < f(001, Z_{ij}) + f(111, Z_{ij})$$

Por otra parte, además de superar el problema del área de no conclusión, este abordaje permite enriquecer la interpretación del fenómeno a analizar, considerando la presencia o ausencia de un tercer evento relevante.

Cuadro 2. Test de supermodularidad: criterio de interpretación

	Test de supermodularidad	Test de submodularidad	Interpretación
Caso 1	H0 aceptada	H0 rechazada	Complementariedad
Caso 2	H0 rechazada	H0 aceptada	Sustitución
Caso 3	H0 aceptada	Duda	Complementariedad débil
Caso 4	Duda	H0 aceptada	Sustitución débil
Caso 5	H0 aceptada	H0 aceptada	Rechazada
Caso 6	H0 rechazada	H0 rechazada	Rechazada
Caso 7	Duda	Duda	No concluyente

Fuente: adaptación de Ballot *et al.* (2015)

Como fue mencionado antes, se considera que estos abordajes captan de manera adecuada el efecto complementario, como *proxy* del efecto sistémico.¹ En el apartado siguiente se expone la aplicación y adaptación de los abordajes de Mohnen y Röller (2005) y de Ballot *et al.* (2015) para analizar efectos de complementariedad entre tres fuentes externas de información y conocimiento (FIC) sobre el desempeño innovador de la empresa. Para eso se empleó un panel no balanceado de tres olas de la Encuesta de Actividades de Innovación de Uruguay (2006-2012).

Aplicación del método directo de estimación

Test de Mohnen y Röller (2005)

En la presente sección se muestra la aplicación del método a un caso concreto, tomando como base el problema estudiado por Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard (2022). Se analiza la posible complementariedad o sustitución entre tres tipos de fuentes de información y conocimiento

¹Vale notar que, en publicaciones recientes, se refiere a esta misma literatura metodológica, pero no se cumple satisfactoriamente con los requisitos de cálculo (Fitjar, Haus-Reve y Rodríguez-Pose, 2019). Entendemos que la metodología propuesta por esos autores realiza solo parcialmente el test de complementariedad entre dos eventos, ya que en vez de estimar: $(1,1) + (0,0) > (0,1) + (1,0)$, se concentra en estimar: $(1,1) > (0,0)$.

externas a la empresa sobre el desempeño innovador de esta, buscando aportar a la literatura que relaciona las estrategias de búsqueda de conocimiento de las empresas con su desempeño innovador. Los tres tipos de fuentes que se utilizan son: fuentes codificadas, en forma de publicaciones, ferias o bases de datos; otras empresas, específicamente clientes o proveedores y, en tercer lugar, universidades e institutos de investigación, empleando variables binarias para cada fuente (cuadro 3). El desempeño innovador se mide como el porcentaje de ventas innovadoras sobre las ventas totales.

A los efectos de exponer el método se define una función de innovación simplificada en la que el desempeño innovador es explicado por la estrategia de búsqueda de información externa que sigue la empresa. El primer paso consiste en construir las ocho combinaciones que se derivan de las tres fuentes, que van desde no utilizar ninguna hasta utilizar las tres (cuadro 4).

Cuadro 3. Uso de fuentes

	Frecuencia	Porcentaje
Codificadas (1)	1774	80,78
Empresas (2)	1442	65,66
Centros de investigación (3)	647	29,46

Fuente: elaboración propia

Cuadro 4. Combinaciones de fuentes

Combinaciones de fuentes	Frecuencia	Porcentaje
Todas	450	20,49
"Codificadas y centros de investigación"	62	2,82
Empresas y centros de investigación	96	4,37
Codificadas y empresas	799	36,38
Centros de investigación	39	1,78
Empresas	429	19,54
Codificadas	131	5,97
Ninguna	190	8,65
Total	2196	100

Fuente: elaboración propia

Según la función de innovación, se corre una regresión y se aplica un test utilizando los coeficientes y matriz de varianzas y covarianzas de esa regresión. Para realizar el test, se requieren los coeficientes asociados a las ocho combinaciones de FIC, por lo que se corre un modelo sin constante y sin omitir ninguna de las combinaciones. Con fines ilustrativos, se utiliza un modelo de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) sin controles adicionales.

Esta especificación no toma en consideración problemas de sesgo de selección, endogeneidad o truncamiento, que escapan al objetivo de este capítulo. A modo de ejemplo, en este caso la variable dependiente es solamente observada para firmas que realizan actividades de innovación, por lo que se requiere una estrategia econométrica para lidiar con problemas de censura (Vidal-Jaureguy, 2019; Bello-Pintado, Bianchi y Blanchard, 2022; Vidal-Jaureguy, Bianchi y Blanchard, 2023). Es necesario tener en cuenta que, si la especificación utilizada presenta alguno de estos problemas, los resultados del test presentarán sesgos. La especificación econométrica del modelo debe permitir obtener estimaciones consistentes de los γ .

Para el test de Mohnen y Röller (2005) se utiliza el software R:²

```
modelo_mco <- lm(porc_vtas ~ estrat1 + estrat2 + estrat3 + estrat4
+ estrat5 + estrat6 + estrat7 + estrat8 - 1, data = datos)
```

Es relevante tener en cuenta que, en esta especificación, sin constante y con las ocho estrategias, los coeficientes del modelo por sí mismos no resultan de interés, ni se pueden extraer conclusiones analizándolos individualmente (Mohnen y Röller, 2005).

Se utiliza el test de Wald, propuesto por Kodde y Palm (1986), para testear múltiples restricciones simultáneas. El *script* “Función para test de super y submodularidad” (ver el anexo) crea la función “kyp.test” que puede ser utilizada para aplicar el test a un caso con tres acciones o eventos, en este caso con tres FIC.³

² Los nombres de funciones o argumentos de las mismas se escriben con *cursiva*. “modelo_mco” es el objeto a ser creado con los resultados de la estimación. *lm* es la función de R para estimar modelos por MCO. “porc_vtas” es la variable dependiente, las ocho *estratesat* son las *dummies* con estrategias y -1 se utiliza para excluir la constante. Por su parte, *datos* es el nombre del objeto que contiene las variables a utilizar.

³ El *script* puede ser adaptado a casos de cuatro o más fuentes.

La función utiliza como primer argumento el objeto que contiene los resultados de una regresión (tomando de ahí los coeficientes asociados a las combinaciones de acciones y la matriz de varianzas y covarianzas), y como segundo argumento el par de fuentes sobre el que se quiere realizar el test de supermodularidad y de submodularidad, pudiendo ser doce (en nuestro caso codificadas y empresariales), trece (en nuestro caso codificadas y centros de investigación) o veintitrés (en nuestro caso empresariales y centros de investigación). El tercer argumento toma por defecto el valor “estrat” y debe coincidir con la parte del nombre que tengan en común las variables asociadas a las combinaciones de fuentes que se utilizan en la regresión.

A modo de ejemplo, para testear supermodularidad y submodularidad entre fuentes codificadas (1) y empresariales (2):

```
test_cod_emp < -kyp.test(modelo_mco,12)
```

Que arroja el valor del estadístico *W* en el mínimo:

[1] Supermodularidad	Submodularidad
1.378407	0.0000000000008

Utilizando las tablas de Kodde y Palm (1986), podemos ver que a una significación del 10% la banda inferior es de 1.624 (la hipótesis nula se acepta para valores inferiores) y la banda superior es de 3.808 (la hipótesis nula se rechaza para valores superiores), existiendo entre medio una región de indeterminación. Por lo tanto, para este caso particular se aceptan tanto la hipótesis nula de supermodularidad como la de submodularidad, es decir que las siguientes desigualdades se cumplen simultáneamente:

$$H_0\{f(100,Z_{ij})+f(010,Z_{ij}) \leq f(000,Z_{ij})+f(110,Z_{ij}) \quad f(101,Z_{ij})+f(011,Z_{ij}) \leq f(001,Z_{ij})+f(111,Z_{ij})$$

$$H_0\{f(100,Z_{ij})+f(010,Z_{ij}) \geq f(000,Z_{ij})+f(110,Z_{ij}) \quad f(101,Z_{ij})+f(011,Z_{ij}) \geq f(001,Z_{ij})+f(111,Z_{ij})$$

y por lo tanto se da que:

$$H_0\{f(100,Z_{ij})+f(010,Z_{ij}) = f(000,Z_{ij})+f(110,Z_{ij}) \quad f(101,Z_{ij})+f(011,Z_{ij}) = f(001,Z_{ij})+f(111,Z_{ij})$$

De acuerdo con los criterios de interpretación presentados en el cuadro 2, cuando hay evidencia de supermodularidad y submodularidad simultáneamente, se rechaza tanto la hipótesis de complementariedad como de sustitución.

A continuación, se presenta el ejemplo para testear las fuentes 2 y 3:

```
test_emp_cyt <-kyp.test(modelo_mco,23)
      Supermodularidad          Submodularidad
[1] 4.268134                    0.000000000003
```

En este caso se rechaza la hipótesis de supermodularidad y se acepta la hipótesis de submodularidad. Por lo tanto, siguiendo el criterio del cuadro 1, hay evidencia de sustitución entre las fuentes empresariales (2) y centros de investigación (3). En este caso se rechaza que:

$$H_0\{f(001,Z_{ij})+f(010,Z_{ij}) \leq f(011,Z_{ij})+f(000,Z_{ij}) \quad f(101,Z_{ij})+f(110,Z_{ij}) \leq f(111,Z_{ij})+f(100,Z_{ij}) \} \quad (5)$$

Y se acepta que:

$$H_0\{f(001,Z_{ij})+f(010,Z_{ij}) \geq f(011,Z_{ij})+f(000,Z_{ij}) \quad f(101,Z_{ij})+f(110,Z_{ij}) \geq f(111,Z_{ij})+f(100,Z_{ij}) \} \quad (6)$$

Por lo que hay evidencia de que las dos desigualdades de (6) se cumplen de forma simultánea y de que alguna de las dos se cumple como mayor estricto (lo que se deriva de rechazar (5)).

Test propuesto en Ballot et al. (2015)

Continuando con el ejemplo anterior, la idea propuesta en Ballot *et al.* (2015) consiste en realizar dos test para cada par de fuentes: uno condicional a la presencia de la tercera fuente y uno condicional a la ausencia de la tercera fuente.

Si se quiere testear la presencia de complementariedad o sustitución entre fuentes empresariales y centros de investigación, se corre una primera regresión utilizando como variables explicativas las cuatro combinaciones que surgen de utilizar fuentes empresariales y centros de

investigación, restringiendo la muestra a las empresas que no utilizan fuentes codificadas:

```
reg porc_vtas est1 est2 est3 est4 if fcod==0, nocons
```

Al igual que en el test de Mohnen y Röller (2005), la regresión se realiza utilizando las cuatro combinaciones de fuentes y excluyendo la constante.

Luego se realiza un test de supermodularidad y uno de submodularidad, pero aplicado a un caso con dos fuentes (que por lo tanto puede ser realizado con un test a una cola en Stata):

```
cap test _b[est4] + _b[est1] = _b[est2] + _b[est3]
local sign_estr = sign(_b[est4] + _b[est1] - _b[est2] - _b[est3])
display "Ho: coef <= 0 p-value = " ttail(r(df_r), `sign_estr'*sqrt(r(F)))
Ho: coef <= 0 p-value = .77152605
display "Ho: coef >= 0 p-value = " 1-ttail(r(df_r), `sign_estr'*sqrt(r(F)))
Ho: coef >= 0 p-value = .22847395
```

En la tercera línea se realiza el test de supermodularidad, cuya hipótesis nula es:

$$f(100, Z_{ij}) + f(010, Z_{ij}) - f(000, Z_{ij}) - f(110, Z_{ij}) < 0$$

En la cuarta línea se realiza el test de submodularidad, cuya hipótesis nula es:

$$f(100, Z_{ij}) + f(010, Z_{ij}) - f(000, Z_{ij}) - f(110, Z_{ij}) > 0$$

En este caso, se rechaza tanto la hipótesis de supermodularidad como de submodularidad y por lo tanto no hay evidencia de complementariedad ni de sustitución entre fuentes empresariales y centros de investigación entre las firmas que no utilizan fuentes codificadas.

El segundo paso consiste en correr la misma regresión, pero restringiendo la muestra a las empresas que declaran utilizar fuentes codificadas:

```

reg porc_vtas est1 est2 est3 est4 if fcod==1, nocons
cap test _b[est4] + _b[est1] = _b[est2] + _b[est3]
local sign_estr = sign(_b[est4] + _b[est1] - _b[est2] - _b[est3])
display "Ho: coef <= 0 p-value = " ttail(r(df_r), `sign_estr'*sqrt(r(F)))
Ho: coef <= 0 p-value = .94072162
display "Ho: coef >= 0 p-value = " 1-ttail(r(df_r), `sign_estr'*sqrt(r(F)))
Ho: coef >= 0 p-value = .05927838

```

En este caso, se rechaza la hipótesis de supermodularidad, pero se acepta la hipótesis de submodularidad, por lo que hay evidencia de sustitución entre fuentes empresariales y centros de investigación para el caso de las empresas que utilizan fuentes codificadas.

Si analizamos en conjunto los resultados de ambos métodos, vemos que para fuentes empresariales y centros de investigación el método de Mohnen y Röller (2005) arroja evidencia de sustitución. Por su parte, el método de Ballot *et al.* (2015) arroja resultados consistentes y, además, agrega información: la sustitución entre fuentes empresariales y centros de investigación se da solamente para empresas que también usan fuentes codificadas.

Una vez presentados los pasos y procedimientos a seguir, en el diagrama 1 se sintetizan los aspectos fundamentales para la aplicación de esta técnica de análisis.

Diagrama 1. Etapas del análisis de efectos de complementariedad y sustitución sobre comportamiento innovador

1. Identificar una pregunta de investigación en la que indagar sobre efectos de complementariedad y sustitución por la acción o presencia de eventos simultáneos que sea teóricamente relevante y empíricamente no trivial.

Ejemplos: innovación de producto, proceso y organizacional; obstáculos financieros, de capacidades internas y externas para innovar, fuentes externas publicadas, empresariales y basadas en ciencia.

2. Disponer de información empírica que permita diferenciar taxativamente la presencia/ausencia de acciones y eventos y clasificar (codificar esos eventos).

3. Estimar los coeficientes asociados a cada combinación posible de eventos (sin incluir la constante en la regresión).

- Complementariedad (sustitución) incondicional
- Testear pares de inecuaciones simultáneamente y se analizan conjuntamente

- Complementariedad (sustitución) condicional
- Testear pares de ecuaciones por separado

Fuente: elaboración propia

Consideraciones sobre la interpretación de los resultados

Los procedimientos desarrollados más arriba buscan contribuir a la realización de investigación empírica sobre efectos de complementariedad y sustitución en el comportamiento innovador de organizaciones. Vale notar que, si bien hasta donde se conoce, se ha aplicado solamente

a empresas, este tipo de análisis es potencialmente aplicable para analizar los efectos del comportamiento de diversos agentes en el proceso de innovación. En ese sentido, esta metodología podría contribuir a profundizar en preguntas clásicas de los estudios latinoamericanos sobre innovación y desarrollo.

Por ejemplo, esta metodología podría contribuir a profundizar el estudio del comportamiento de grupos de investigación. Siguiendo los resultados presentados por investigadoras de la región (Barletta *et al.*, 2017), este método podría aplicarse para analizar si agendas de investigación más diversificadas (por ejemplo, orientadas a resolver problemas locales y responder preguntas generales simultáneamente) tienen efectos de sustitución o complementariedad en la producción académica de los grupos de investigación. Asimismo, se podría aplicar a los efectos reiterados de apoyos públicos a la innovación (Pereira y Suárez, 2018; Fiorentin, Pereira y Suárez, 2019; Berrutti y Bianchi, 2020).

Por otra parte, este tipo de metodología puede aportar a la comprensión de los efectos de la (des)articulación de mixes de políticas, principalmente en los países grandes, con múltiples niveles de diseño e implementación de políticas y con múltiples agentes regidos por lógicas de mercado, académicas y otras (Dutrénit, De Fuentes y Torres, 2010; Cassiolatto y Lastres, 2020).

No obstante, este tipo de metodologías presenta algunas dificultades que ameritan una breve mención. Como se mencionó antes, un problema pendiente de ser estudiado en mayor profundidad para el contexto latinoamericano es la dinámica de los efectos de complementariedad (Love, Roper y Vahter, 2014; Hewitt-Dundas, 2006). El enfoque estático para analizar estos fenómenos está sujeto a críticas, ya que es posible que los efectos beneficiosos (o perjudiciales para el estudio de obstáculos) de la complementariedad sobre las variables de desempeño de las empresas tomen tiempo para ser observables; o que impliquen costos en el corto plazo para las empresas y solamente den sus frutos en el mediano plazo. El uso de encuestas de innovación, en la medida en que no siempre permiten realizar un seguimiento en el tiempo de empresas individuales, dificulta este tipo de análisis de efectos dinámicos, por lo que este es uno de los asuntos pendientes de esta literatura para nuestra región.

Otro problema que aparece casi sin excepción en los trabajos que emplean esta metodología es la dificultad para extraer conclusiones taxativas. En este tipo de trabajos es poco probable que se pueda interpretar un efecto claro y consistente, asociado a la significación de un coeficiente

en una prueba de hipótesis. Por el contrario, el análisis suele limitarse a la identificación de efectos de complementariedad o sustitución, para luego avanzar en la identificación de las situaciones, o características específicas en las que se observan esos resultados.

En suma, este capítulo aporta una revisión actualizada y una aplicación detallada de un método de estimación de relaciones de complementariedad y sustitución, que puede contribuir a revisar viejas preguntas en busca de nuevas evidencias. Como con cualquier método de investigación, la cautela y parsimonia son aconsejables.

Bibliografía

- Álvarez, I. Morero, H. y Ortiz, P. (2021). “Complementarities between knowledge sources for innovation: an analysis of production networks in Argentina”. *Innovation and Development*, vol.11, n° 1, pp. 25-47.
- Arora, A. (1996). “Testing for complementarities in reduced-form regressions: A note”. *Economics Letters*, vol. 50, n°1, pp. 51-55.
- Arora, A. y Gambardella, A. (1990). “Complementarity and external linkages: the strategies of the large firms in biotechnology”. *The Journal of Industrial Economics*, vol. 38, n° 4, pp. 361-379.
- Arora, A., Athreye, S. y Huang, C. (2016). “The paradox of openness revisited: collaborative innovation and patenting by UK innovators”. *Research Policy*, vol. 45, n° 7, pp. 1352-1361.
- Arvanitis, S., Lokshin, B., Mohnen, P. y Wörter, M. (2015). “Impact of external knowledge acquisition strategies on innovation: A comparative study based on Dutch and Swiss panel data”. *Review of Industrial Organization*, vol. 46, n° 4, pp. 359-382.
- Athey, S. y Stern, S. (1998). “An empirical framework for testing theories about complementarity in organizational design”. *National Bureau of Economic Research (NBER) Working Paper 6600*. DOI: 10.3386/w6600.
- Ballot, G., Fakhfakh, F., Galia, F. y Salter, A. (2015). “The fateful triangle: Complementarities in performance between product, process and organizational innovation in France and the UK”. *Research Policy*, vol. 44, n° 1, pp. 217-232.

- Barletta, F.; Yoguel, G.; Pereira, M. y Rodríguez, S. (2017). “Exploring scientific productivity and transfer activities: Evidence from Argentinean ICT research groups”. *Research Policy*, vol. 46, n° 8, pp. 1361-1369.
- Belderbos, R., Carree, M. y Lokshin, B. (2006). “Complementarity in R&D Cooperation Strategies”. *Review of Industrial Organization*, n° 28, pp. 401-426.
- Bello-Pintado, A., Bianchi, C. y Blanchard, P. (2022). “Trade-offs between external knowledge sources for firm innovation in a developing country”. *Industrial and Corporate Change*, vol. 31, n° 5, pp. 1307-1327. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtac020>.
- Berrutti, F. y Bianchi, C. (2020). “Effects of public funding on firm innovation: transforming or reinforcing a weak innovation pattern?”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, n° 5, pp. 522-539.
- Cassiman, B. y Veugelers, R. (2006). “In Search of Complementarity in Innovation Strategy: Internal R&D and External Knowledge Acquisition”. *Management Science*, vol. 52, n° 1, pp. 68-82.
- Cassiolato, J. E. y Lastres, H. (2020). “The framework of ‘local productive and innovation systems’ and its influence on STI policy in Brazil”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, n° 7, pp. 784-798.
- D’Este, P., Rentocchini, F. y Vega-Jurado, J. (2014). “The Role of Human Capital in Lowering the Barriers to Engaging in Innovation: Evidence from the Spanish Innovation Survey”. *Industry and Innovation*, vol. 21, n° 1, pp. 1-19.
- Denicolai, S., Ramirez, M. y Tidd, J. (2016). “Overcoming the false dichotomy between internal R&D and external knowledge acquisition: Absorptive capacity dynamics over time”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 104, pp. 57-65.
- Dosi, G. (1988). “The nature of innovative processes”. En Dosi, G., Freeman, C., Nelson, R., Silverberg, G. y Soete L. (eds.), *Technical Change and Economic Theory*. Londres/Nueva York: Pinter.
- Dosi, G. y Egidi, M. (1991). “Substantive and procedural uncertainty”. *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 1, n° 2, pp. 145-168.

- Dutrénit, G.; De Fuentes, C. y Torres, A. (2010). "Channels of interaction between public research organisations and industry and their benefits: evidence from Mexico". *Science and Public Policy*, vol. 37, n° 7, pp. 513-526.
- Fagerberg, J. y Srholec, M. (2017). "Capabilities, economic development, sustainability". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 41, n° 3, pp. 905-926.
- Fiorentin, F., Pereira, M. y Suárez, D. (2019). "As times goes by. A dynamic impact assessment of the innovation policy and the Matthew effect on Argentinean firms". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 28, n° 7, pp. 657-673.
- Foster, J. (2005). "From simplistic to complex systems in economics". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 29, n° 6, pp. 873-892.
- Frederiksen, L. y Lindbjerg, L. (2019). "Are Innovation Barriers Really Hampering Innovation?: The Ability to Recognize Barriers as a Driver of Survival for Innovative Firms". Presentado en la *DRUID Academy Conference 2019*, 16-18 de junio. Aalborg, Dinamarca. Disponible en: <https://research.cbs.dk/en/publications/are-innovation-barriers-really-hampering-innovation-the-ability-t>.
- Galia, F. y Legros, D. (2004). "Complementarities between obstacles to innovation: evidence from France". *Research Policy*, vol. 33, n° 8, pp. 1185-1199.
- González-Blanco, J.; Vila-Alonso, M. y Guisado-González, M. (2019). "Exploring the complementarity between foreign technology, embedded technology and increase of productive capacity". *Technological and Economic Development of Economy*, vol. 25, n° 1, pp. 39-58.
- Grimpe, C. y Sofka, W. (2016). "Complementarities in the search for innovation. Managing markets and relationships". *Research Policy*, vol. 45, n° 10, pp. 2036-2053.
- Guisado-González, M.; Wright, L. y Guisado-Tato, M. (2017). "Product-process matrix and complementarity approach". *The Journal of Technology Transfer*, vol. 42, n° 3, pp. 441-459.
- Haus-Reve, S.; Fitjar, R. y Rodríguez-Pose, A. (2019). "Does combining different types of collaboration always benefit firms? Collabo-

- ration, complementarity and product innovation in Norway”. *Research Policy*, vol. 48, n° 6, pp. 1476-1486.
- Hewitt-Dundas, N. (2006). Resource and capability constraints to innovation in small and large plants”. *Small Business Economics*, vol. 26, n° 3, pp. 257-277.
- Holmstrom, B. y Milgrom, P. (1994). “The firm as an incentive system”. *The American Economic Review*, vol. 84, n° 4, pp. 972-991.
- Johansson, B. y Lööf, H. (2014). “Innovation strategies combining internal and external knowledge”. En Antonelli, C. y Link, A. (eds.), *Routledge handbook of the economics of knowledge*, pp. 39-62. Londres: Routledge.
- Kodde, D. y Palm, F. (1986). “Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions”. *Econometrica*, vol. 54, n° 5, pp. 1243-1248.
- Love, J. H.; Roper, S. y Vahter, P. (2014). “Dynamic complementarities in innovation strategies”. *Research Policy*, vol. 43, n° 10, pp. 1774-1784.
- Lundvall, B.-Å. (1988). “Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation”. En Dosi, G.; Freeman, C.; Nelson, R.; Silverberg, G. y Soete, L. (eds.), *Technical change and economic theory*, pp. 349, 369. Londres: Pinter.
- Mairesse, J. y Mohnen, P. (2010). “Using innovation surveys for econometric analysis”. En Hall, B. y Rosenberg, N. (eds.), *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. 2, pp. 1129-1155. Países Bajos: North-Holland.
- Malerba, F. y Orsenigo, L. (2000), “Knowledge, innovative activities and industrial evolution”. *Industrial and Corporate Change*, vol. 9, n° 2, pp. 289-314.
- Milgrom, P. y Roberts, J. (1990). “The Economics of Modern Manufacturing: Technology, Strategy, and Organization”. *American Economic Review*, vol. 80, n° 3, pp. 511-528.
- Milgrom, P. y Roberts, J. (1995). “Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing”. *Journal of Accounting and Economics*, vol. 19, n° 2-3, pp. 179-208.
- Mohnen, P. y Röller, L. (2005). “Complementarities in innovation policy”. *European Economic Review*, vol. 49, n° 6, pp. 1431-1450.

- Morero, H. (2017). "The role of public policies in promoting innovation and innovation complementarities in developing countries: the case of the Argentinian software industry". En Faggian, A., Schmutzler, J., Suárez, M. y Tsvetkova, A. (eds.), *Innovation in Developing and Transition Countries*, pp. 109-130. UK: Edward Elgar.
- Morero, H., Ortiz, P. y Wyss, F. (2014). "Make or Buy to innovate in the Software sector". *Pymes, Innovación y Desarrollo*, vol. 2, n° 3, pp. 79-99.
- Motta, J.; Morero, H.; Borrastero, C. y Ortiz, P. (2013). "Complementarities between innovation policies in emerging economies. The case of Argentina's software sector". *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, vol. 6, n° 4, pp. 355-373.
- Nelson, R. (1991). "Why do firms differ, and how does it matter?". *Strategic Management Journal*, vol. 12, pp. 61-74.
- Nelson, R. y Nelson, K. (2002). "Technology, institutions, and innovation systems". *Research Policy*, vol. 31, n° 2, pp. 265-272.
- Nelson, R. y Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, MA: Belknap.
- Pellegrino, G. y Savona, M. (2017). "No money, no honey? Financial versus knowledge and demand constraints on innovation". *Research Policy*, vol. 46, n° 2, pp. 510-521.
- Pereira, M. y Suárez, D. (2018). "Matthew effect, capabilities and innovation policy: The Argentinean case". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 27, n° 1, pp. 62-79.
- Resende, M., Strube, E. y Zeidan, R. (2014). "Complementarity of innovation policies in Brazilian industry: An econometric study". *International Journal of Production Economics*, vol. 158, pp. 9-17.
- Serrano-Bedia, A.; López-Fernández, M. y García-Piqueres, G. (2018). "Complementarity between innovation knowledge sources: Does the innovation performance measure matter?". *BRQ Business Research Quarterly*, vol. 21, n° 1, pp. 53-67.
- Statistical Office of the European Union (Eurostat) y Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2018). *Oslo Manual*. París/Luxemburgo: Eurostat/OECD.

- Topkis, D. (1978). *Supermodularity and complementarity*. Princeton: Princeton University Press.
- Vega-Jurado, J., Gutiérrez-Gracia, A., & Fernández-de-Lucio, I. (2009). Does external knowledge sourcing matter for innovation? Evidence from the Spanish manufacturing industry. *Industrial and corporate change*, 18(4), 637-670.
- Vidal-Jaureguy, M. (2019). *¿Es el todo más que la suma de las partes? Los obstáculos a la innovación en las firmas uruguayas*. Tesis de maestría en Economía. Universidad de la República, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Departamento de Economía, Montevideo. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12008/31116>.
- Vidal-Jaureguy, M.; Bianchi, C. y Blanchard, P. (2023). “Financial and knowledge barriers to innovation: Complementary and substitution effects on innovative effort”. *Research Policy*, vol. 52, n° 7.
- Yoguel, G., & Robert, V. (2010). Capacities, processes, and feedbacks: the complex dynamics of development. *Seoul Journal of Economics*, 23(2), 187.

Anexo: R script

- ## Se construye la función “kyp.test”, para realizar el test de supermodularidad y submodularidad para el caso de tres eventos o acciones.
- ## El argumento “modelo” es el objeto creado a partir de la regresión que se especifica.
- ## El argumento “tipo” puede valer 12, 13 o 23, dependiendo del par de eventos o acciones que se quiera testear
- ## El tercer argumento toma por defecto el valor “estrat” y debe coincidir con la parte del nombre que tengan en común las variables asociadas a las combinaciones de eventos o fuentes que se utilizan en la regresión.
- ## La función construye el estadístico W presentado en Kodde y Palm (1986) y lo minimiza con la función constrOptim library(“sampleSelection”)

```

## USANDO constrOptim.
kyp.test <- function(modelo,tipo,pref="estrat") {
  if(tipo == 12) {
    matriz <- as.matrix(rbind(c(0,0,1,0,0,1,-1,-1), +
      c(-1,1,0,1,-1,0,0,0)))
    seed <- c(1,-1,-2,2,-1,5,-6,4)
  } else if(tipo == 13) {
    matriz <- as.matrix(rbind(c(0,-1,1,0,1,0,0,-1), +
      c(-1,0,0,1,0,-1,1,0)))
    seed <- c(1,1,-2,2,5,5,6,-4)
  } else if (tipo == 23) {
    matriz <- as.matrix(rbind(c(0,0,0,-1,1,1,0,-1), +
      c(-1,1,-1,0,0,0,1,0)))
    seed <- c(-1,-1,2,-2,5,-5,6,-4)
  } else {
    stop("Error: Non valid pair of sources")
  }
  test1 <- function(x) {
    vcov <- as.matrix(vcov(modelo)[which(grepl(c(pref),names(modelo$estimate)),which(grepl(c(pref),names(modelo$estimate))))))
    b <- as.matrix(coef(modelo))
    b <- as.matrix(b[which(grepl(c(pref),names(modelo$estimate))),])
    R <- as.matrix(matriz)
    c = t(R %*% (b - x)) %*% (solve(R %*% vcov %*% t(R))) %*% (R %*% (b - x))
    print(c)
  }
  test2 <- function(x) {
    vcov <- as.matrix(vcov(modelo)[which(grepl(c(pref),names(modelo$estimate)),which(grepl(c(pref),names(modelo$estimate))))))
    b <- as.matrix(coef(modelo))

```

```

b <- as.matrix(b[which(grep(c(pref),names(modelo$estimate)),)])
R <- as.matrix(-matriz)
c = t(R %*% (b - x)) %*% (solve(R %*% vcov %*% t(R))) %*% (R %*% (b - x))
print(c)
}
optimo1 <- constrOptim(seed, test1,
ui=matriz,
ci=c(0,0), grad=NULL, control = list(maxit=100000))
optimo2 <- constrOptim(-seed, test2,
ui=-matriz,
ci=c(0,0), grad=NULL, control = list(maxit=100000))
complementariedad <- matrix(c(optimo2$value,optimo1$value), nrow=1,
ncol=2, byrow=T)
colnames(complementariedad) <- c("Supermodularidad","Submodular
idad")
print(complementariedad)
}

```

Capítulo 5

Modelado con ecuaciones estructurales: una herramienta para observar y relacionar lo inobservable

Soledad Contreras y Natalia Gras

Introducción

El modelado estructural puede ser entendido como una extensión de diversas técnicas de análisis multivariado. Se trata de un procedimiento multivariable que permite examinar múltiples relaciones expresadas en ecuaciones que dan cuenta de las relaciones entre *constructos* o *variables latentes* que se hipotetizan y ponen a prueba (Hair *et al.*, 2014).

Los constructos o variables latentes refieren a conceptos abstractos que se definen conceptualmente, pero que pueden ser medidos indirectamente a través de variables manifiestas, y como toda aproximación, contiene un error de medida que es considerado en el análisis (Bollen, 1989; Hair *et al.*, 2014).

De acuerdo con la literatura, el modelado estructural es el único procedimiento estadístico capaz de contrastar todas las hipótesis simultáneamente, incluir variables latentes y no solamente considerar el error teórico de la predicción, sino también el error de medición durante el proceso de estimación. Al igual que cualquier técnica estadística de análisis multivariado, el objetivo principal de los modelos de ecuaciones estructurales es ampliar la capacidad explicativa y la eficiencia estadística (Hair *et al.*, 2014).

Las principales aplicaciones de modelado estructural pueden encontrarse en los estudios de psicología, sociología, mercadotecnia,

investigación educativa y medicina para comprender fenómenos asociados a la depresión, las adicciones, la salud ocupacional, las redes sociales, los ambientes laborales, la satisfacción del consumidor, el aprendizaje, los trastornos del sueño, la epidemiología ambiental, entre otros (Manzano y Zamora, 2009). Aunque el primer antecedente aparece en 1934, con el trabajo de Sewall Wright, es recién en los años sesenta que estos modelos se difunden para la investigación en ciencias sociales (Manzano y Zamora, 2009).

De acuerdo con los objetivos de investigación, algunas aplicaciones del modelado estructural se pueden dividir en dos grandes grupos: los orientados a contrastar relaciones de dependencia previamente hipotetizadas entre dos o más variables latentes y los orientados a generar escalas de medición. En el campo CTIS en ALC se encuentran antecedentes de ambas aplicaciones.

Con relación a la primera, Reyna-García, Molina-Morejón y Cortina-Bernal (2018) proveen evidencia que sugiere la existencia de una relación causal directa entre colaboración e innovación y entre innovación y desempeño económico de las pequeñas y medianas empresas. Muestran que la colaboración impacta en el desempeño económico indirectamente a través de la innovación. Otros problemas del campo CTIS que han sido abordados con el modelado estructural son la influencia de la gestión del conocimiento en las innovaciones de proceso (Pazmiño-Santacruz y Afcha-Chávez, 2019), la relación entre cultura organizacional y el capital intelectual en las empresas (Núñez-Ramírez, Mercado-Salgado y Bane-gas-Rivero, 2015) y los factores que inciden en la formación de la imagen pública de la ciencia (Muñoz van den Eynde, 2018).

La aplicación de modelado estructural para el desarrollo de escalas de medición e índices en el campo CTIS está menos difundida en ALC que las orientadas a contrastar relaciones de dependencia, aunque hay algunos trabajos. Un ejemplo es el de Cevallos Gamboa, Duque Oliva y Echeverría Suárez (2018), en el que realizaron un análisis factorial confirmatorio (AFC) para validar una escala de medición que denominan como la capacidad de innovación de los estudiantes de posgrado ecuatorianos que trabajan en empresas. Asimismo, pero por fuera del campo CTIS, el modelado con ecuaciones estructurales ha sido utilizado para la creación de un índice de pobreza multidimensional para ALC (Laverde Rojas y Gómez Ríos, 2015).

El objetivo de este capítulo es proveer herramientas metodológicas para el desarrollo de modelos de ecuaciones estructurales orientados al

análisis de problemas de investigación complejos y multidimensionales. Para ello se retoman aspectos metodológicos de dos aplicaciones en el campo de CTIS, se describen el conjunto de procedimientos, métodos y técnicas implementado para desarrollar y validar cada uno de los modelos desarrollados. Debido a restricciones de espacio, no se presentan las implementaciones empíricas específicas, pero, en su lugar, se referencian las secciones de las aplicaciones como ejemplos concretos de cómo implementar en la práctica cada una de las herramientas metodológicas que se proveen.

La primera aplicación contrasta un conjunto de relaciones teóricas de dependencia entre múltiples dimensiones conceptuales latentes; consiste en un estudio sobre las relaciones entre la evaluación de la investigación y los modos diferenciales de producción de conocimiento en el contexto del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) de México (Gras, 2018). Allí se construyen y validan cinco dimensiones conceptuales latentes (propensión modo 1 de producción de conocimiento, propensión modo 2 de producción de conocimiento, flexibilidad epistemológica del sistema de evaluación, satisfacción con el proceso de evaluación y dirección de la reforma del sistema de evaluación) y se plantean seis hipótesis sobre sus relaciones, que se ponen a prueba conjuntamente a través de un modelo de ecuaciones estructurales. Los resultados obtenidos otorgan información que permite afirmar, entre otras cosas, que la evaluación de la investigación tiene efectos diferenciales según cuál sea el modo de producción de conocimiento.

La segunda aplicación genera una escala de medición; consiste en el desarrollo de un índice de vulnerabilidad energética (IVE) para Montevideo y el área metropolitana (Contreras, 2019). Allí, se define la vulnerabilidad energética como un concepto multidimensional/constructo de segundo orden formativo, que puede ser medido por tres constructos de primer orden reflectivos: problemas de asequibilidad, problemas de eficiencia energética de la vivienda y necesidades energéticas del hogar. Luego del proceso de validación, el modelo propuesto permite avanzar en la definición conceptual de la vulnerabilidad energética y su medición, y también conocer sus principales determinantes.

La decisión de incluir más de una aplicación en este capítulo busca mostrar dos posibilidades de análisis distintos que, utilizando la misma herramienta metodológica, persiguen objetivos diferenciados de investigación, ejemplificando así la flexibilidad del modelado estructural.

El capítulo está dividido en seis apartados. Le sigue a esta introducción el segundo apartado en el que se presenta una descripción general del modelado estructural. Los siguientes apartados proveen las técnicas, procedimientos y desafíos involucrados en cada una de las etapas sugeridas para el desarrollo de un modelo estructural. Finalmente, se presentan las reflexiones finales sobre las ventajas y limitaciones del modelado estructural en los estudios de CTIS y el acceso a los datos en ALC y sus implicancias.

El modelado con ecuaciones estructurales: una descripción general¹

El modelado estructural es un tipo de procedimiento estadístico de análisis multivariado. Se diferencia de otras técnicas multivariadas por: la estimación simultánea de múltiples relaciones de dependencia; la habilidad para representar conceptos inobservables (constructos latentes) en esas relaciones y considerar su error de medida en el proceso de estimación y la capacidad de definir un modelo teórico para explicar y poner a prueba la totalidad de las relaciones teóricas inmersas en él (Hair *et al.*, 2014).

Los constructos latentes refieren a conceptos abstractos, que se definen conceptualmente pero que pueden ser medidos indirectamente a través de variables manifiestas. Así, los constructos o variables latentes deben ser aproximados/medidos a través de variables manifiestas (indicadores, ítems) y, como toda aproximación, contiene un error de medida que es considerado en el análisis (Bollen, 1989; Hair *et al.*, 2014).

De acuerdo con la literatura, el modelado estructural es el único procedimiento estadístico capaz de incluir variables latentes y contrastar las relaciones hipotetizadas entre ellas simultáneamente, y no solamente considerar el error teórico de la predicción, sino también el error de medición durante el proceso de estimación.

El modelado estructural puede organizarse en tres grandes etapas complementarias y consecutivas (Gras, 2018) : 1) descriptiva y exploratoria;² 2) medición y validación y 3) explicación (ver diagrama 1). Las dos aplicaciones de las que se extraen lecciones metodológicas para este capítulo

¹ Los primeros cinco apartados de este capítulo se desarrollan con base en el capítulo metodológico de Gras (2018) y el anteuúltimo apartado se elabora con base en el capítulo metodológico de Contreras (2019) .

² En los manuales sobre ecuaciones estructurales esta primera etapa no se explicita, ni forma parte del procedimiento estándar de modelado.

comparten todos los aspectos que se destacan en las dos primeras etapas, diferenciándose en la tercera etapa debido al tipo de modelado estructural que desarrollan de acuerdo con sus objetivos de investigación.

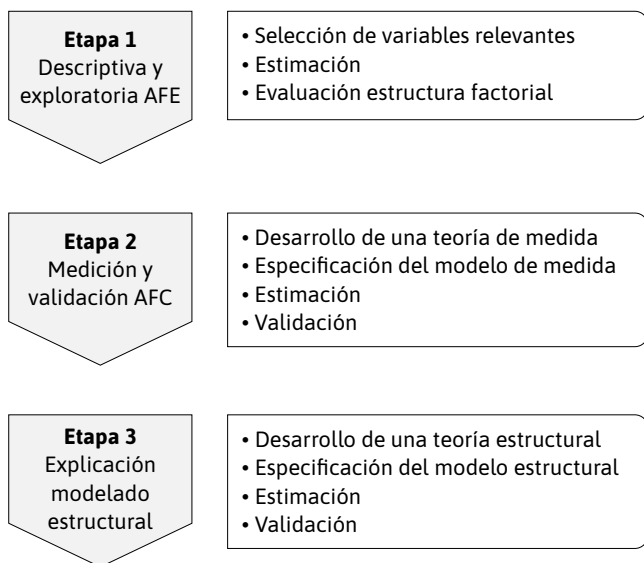
La primera etapa busca describir y explorar las asociaciones entre las variables manifiestas seleccionadas para el análisis, y entre estas y las dimensiones conceptuales que, con posterioridad, pueden explicarlas. Para alcanzar dicho objetivo, se implementa un análisis factorial exploratorio (AFE) (Hair *et al.*, 2014). Esta técnica de análisis multivariado permite explorar empíricamente la estructura de correlación entre todas las variables seleccionadas para identificar las dimensiones conceptuales latentes –factores– capaces de explicarla. La racionalidad que justifica esta primera etapa es establecer la base empírica para la construcción de una teoría de medida válida y confiable. Si no se observa alguna estructura de correlación significativa entre las variables seleccionadas, entonces no hay evidencia que sostenga la existencia de dimensiones latentes subyacentes a los datos. En ese sentido, las etapas subsiguientes carecen de sentido.

En la segunda etapa, con los resultados empíricos obtenidos de la primera y con base en la teoría, se establecen un conjunto de hipótesis sobre las relaciones entre las variables manifiestas de medida seleccionadas para el análisis y las dimensiones conceptuales que, con posterioridad, las explican. Así, el objetivo es poner a prueba y validar la teoría de medición que sustenta dichas hipótesis. Para ello, se implementa un AFC (Hair *et al.*, 2014; Brown, 2015). Esta técnica de análisis multivariado permite contrastar la teoría de medición empíricamente y validar el modelo de medida. Esto supone analizar su bondad de ajuste y evaluar su validez de constructo. La racionalidad de esta segunda etapa es que no se pueden obtener resultados robustos ni extraer conclusiones rigurosas, si se parte de medidas pobres (poco confiables y/o sin validez). Por lo tanto, de este análisis se espera alcanzar un modelo de medición válido y confiable. Si este resultado se logra, se procede con la tercera etapa de la investigación. Si no se logra, es preciso regresar al inicio y revisar la teoría de medición.

Una vez asegurado un modelo de medida válido y confiable, el objetivo de la tercera etapa es poner a prueba y validar la teoría estructural propuesta para dar una explicación al problema de investigación planteado. La teoría estructural se representa formalmente a través del modelo estructural (Bollen, 1989; Hair *et al.*, 2014; Kline, 2011; Brown, 2015), que encarna las hipótesis centrales de investigación. Como se desprende

y a diferencia de la etapa anterior, aquí las hipótesis se hacen sobre las relaciones teóricas estructurales entre las dimensiones conceptuales relevantes o variables latentes. Contrastar y validar la teoría estructural supone analizar la bondad de ajuste para evaluar la aceptación o no del modelo teórico estructural propuesto y estudiar la naturaleza y significado conceptual de los parámetros estructurales estimados. Los parámetros estructurales representan las hipótesis que se realizaron sobre las relaciones de dependencia entre las variables latentes. Si los resultados empíricos sostienen el modelo estructural, se habrá encontrado evidencia que valida la teoría estructural desarrollada.

Diagrama 1. Descripción general



Fuente: elaboración propia

La descripción y la exploración: implementación de un AFE

El AFE se implementa para identificar el conjunto de dimensiones conceptuales latentes, su interpretación permite la comprensión y descripción

de los datos en un número menor de dimensiones conceptuales que las variables originales. El concepto central es la estructura. La estructura permite observar las variables en diversos niveles de generalización. Desde el más detallado hasta el más agregado en el que las variables ya no importan individualmente sino por lo que significan colectivamente en la representación de un concepto (Hair *et al.*, 2014). Para identificar la estructura de correlación hay que seleccionar solo las variables relevantes para las dimensiones conceptuales que se espera encontrar.

Hay que considerar tres aspectos para el diseño del AFE: cálculo de la matriz de correlación entre las variables; cantidad de variables a incluir, tipo y propiedades métricas y tamaño de la muestra mínimo requerido.

La fortaleza del AFE para encontrar la estructura de correlación depende de la cantidad de variables que se incluyan en el análisis. La recomendación es incluir cinco o más variables por factor esperado (Hair *et al.*, 2014). El tipo de variables es importante porque informa si es posible o no el cálculo de la matriz de correlación; además sus propiedades métricas determinarán la medida de correlación que se calcula entre ellas (Manzano y Zamora, 2009). Si las variables son todas continuas, entonces se calcula la correlación de Pearson; si son todas dicotómicas, se calculan correlaciones tetracóricas y si son continuas, dicotómicas y ordinales, entonces se calculan correlaciones policóricas. La importancia de un tamaño de muestra adecuado está en la capacidad de generalizar los resultados. El tamaño de muestra adecuado es debatible. Como regla general orientadora, Hair *et al.* (2014) destacan que el AFE no debería realizarse con muestras de menos de cincuenta observaciones pero que es deseable que contengan cien o más y que un tamaño de muestra más aceptable es aquel que provee diez observaciones por variable incluida, otros autores son más exigentes y postulan que deben ser veinte observaciones por cada variable incluida en el AFE.

La implementación del AFE cobra sentido porque se supone que existe alguna estructura de correlación subyacente.³ Existen diversos enfoques para establecer la existencia de alguna estructura subyacente: la inspección visual de la matriz de correlación; el análisis de las correlaciones parciales; la prueba de esfericidad de Bartlett; la medida de adecuación

³ La presencia de variables correlacionadas no garantiza relevancia conceptual, incluso aunque se cumplan empíricamente todos los requisitos estadísticos. Dicha relevancia depende del análisis crítico e informado.

muestral; el valor del determinante de la matriz de correlación y el índice Kaiser-Meyer-Olkin (Hair *et al.*, 2014).

Por restricciones de espacio, solo se describen la inspección visual de la matriz de correlación y el valor de su determinante. Primero se calculan todas las correlaciones entre las variables, obteniendo así la matriz de correlación. Posteriormente, se inspecciona visualmente dicha matriz para asegurar que existen correlaciones de $|0,3|$ o más, y cierto patrón de correlación, caracterizado por la alta correlación entre las variables que componen cada uno de los factores y correlaciones más bajas con las variables que componen los restantes factores. Si se observa ese patrón, hay evidencia que sugiere la existencia de una estructura de correlación y por lo tanto tiene sentido implementar el AFE. Además, si el valor de su determinante es cercano a cero, hay evidencia que sugiere la existencia de una estructura de correlación fuerte, reforzando la pertinencia de implementar el AFE (Hair *et al.*, 2014).

Para la estimación del AFE hay que decidir sobre el método de extracción de los factores, de estimación de los parámetros y la cantidad de factores a extraer. Hay dos métodos para la extracción de factores: análisis de factores comunes (*common factor analysis*) y análisis de componentes principales (*principal components analysis*). La decisión sobre cuál método seleccionar depende del objetivo del AFE (Hair *et al.*, 2014). Se seleccionará el análisis de factores comunes cuando el objetivo sea identificar las dimensiones latentes. La selección del método de estimación de los parámetros depende del tipo de variables seleccionadas y sus propiedades métricas (ver más adelante).

La cantidad de factores a retener depende de cuántos factores se espera encontrar de acuerdo con la teoría para entender el fenómeno objeto de investigación y del análisis de la evidencia empírica. En particular, de la evaluación preliminar de la matriz de correlación y de otros criterios empíricos que combinan los propuestos por Kaiser (1960) y Hair *et al.* (2014): el criterio de la raíz latente, en el que cada factor debe acumular mínimamente la varianza de al menos una variable; entonces, los factores significativos a retener son todos los que tienen valores propios mayores a 1; el criterio de la varianza, que supone acumular para el contexto de las ciencias sociales al menos el 60% de la varianza total extraída por los factores y el análisis visual del gráfico de sedimentación (*scree plot*), cuyo punto de inflexión indica el número máximo de factores a retener. Adicional y complementariamente, es preciso evaluar las medidas de

bondad de ajuste⁴ de estimar el AFE con diversas estructuras factoriales y seleccionar aquella que provea un buen ajuste a los datos. La combinación y evaluación de todos estos criterios empíricos proveen una idea inicial del número de factores a retener. La determinación final de la dimensionalidad del problema de investigación depende de la interpretación conceptual de los factores y su discusión.

Existen tres procesos centrales para la interpretación e identificación final de la estructura factorial (Mulaik, 2010; Hair *et al.*, 2014): importancia de las cargas factoriales estimadas en la conceptualización del factor; interpretación conceptual de los factores y la rotación factorial.

En la solución del AFE están las cargas factoriales de cada variable en cada uno de los factores e indican el grado de asociación entre la variable y el factor. Si son altas, significan que la variable contribuye a formar dicho factor o que dicho factor explica una proporción importante de la varianza de esa variable. De ese modo y a través de las cargas factoriales, se interpreta el rol de cada variable en la definición conceptual de los factores. Cargas factoriales significativas y mayores que $|0,3|$ se utilizan para la interpretación de la estructura factorial; de $|0,5|$ o más son aceptables, aunque cargas factoriales mayores a $|0,7|$ dan cuenta de una mejor estructura factorial (Hair *et al.*, 2014). Sin embargo, la interpretación conceptual de los factores no es sencilla porque en general aparecen cargas factoriales cruzadas una variable tiene cargas factoriales importantes y significativas en más de un factor que dificulta la interpretación factorial.

Ante esta dificultad y como estrategia para simplificar la interpretación, se puede recurrir a la rotación factorial (Mulaik, 2010; Hair *et al.*, 2014). Hay métodos de rotación ortogonales u oblicuos. Mientras que los primeros mantienen la independencia o perpendicularidad entre los factores; los segundos la relajan, por lo que su solución provee información sobre el grado de correlación existente entre ellos.⁵ La elección del método de rotación dependerá de si hay o no elementos de juicio para sostener independencia entre los factores.⁶

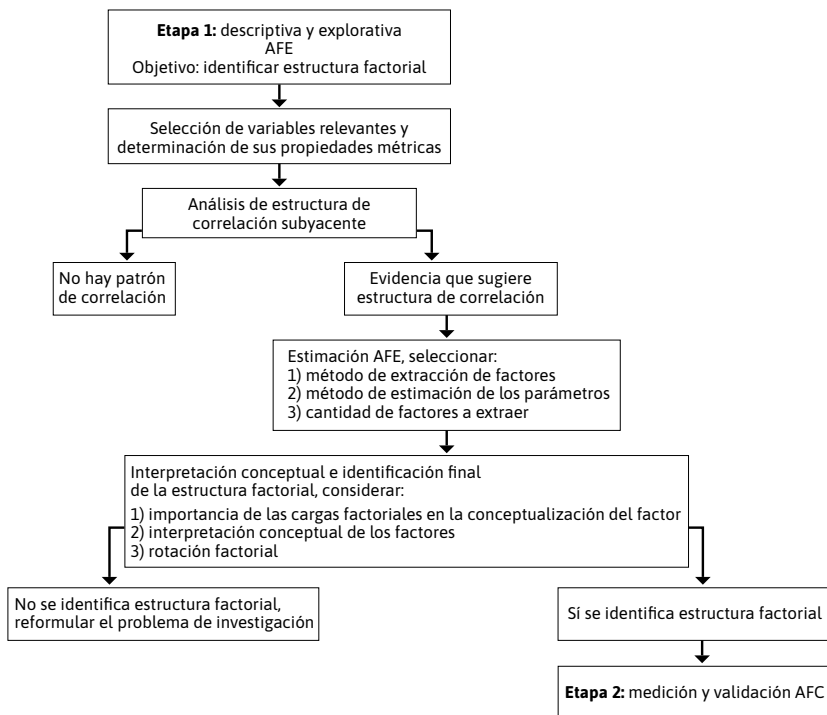
⁴ Las medidas de bondad de ajuste se detallan en el siguiente apartado.

⁵ Para una revisión de los distintos métodos de rotación factorial ver Yates (1987); Muthén y Muthén (1998-2015); Browne (2001).

⁶ Para una implementación empírica de un AFE, ver en Gras (2018) las subsecciones X.2.1 (sobre diseño y especificación), X.2.2 (sobre estimación, factores a retener, bondad ajuste e interpretación) y el anexo 1, que contiene la programación y la salida completa de su estimación en M-PLUS.

El diagrama 2 presenta descripción que sintetiza paso a paso la implementación del AFE.

Diagrama 2. Descripción AFE



Fuente: elaboración propia

La medición y validación: implementación del AFC

El AFC permite someter a prueba una teoría conceptualmente fundamentada (Bollen, 1989; Hair *et al.*, 2014) y se posiciona como una herramienta central para validar la teoría de medida en su conjunto y los constructos en particular (Brown, 2015). La idea de base en el AFC es que los constructos latentes *causan* las variables manifiestas, es decir, supone una teoría de medida reflectiva, no formativa (Hair *et al.*, 2014). Además, sus errores de medición informan sobre la incapacidad de los constructos para

explicar la totalidad de la varianza observada. Asimismo, al combinar los resultados del AFC con diversas pruebas para evaluar la validez de constructo, se obtiene una mayor comprensión sobre la calidad de las medidas que se utilizan en el análisis. Estos procedimientos posicionan el AFC en un lugar destacado y por encima de otras técnicas de análisis multivariado, ya que permite análisis más rigurosos y confiables sobre la validez conceptual y empírica del modelo de medida (Bollen, 1989; Brown, 2015).

El AFC, a diferencia del AFE, está orientado por la teoría o las hipótesis realizadas sobre la relación entre las variables manifiestas y los constructos/variables latentes. La conceptualización de los factores en el AFE depende de la importancia relativa de las cargas factoriales de cada variable en cada factor extraído (enfoque inductivo, conceptualización empírica). En el AFC, el enfoque es deductivo, primero se definen teóricamente las variables latentes, se operacionalizan con las variables manifiestas y las hipótesis de allí derivadas se contrastan empíricamente; además, se hace un conjunto de pruebas adicionales para estudiar su validez y confiabilidad. Así, la teoría de medida es pertinente para especificar –a través de las hipótesis– cómo ciertas variables manifiestas son indicadoras de ciertos constructos/variables latentes. La teoría de medición se formaliza matemáticamente con el modelo de medida y se representa gráficamente con un diagrama de senderos.

Aquí hay dos tipos de relaciones clave para el análisis: entre las variables manifiestas y las latentes, observables mediante las cargas factoriales estimadas, y entre las variables latentes, observables a través de las correlaciones estimadas entre ellas. Estas estimaciones permiten la evaluación empírica de la teoría de medida propuesta (Hair *et al.*, 2014).

La primer actividad para implementar el AFC es desarrollar la teoría de medida, para ello es preciso: definir conceptualmente cada uno de los constructos/variables latentes, operacionalizar las variables latentes a partir del conjunto de variables manifiestas (indicadoras/ítems) seleccionadas para medirlas y establecer un conjunto de hipótesis sobre la relación entre cada variable latente y el conjunto de variables manifiestas, cuya variación se hipotetiza puede estar explicada por dicha variable latente.⁷

⁷ La subsección X.3.1 en Gras (2018) y las secciones 4.1 y 4.2 en Contreras (2019) ofrecen dos ejemplos prácticos sobre la definición de los constructos, su operacionalización y las hipótesis del modelo de medida.

Adicionalmente y considerando el proceso de operacionalización, es importante atender aspectos de identificación y dimensionalidad. En particular, es preciso incluir al menos tres variables manifiestas como indicadores de cada constructo/variable latente para que sea posible su identificación y hay que asegurar la unidimensionalidad, es decir, cada variable manifiesta puede ser explicada solo por un constructo (Hair *et al.*, 2014).

El siguiente paso es especificar el modelo de medición. Un aspecto importante a considerar aquí es el tipo de variables manifiestas, sus propiedades métricas y sus distribuciones. Cuando trabajamos con variables manifiestas ordinales y/o dicotómicas caso común en el campo de la CTIS, por definición nos alejamos de los supuestos de la teoría normal requeridos para estimar parámetros máximo verosímiles (MV). Los estimadores MV son los que generalmente se utilizan en los modelos de ecuaciones estructurales incluido el AFC como un caso particular cuando se tienen variables manifiestas continuas normalmente distribuidas (Finney y Distefano, 2006). Sin embargo, cuando se utilizan indicadores dicotómicos u ordinales, los procedimientos para la estimación del AFC difieren de los procedimientos en el marco de la teoría normal con variables continuas (Brown, 2015). Eso implica que la matriz de varianza y covarianza muestral no puede ser calculada directamente a partir de las variables manifiestas originales y es preciso recurrir al enfoque de variables de respuesta latente (Muthén y Asparouhov, 2002), ya que provee un marco integrado para la estimación de modelos con alguna combinación de variables manifiestas dicotómicas, ordinales y/o continuas (Muthén, 1998-2004; Finney y Distefano, 2006; Kline, 2011; Brown, 2015). Así, una diferencia respecto a la estimación de modelos AFC en el marco de la teoría normal tiene que ver con que se utiliza la matriz de correlación de las variables de respuesta latente como S , por lo que las varianzas de los indicadores observados sus errores de medida no son considerados como parámetros libres a estimar, pero se pueden calcular como residuos (varianzas residuales) (Brown, 2015).⁸

Debido a que la amplia mayoría de los manuales sobre ecuaciones estructurales trabajan bajo el supuesto de normalidad multivariada marco que en la mayoría de los casos no se cumple en el campo de la CTIS aquí se opta por desarrollar todo el proceso de especificación del modelo y las secciones siguientes atendiendo a la especificidad que supone el trabajo

⁸ Para una discusión detallada sobre el enfoque de variables de respuesta latente ver Muthén (1998-2004), Finney y Distefano (2006), Kline (2011), Brown (2015).

con alguna combinación de variables manifiestas dicotómicas, ordinales y/o continuas.

En ese sentido, la especificación completa del modelo de medida implica especificar las relaciones de medida entre la variable de respuesta latente –asociada a cada variable manifiesta– y las variables latentes. Estas se observan en los parámetros de medida (cargas factoriales o coeficientes de pendiente de las regresiones probit que se estiman) y que representan el grado de asociación de cada ítem con su constructo; las relaciones de correlación entre los constructos y los errores de medición o varianzas residuales, que reflejan la proporción de la varianza de los ítems que no es explicada por la variable latente.

Además, hay que asegurar la unidimensionalidad de los constructos/variables latentes y su identificación. Esto implica que, en la especificación del modelo de medida, todas las cargas factoriales cruzadas se restringen y se fijan igual a cero, al igual que la covariación de los errores de medición. Si esto no se cumple, se afecta negativamente la validez discriminante y consecuentemente, la validez de constructo. Los modelos de medida que fijan en cero las cargas factoriales cruzadas y la covariación entre los términos de error se denominan modelos de medida cogenéricos y cuentan con suficientes restricciones como para garantizar buenas propiedades de medición (Hair *et al.*, 2014).

La identificación estadística de los constructos depende de la existencia de información suficiente para identificar una solución matemática para el conjunto de ecuaciones determinadas en el modelo (Hair *et al.*, 2014). Los constructos y los modelos pueden estar subidentificados (existen más parámetros a estimar que información disponible), así no es posible encontrar una única solución matemática; identificados (existe la misma cantidad de parámetros a estimar que información disponible (modelo saturado)) y sobre-identificados (existen menos parámetros a estimar que información disponible, los grados de libertad del modelo son positivos y sí es posible encontrar una solución matemática). Con el AFC lo que se busca es alcanzar modelos sobreidentificados (Bollen, 1989; Hair *et al.*, 2014).⁹

Con el modelo de medida especificado se procede a su estimación, análisis y validación, pero antes es preciso especificar algunos aspectos del diseño del AFC, que son válidos también para el AFE y el modelado

⁹ Para dos ejemplos prácticos de especificación matemática del modelo de medida y su representación gráfica a través de diagramas de senderos ver la subsección X.3.2 en Gras (2018) y el anexo 5 en Contreras (2019).

estructural: características específicas de la fuente de información, datos a analizar, el impacto y tamaño de la muestra y su representatividad, los datos faltantes, su impacto y tratamiento y la técnica de estimación y el paquete estadístico utilizado para ello.¹⁰

Con respecto a las características específicas de la fuente de información disponible es importante que se describa si se trata de una encuesta, cómo fue diseñada, sus objetivos específicos y contenidos, cómo se recogieron los datos, durante qué período y cuál es la población objetivo. También se debe explicitar si se trata de datos de sección cruzada o longitudinales y, desde el punto de vista de sus propiedades métricas, es preciso indicar si se trata de datos dicotómicos, ordinales y/o continuos o una combinación de ellos. En caso de realizar transformaciones a los datos originales, estas deben quedar documentadas y fundamentadas. Asimismo, se debe evaluar e informar sobre el tamaño de la muestra, el tipo de muestreo, su representatividad, tasa de respuesta e impacto sobre la calidad, validez y generalización de los resultados de investigación.¹¹

Si bien el método más sofisticado para evaluar cuál es el tamaño de muestra mínimo requerido, para asegurar precisión y estabilidad de las soluciones encontradas, es a través de un estudio de simulación de Monte Carlo (ver Muthén y Muthén, 2002) ; en algunas ocasiones, por simplicidad y porque se dispone de muestras muy grandes, se puede recurrir a las reglas generales disponibles en la literatura. En particular y bajo condiciones ideales: normalidad multivariada de los datos; sin datos faltantes; modelos identificados o sobreidentificados con cinco o menos variables latentes y con cargas factoriales de 0,75 o más; el tamaño de muestra mínimo requerido para garantizar soluciones precisas y estables es de cien a doscientas observaciones (Hair *et al.*, 2014) . Sin embargo y conforme el estudio se aleja de esas condiciones ideales, se requiere mayor cantidad de observaciones. Muthén y Muthén (2002) muestran que el tamaño de muestra mínimo requerido para garantizar precisión y estabilidad de la solución, cuando no se cumple la normalidad multivariada de los datos y existen datos faltantes, es de trescientos quince para un power de 0,81. Adicionalmente, cuando los datos no cumplen con el supuesto de normalidad multivariada, Hair *et al.* (2014) proponen utilizar la regla general de quince observaciones por parámetro libre a estimar en el modelo.

10 Para un ejemplo práctico sobre todos estos aspectos del diseño del AFC ver la subsección VIII.3.3 en Gras (2018) .

11 A modo de ejemplo ver la subsección VIII.3.3.1 en Gras (2018) y la sección 3.2 en Contreras (2019) .

Con relación a los datos faltantes, su impacto y tratamiento hay que evaluar y reportar el porcentaje de datos faltantes según cada variable manifiesta utilizada en el análisis y estudiar el patrón que presentan y su naturaleza. En general, los datos faltantes pueden resultar problemáticos cuando la muestra no es demasiado grande y superan el 10% en una cantidad importante de variables manifiestas. Los patrones de datos faltantes son una descripción de dónde están los “agujeros” en la base de datos y, para estudiar su naturaleza, hay que describir los mecanismos de los datos faltantes (Enders, 2010) .

Enders (2010), siguiendo a Rubin (1976) , describe tres mecanismos de los datos faltantes para explicar la relación entre los datos faltantes y los datos disponibles:

1. Datos faltantes completamente al azar (MCAR, por sus siglas en inglés): la probabilidad de datos faltantes en una variable no puede ser explicada por ninguna otra variable del modelo ni por ella misma.
2. Datos faltantes al azar (MAR, por sus siglas en inglés): la probabilidad de datos faltantes en una variable manifiesta puede ser explicada solo por otra(s) variable(s) manifiesta(s) incluida(s) en el modelo.
3. Datos faltantes no al azar (MNAR, por sus siglas en inglés): la probabilidad de datos faltantes en una variable manifiesta solo puede ser explicada por esa variable.

Existe un mecanismo adicional: datos faltantes al azar respecto a X (MARX), en los que la probabilidad de datos faltantes en una variable puede ser explicada por una o más covariables (X)¹² (Asparouhov y Muthén, 2010) . Los mecanismos MAR y MARX son menos restrictivos que el mecanismo MCAR (Enders, 2010; Asparouhov y Muthén, 2010) .

Desde el punto de vista del tratamiento de los datos faltantes, las técnicas tradicionales tales como *listwise deletion* o *pairwise deletion* requieren que los datos faltantes cumplan con el mecanismo más restrictivo MCAR (Enders, 2010) . Si los datos faltantes no cumplen con el mecanismo MCAR y se aplica alguna de esas técnicas, las estimaciones resultantes serán sesgadas (Enders, 2010; Brown, 2015) . Enders (2010) recomienda la aplicación de técnicas modernas para el tratamiento de datos faltantes: estimación por máxima verosimilitud o imputación múltiple. Estas técnicas requieren

¹² Las covariables X refieren a la información contenida en variables exógenas al modelo.

que los datos faltantes sigan los mecanismos menos restrictivos (MAR o MARX). Sin embargo, surge un problema práctico dado que no existe ningún procedimiento estadístico que permita comprobar si el mecanismo es MAR (incluido MARX) (Enders, 2010). Ante esto, la sugerencia del autor es seguir una estrategia inclusiva para hacer más plausible que los datos faltantes sigan un mecanismo MAR, incluyendo covariables X en el modelo capaces de predecir la probabilidad de datos faltantes. Similarmente, en el marco conceptual del M-PLUS, cuando se modelan variables dependientes categóricas, los datos faltantes pueden ser predichos a través del mecanismo MARX (Asparouhov y Muthén, 2010).

Desde el punto de vista de la técnica de estimación y cuando no se cumplen los supuestos de la teoría normal, es preciso aplicar otros métodos de estimación distintos del método de estimación de máxima verosimilitud (Kline, 2011). Si se trabaja con variables manifiestas dependientes (ordinales y/o dicotómicas), las estimaciones deberían realizarse con el estimador de mínimos cuadrados ponderados (WLS, por sus siglas en inglés), robustos, desarrollado por Muthén (1993), en particular se puede utilizar el estimador WLSMV que provee estimaciones WLS de los parámetros, errores estándar robustos y media y varianza ajustada del estadístico de prueba ji-cuadrado (Brown, 2015; Muthén y Muthén, 1998-2015).^{13,14}

Si bien existen diversos paquetes estadísticos para la estimación de modelos de ecuaciones estructurales, se recomienda el uso de M-PLUS (Muthén y Muthén, 1998-2015), ya que está diseñado específicamente para el modelado con variables latentes y es el que ofrece las mejores opciones para la estimación de modelos de medida (AFC) con variables categóricas (Brown, 2015).

A esta altura del proceso de investigación ya se tiene el modelo de medida especificado y se han establecido todos los aspectos relevantes del diseño, el siguiente paso es su estimación y la evaluación de su validez. Esto es responder a la pregunta de si el modelo es exacto y si efectivamente mide lo que busca medir. Para ello se debe estudiar su bondad de ajuste y realizar diversas pruebas sobre su validez de constructo.¹⁵

¹³ Ver Muthén, du Toit y Spisic (1997) para una descripción detallada de los estimadores WLS robustos, sus respectivas funciones de ajuste y desempeño.

¹⁴ Ver Finney y Distefano (2006) para una discusión sobre las diferencias entre los estimadores WLS y WLS robustos.

¹⁵ Los anexos 2 de Gras (2018) y 4 de Contreras (2019) ofrecen la programación y salida completa de la estimación de los dos modelos de medida (AFC) en M-PLUS.

La bondad de ajuste indica la similitud –o diferencia– entre la matriz de correlación asintótica de las variables de respuesta latente y la estimada. Cuanto menor sea la diferencia entre esas matrices, mayor será la bondad de ajuste del modelo de medida. Existen diversas medidas de bondad de ajuste que pueden clasificarse en medidas absolutas o incrementales.

La primera medida absoluta es el estadístico de prueba ji-cuadrado de bondad de ajuste (X^2), sus grados de libertad (df) y el tamaño de la muestra (N). Con este estadístico, la hipótesis nula que se pone a prueba es si las matrices de correlación asintótica de las variables de respuesta latente (S) y estimada (Σ_k) son iguales. Si el estadístico ji-cuadrado es significativo, entonces provee evidencia de que hay problemas con el ajuste. Vale recordar la sensibilidad del estadístico de prueba ji-cuadrado a los grados de libertad del modelo y al tamaño de la muestra (Bollen, 1989; Kline, 2011; Hair *et al.*, 2014). Cuando el tamaño de muestra es grande es esperable que la prueba ji-cuadrado resulte significativa, cuando en realidad no existen diferencias entre ambas matrices. Para corregir este problema, ampliamente reconocido en la literatura, se han desarrollado otras medidas alternativas y complementarias de bondad de ajuste.

La segunda medida de bondad de ajuste absoluta es la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSEA, por sus siglas en inglés) que es una medida adicional y corrige por la complejidad del modelo y por el tamaño de la muestra. De acuerdo con la literatura, valores bajos de RMSEA indican un buen ajuste. Los valores de referencia de corte para el RMSEA son debatibles, mientras que algunos autores sostienen que los valores de RMSEA menores a 0,05 son deseables; bajo ciertas condiciones, valores menores a 0,08 son indicadores de un buen ajuste (Rigdon, 1996).

La tercera medida de ajuste es el índice Tucker-Lewis (TLI, por sus siglas en inglés), que es una medida de ajuste relativo o incremental y como tal evalúa en qué medida el modelo estimado ajusta mejor en relación con el modelo nulo (Hair *et al.*, 2014). El modelo nulo asume que todas las variables manifiestas son independientes, por lo tanto, las medidas de ajuste relativo representan la mejora del ajuste debido a la especificación realizada del modelo de medida. De acuerdo con Bollen y Long (1993) y Hair *et al.* (2014), los valores del TLI mayores a 0,90 indican un buen ajuste.

La cuarta medida de ajuste es el índice de ajuste comparado (CFI, por sus siglas en inglés) que es –al igual que el TLI– una medida de ajuste relativo, y también valores del CFI mayores a 0,90 son asociados con modelos que ajustan satisfactoriamente (Bollen y Long, 1993; Hair *et al.*, 2014).

Respecto a la validez de constructo, esta se define como el grado en el que un conjunto de ítems representa verdaderamente las variables latentes que buscan medir (Hair *et al.*, 2014: 618). El objetivo es evaluar la precisión y en qué magnitud las medidas son exactas. Si existe evidencia que sugiere validez de constructo, se puede afirmar con confianza que los ítems de medida –observados en una muestra representativa– representan los valores verdaderos que existen en toda la población.

Siguiendo a Hair *et al.* (2014), la evaluación de la validez de constructo del modelo de medida consiste en cuatro pruebas de validación:

1. Prueba de validez aparente/contenido: es una prueba cualitativa que busca validar el contenido de los constructos. Requiere de la teoría y de un panel externo de personas expertas que analicen el grado de coincidencia entre las definiciones conceptuales de cada variable latente y los ítems que los operacionalizan.
2. Prueba de validez convergente: es una prueba cuantitativa que analiza la convergencia de los ítems. Los ítems de cada constructo deben compartir una proporción relativamente alta de varianza común. Cuanto mayor sea la varianza común compartida, mayor será la capacidad del constructo para explicar la variación individual y conjunta de esos ítems. Esta prueba supone el análisis conjunto y complementario de:
 - a. Las cargas factoriales estimadas no estandarizadas: si son estadísticamente significativas, entonces hay evidencia que sugiere validez convergente.
 - b. Las cargas factoriales estimadas estandarizadas: si son estadísticamente significativas, lo suficientemente grandes y su signo es el esperado de acuerdo con las definiciones conceptuales del constructo, entonces hay evidencia que sugiere validez convergente.
 - c. La varianza extraída promedio (AVE, por sus siglas en inglés): es un indicador resumen de convergencia. En el contexto del AFC, su cálculo está dado por:

$$AVE = \frac{\sum_{j=1}^p \lambda_j^2}{p}$$

En el que λ_j es la carga factorial estandarizada correspondiente al ítem j y p es el número total de ítems indicadores del cons-

tructo. Los valores de corte de referencia son discutibles. Algunos autores sostienen que un valor $AVE \geq 0,5$ sugiere una convergencia adecuada, para otros y en el contexto de investigaciones exploratorias y en las ciencias sociales, un valor $AVE \geq 0,3$ puede ser aceptable.

d. La confiabilidad compuesta (CR, por sus siglas en inglés) (Dillon y Goldstein, 1984) : es también una medida resumen de la validez de convergencia. Su cálculo está dado por:

$$CR = \frac{(\sum_{j=1}^p \lambda_j)^2}{\sum_{j=1}^p \theta_j}$$

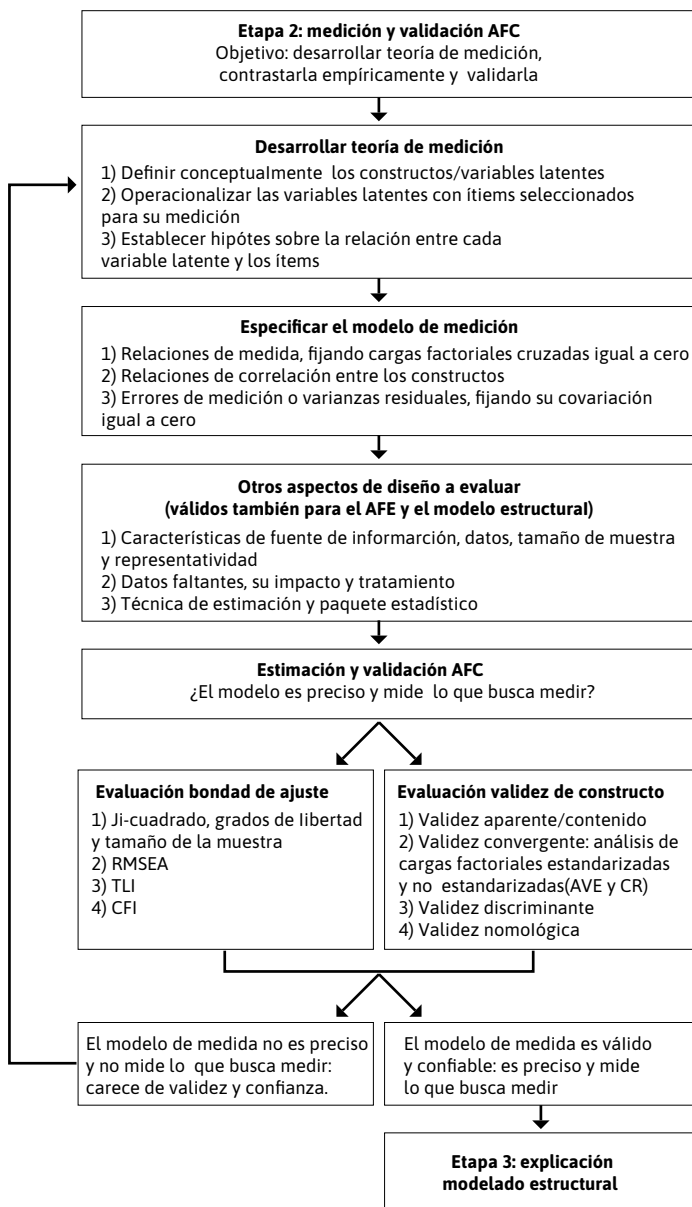
En el que $(\lambda_j)^2$ es el cuadrado de la sumatoria de las cargas factoriales estandarizadas de cada constructo y θ_j la sumatoria de las varianzas residuales de los ítems de cada uno de los constructos. Valores $CR \geq 0,7$ sugieren una buena confiabilidad, y si son mayores a ese valor, también sugieren consistencia interna.

3. Prueba de validez discriminante: es una prueba cuantitativa que analiza en qué medida un constructo es en realidad diferente de otro. La validez discriminante sugiere que el constructo es único y que captura algún fenómeno que otras medidas no. Para evaluarla se recurre a la comparación entre el AVE estimado y el cuadrado de la correlación estimada entre dos constructos. Si el AVE estimado es mayor que el cuadrado de la correlación, entonces hay evidencia que sugiere validez discriminante.
4. Prueba de validez nomológica: es una prueba cuantitativa y conceptual, se estudian las correlaciones entre los constructos y se analiza su sentido conceptual. Si las correlaciones estimadas son consistentes con lo que se espera de acuerdo con la teoría, entonces existe evidencia que sugiere validez nomológica.¹⁶

En el diagrama 3 se presenta un diagrama que sintetiza paso a paso la implementación del AFC.

¹⁶ La subsección X.3.3 en Gras (2018) y la sección 4.3 en Contreras (2019) ofrecen dos ejemplos prácticos de la implementación y resultados derivados de la evaluación de la validez del modelo de medida.

Diagrama 3. Descripción AFC



Fuente: elaboración propia

La explicación: el modelado estructural

Modelo de ecuaciones estructurales para contrastar relaciones teóricas de dependencia entre variables latentes

En esta etapa del proceso de investigación corresponde poner a prueba y validar el modelo teórico estructural para explicar las relaciones entre las variables latentes, que corresponden con los objetivos e hipótesis centrales de investigación.

La validez del modelo estructural depende de la discusión teórica, la validez y confiabilidad del modelo de medida, la bondad de ajuste del modelo estructural y de la magnitud, significancia estadística, dirección y, por lo tanto, sentido conceptual de los parámetros estructurales estimados.

Para realizar la evaluación de la bondad de ajuste y estudiar la naturaleza de los parámetros estructurales estimados, es preciso especificar el modelo estructural. La especificación del modelo estructural implica un conjunto de transformaciones teóricas y de notación al modelo de medición desarrollado que se detalla a continuación.

En el AFC el foco se puso en las relaciones entre las variables manifiestas y las latentes. En el modelo estructural la atención se concentra en las relaciones de dependencia entre las variables latentes. Cada una de esas relaciones de dependencia da cuenta de las hipótesis de investigación y se corresponden con los parámetros libres a estimar en el modelo estructural; su representación gráfica se hace a través de diagramas de senderos. Todas las hipótesis son puestas a prueba simultáneamente en el mismo modelo estructural. Cuando no hay ninguna hipótesis que vincule dos o más conceptos, significa que no hay ninguna relación directa entre esas variables latentes y, por lo tanto, esos parámetros deberán fijarse en cero.

Mientras que en el modelo de medida los constructos son exógenos, en el modelo estructural algunos son exógenos y otros son endógenos. La teoría estructural a contrastar estudia el efecto de los constructos exógenos (predictores) sobre los endógenos (resultado). Además, un constructo puede ser endógeno en una relación de dependencia y en la siguiente puede ser exógeno. Los constructos endógenos no son explicados completamente, por lo que se les asocia un término de error o varianza residual. Así, el modelo estructural considera los errores de medición (varianzas residuales de los ítems) y también el error de

predicción teórico. Los parámetros estimados se calculan de acuerdo con los efectos directos e indirectos en el modelo, y especificando relaciones de dependencia se establecen las restricciones sobre qué efectos se utilizan para la estimación.

Para la identificabilidad del modelo estructural, los grados de libertad se calculan igual que en el modelo de medida, aunque el número de parámetros libres a estimar será menor porque no se incluyen todas las relaciones estructurales entre los constructos. El modelo teórico estructural está anidado dentro del modelo de medida y es más parsimonioso porque contiene menor cantidad de parámetros libres a estimar con los mismos constructos y variables manifiestas de medida.

Los modelos estructurales pueden ser recursivos o no recursivos. Son recursivos cuando las relaciones de dependencia entre las variables latentes se especifican en una sola dirección y no hay retroalimentación o bidireccionalidad entre ellas. Los modelos estructurales recursivos siempre tendrán mayor cantidad de grados de libertad que el AFC, si usan las mismas variables latentes y manifiestas (Hair *et al.*, 2014). El tipo de datos con los que se cuenta determinará si es posible especificar modelos recursivos o no recursivos. Con datos de corte transversal no se puede desarrollar un modelo estructural no recursivo porque no se puede recrear el conjunto de condiciones necesarias para establecer relaciones recíprocas entre constructos, porque para ello es preciso considerar la secuencia temporal de los eventos (se requieren datos longitudinales) (Kline, 2011). Los restantes aspectos del diseño son consistentes con los planteados para el modelo de medida.¹⁷

Con el modelo teórico estructural especificado y fundamentado teóricamente, se puede proceder con su estimación; y con los resultados obtenidos, continuar con el proceso para su validación. Para ello, a continuación, se describen los procedimientos para analizar su bondad de ajuste y los parámetros estructurales estimados (relaciones hipotetizadas).¹⁸

La evaluación de la bondad de ajuste del modelo estructural, al igual que la realizada para el modelo de medida, implica estudiar si el modelo estructural reproduce la matriz de correlación de las variables de respuesta latente (S).

¹⁷ La subsección X.4.1 en Gras (2018) ofrece un ejemplo práctico sobre la especificación formal del modelo estructural y su representación gráfica con un diagrama de senderos.

¹⁸ Ver la subsección X.4.2 en Gras (2018) como ejemplo práctico de estos procedimientos.

Si se está trabajando con datos de corte transversal, el modelo estructural será recursivo y está anidado en el modelo de medida y por lo tanto no puede contener mayor cantidad de relaciones estructurales entre constructos que las correlaciones entre ellos posibles en el modelo de medida (Hair *et al.*, 2014). Así, el modelo estructural tiene mayor cantidad de grados de libertad que el modelo de medida y, dado que el tamaño de la muestra, la cantidad de constructos y de ítems son los mismos, el valor del estadístico ji-cuadrado será mayor al obtenido en el modelo de medida. Entonces, la estrategia para evaluar la bondad de ajuste del modelo estructural implica comparar las medidas de bondad de ajuste del modelo estructural contra las obtenidas en el modelo de medida para analizar en qué medida el ajuste se degrada debido a la especificación de las relaciones estructurales.

Las medidas de bondad de ajuste que se analizan aquí son las mismas que se analizaron en el modelo de medida (ji-cuadrado, RMSEA, CFI, TLI), con los mismos valores de corte. Si el ajuste del modelo estructural es sustantivamente peor que el del modelo de medida, entonces se puede concluir que la teoría estructural carece de validez (Hair *et al.*, 2014).

Se procede ahora al análisis de los parámetros del modelo estructural estimado. Para ello, el primer paso es estudiar la estabilidad y confiabilidad de los parámetros del modelo estructural. Esto se hace a través de la comparación de los parámetros de medida estimados en el modelo estructural con las cargas factoriales obtenidas en la estimación del modelo de medida. El objetivo de este análisis comparado es descartar la existencia de evidencia que sugiera confusión interpretativa (*interpretational confounding*) (Kline, 2011). Variaciones de $|0,05|$ o menores en la comparación de esos parámetros son aceptables y no representan un problema de confusión interpretativa (Hair *et al.*, 2014). Si, por el contrario, las diferencias entre los parámetros son superiores a $|0,05|$, la evidencia sugiere confusión interpretativa. Eso implica que las estimaciones de los parámetros de medida en el modelo estructural son afectadas sustantivamente más por las relaciones estructurales especificadas en el modelo estructural que por los ítems de medida específicos, lo que atenta contra la estabilidad y confiabilidad de la medición. En este caso hay que regresar y revisar la teoría y su modelo de medida y volver a implementar un nuevo AFC.

Luego de analizada la estabilidad de los parámetros de medida en el modelo estructural, se procede con el estudio de los parámetros

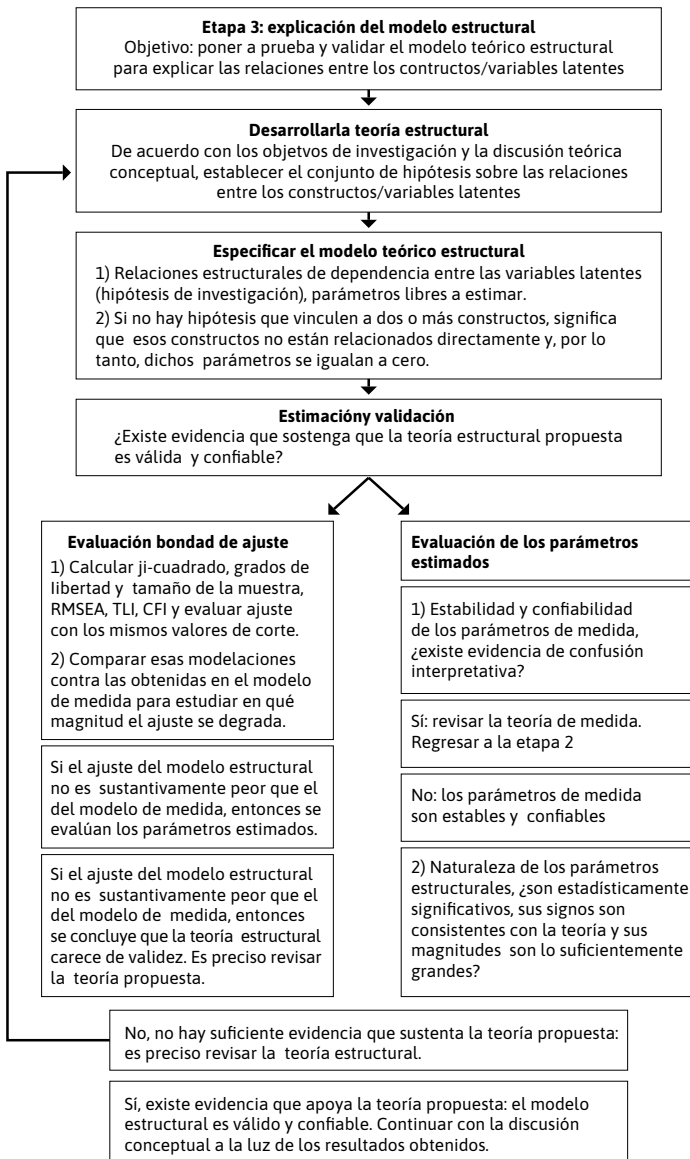
estructurales estimados del modelo estructural. Si son estadísticamente significativos, sus signos son consistentes con las direcciones hipotetizadas y sus magnitudes son lo suficientemente grandes, entonces existe evidencia que apoya la teoría y el modelo estructural y además aumenta su validez.

La magnitud de los parámetros estructurales estimados importa porque si son demasiado pequeños pueden sugerir una alta probabilidad de estar cometiendo un “error tipo I” (rechazar una hipótesis nula que en realidad es cierta), y con ello, cuestionar la validez de las relaciones teóricas estructurales que se están estudiando. Los resultados de las pruebas de significación dependen de la magnitud de los parámetros, del tamaño de la muestra y de la eficiencia del diseño estadístico (Kish, 2004). La probabilidad de cometer un error tipo I aumenta cuando el tamaño de la muestra es muy grande, es difícil el hallazgo de relaciones de independencia y existe una eficiencia del diseño relativamente menor porque no se introducen variables de control para aislar potenciales efectos perturbadores o porque se utilizan métodos tradicionales para el tratamiento de datos faltantes. La sugerencia es aumentar la eficiencia relativa del diseño. Una estrategia para lograrlo es a través de la especificación de un modelo estructural condicional.¹⁹

En el diagrama 4 se presenta un diagrama que sintetiza paso a paso la implementación del modelado estructural.

¹⁹ Las subsecciones X.4.2.1 y X.4.2.1 en Gras (2018) proveen un ejemplo de todos los procedimientos implementados empíricamente para el análisis de la bondad de ajuste del modelo estructural y la evaluación de su validez. En el anexo 4 de Gras (2018) está la programación y la salida completa de la estimación del modelo estructural.

Diagrama 4. Implementación modelado estructural



Con el modelo estructural condicional se busca controlar los resultados que se derivan del modelo estructural, aislando el efecto potencial que podrían tener otras variables perturbadoras exógenas al modelo y la estimación por máxima verosimilitud con información completa (FILM, por sus siglas en inglés) (Asparouhov y Muthén, 2010) para el tratamiento de los datos faltantes que contribuya a la obtención de estimaciones de los parámetros eficientes e insesgados (Enders, 2010).

Para alcanzar un modelo condicional, al modelo estructural (ya especificado) hay que incorporarle covariables X de control como predictoras de las variables latentes independientes, que sean útiles para aumentar la eficiencia reduciendo los errores aleatorios y disminuyendo el sesgo de las variables perturbadoras, cuyos efectos pueden confundirse con los efectos de las variables explicativas (Kish, 2004), y predecir la probabilidad de datos faltantes, haciendo plausible que los mismos sigan un mecanismo MARX (Asparouhov y Muthén, 2010). Para identificar las covariables X de control se estima un conjunto de modelos logit para explicar la probabilidad de los datos faltantes en cada una de las variables manifiestas incorporadas en el modelo.

Los procedimientos para validar el modelo estructural condicional son esencialmente los mismos que los seguidos con el modelo estructural sin condicionar. Si el modelo estructural condicional presenta un buen ajuste y los parámetros estructurales son significativos y en las direcciones hipotetizadas, entonces se puede concluir que dicho modelo es sostenido por la evidencia. Estos resultados junto con la validez del modelo de medida representan evidencia fuerte para validar la teoría estructural propuesta para la explicación del fenómeno objeto de investigación (ver diagrama 4).²⁰

Modelo de ecuaciones estructurales para generar escala de medición: la implementación de un MIMIC

Cuando el objetivo central de investigación es generar una escala de medición multidimensional compuesta por diversas dimensiones latentes que, a su vez, son también multidimensionales y no observables

²⁰ Las subsecciones X.5.1, X.5.2 y X.5.3 en Gras (2018) proveen ejemplo de todos los procedimientos para especificar y validar un modelo estructural condicional. En los anexos 5 y 7 de Gras (2018) están la programación y la salida completa de la estimación del modelo estructural condicional y de los modelos Logit para identificar sus covariables X .

directamente, se puede desarrollar un modelo de ecuaciones estructurales de segundo orden formativo. Para ello, el primer paso es desarrollar el modelo de medida reflectivo de primer orden implementando un AFC para asegurar la validez y confiabilidad de las dimensiones latentes que se suponen componen la escala de medición (índice). El segundo paso es desarrollar el modelo estructural formativo de segundo orden (Jarvis *et al.*, 2003 *apud* Diamantopoulos, Riefler y Roth, 2008) para asegurar la confiabilidad y validez de la escala de medición o índice desarrollado. Dicha escala es un constructo de segundo orden formativo porque está determinado por (sus causas son) otras variables latentes de primer orden. Esta subsección se enfoca en ese segundo paso.

En los modelos formativos existen dificultades para alcanzar la identificación del modelo, ya que no siempre es posible identificar el error de medida del constructo de segundo orden. Si bien en algunos casos es posible fijar el error en cero para solucionar esa indeterminación, cuando el constructo de segundo orden es endógeno y las dimensiones latentes que lo componen no representan al constructo en su totalidad como es frecuente que suceda, esta solución no es adecuada. Los constructos formativos deben incorporarse a un modelo más amplio que integre al menos dos consecuencias o efectos del constructo de segundo orden para poder ser identificados. Se han propuesto tres soluciones alternativas: agregar al menos dos ítems reflectivos que surjan del constructo formativo de segundo orden; agregar al menos dos constructos reflectivos que surjan del constructo formativo de segundo orden o agregar un ítem reflectivo y un constructo reflectivo que surjan desde el constructo formativo de segundo orden (Diamantopoulos, Riefler y Roth, 2008).

Cuando el problema de identificación del modelo es resuelto agregando al constructo formativo de segundo orden dos o más ítems reflectivos, el modelo resultante coincide con un modelo tipo II según la clasificación de modelos formativos de segundo orden propuesta por Jarvis *et al.* (2003) *apud* Diamantopoulos, Riefler y Roth (2008).

La literatura debate si ese tipo de modelos pueden interpretarse como un modelo MIMIC (*multiple indicators and multiple causes of a single latent variable*). Algunos señalan que es correcto interpretar este tipo de modelos como modelos MIMIC, por lo tanto, los indicadores reflectivos pueden ser considerados consecuencias del constructo. Para otros, sería correcto interpretar el constructo de segundo orden como una variable latente construida a partir de indicadores tanto formativos como reflectivos (Diamantopoulos, Riefler y Roth, 2008). Por restricciones de

espacio no se profundiza en esa discusión. Únicamente se indica que se trata de un modelo MIMIC porque las variables latentes de primer orden son interpretadas como causas de la variable latente de segundo orden (índice formativo) y los ítems reflectivos que se le agregan son interpretados como sus consecuencias.

Nuevamente aquí, el proceso de validación del modelo estructural formativo de segundo orden MIMIC o de la escala de medición propuesta supone el análisis de su bondad de ajuste y de su validez de constructo (ver diagramas 3 y 4).

Al igual que en las secciones anteriores, las medidas para evaluar la bondad de ajuste del modelo MIMIC son ji-cuadrado, RMSEA, CFI y TLI con los mismos valores de corte. Las diferencias aparecen en algunos de los procedimientos que hay que realizar para evaluar la validez de constructo de la nueva escala de medición propuesta. Las pruebas de validez de constructo de segundo orden suponen:

1. Prueba de validez aparente: mismo procedimiento que el desarrollado en el cuarto apartado de este trabajo.
2. Cálculo del coeficiente de adecuación propuesto por Edwards (R2), que evalúa la significancia y fortaleza de la relación entre el constructo de segundo orden y los constructos de primer orden. Provee una medida de la validez de las variables latentes de primer orden como subdimensiones/componentes del constructo de segundo orden. Se calcula como el cociente entre la sumatoria de las correlaciones al cuadrado entre cada subdimensión y el constructo de segundo orden y la cantidad de subdimensiones o variables latentes de primer orden (Mackenzie, Podsakoff y Podsakoff, 2011) . Su magnitud indica en promedio la proporción de varianza que comparten los constructos de primer orden con el constructo de segundo orden. Si es de 0,5 o más, hay evidencia que sugiere una fuerte asociación entre el constructo de segundo orden y las subdimensiones o constructos latentes de primer orden que lo componen. Este coeficiente puede ser entendido como una prueba de validez convergente del constructo de segundo orden.
3. Cálculo del factor de inflación de la varianza (VIF, por sus siglas en inglés): el VIF es útil para estudiar la presencia o no de multicolinealidad entre las subdimensiones que componen el constructo de segundo orden, ya que los altos niveles de colinealidad entre

los constructos de primer orden no permiten conocer el aporte de cada uno de esos componentes a la formación del constructo de segundo orden. Si el VIF es mayor a diez existe multicolinealidad y es necesario revisar el modelo (Mackenzie, Podsakoff y Podsakoff, 2011).

4. Prueba de validez nomológica: mismo procedimiento que el desarrollado en este trabajo, con la variante de que se analizan además las correlaciones entre el constructo de segundo orden y todos los constructos de primer orden; y entre el constructo de segundo orden y los ítems reflectivos que le fueron agregados para asegurar su identificabilidad.

Si se cumplen todos los requisitos de bondad de ajuste y del análisis de validez, se puede concluir que el modelo de ecuaciones estructurales de segundo orden formativo representa de forma válida y confiable la estructura de los datos. La escala de medida desarrollada es válida y confiable y provee conocimiento para comprender sus determinantes.²¹

Reflexiones finales

El modelado estructural es una herramienta valiosa para los estudios en el campo de la CTIS en ALC, ya que es el único procedimiento estadístico que permite representar conceptos complejos inobservables directamente, analizar todas sus relaciones simultáneamente, elaborar indicadores válidos y confiables para su medición y considerar en la estimación los errores teóricos de predicción y de medición.

Estas son sus principales ventajas y las características distintivas, que lo posicionan por encima de otros procedimientos estadísticos multivariantes, ya que amplían la flexibilidad y la capacidad de modelar fenómenos multidimensionales y complejos que caracterizan el campo de la CTIS. Sin embargo, también impone ciertos requerimientos que de no cumplirlos determinan importantes limitaciones para el análisis estructural.

El primer requerimiento es contar con una amplia y sólida base de conocimiento teórico. Si bien esto es relevante en todo análisis estadístico,

²¹ La sección 4.3 de Contreras (2019) provee un ejemplo de la implementación práctica del MIMIC y el anexo 6 de la programación y salida completa de su estimación en M-PLUS.

lo es particularmente en el caso del modelado estructural, debido a que es una herramienta para examinar y poner a prueba la teoría.

El modelado estructural es un procedimiento que se implementa orientándose mucho más por la teoría que por los resultados empíricos. La teoría es necesaria tanto para la construcción de escalas de medición como para el análisis de las relaciones entre variables, ya que, para especificar los diferentes tipos de modelos, todas esas asociaciones deben ser previamente hipotetizadas (Hair *et al.*, 2014) y fundamentadas con base en la teoría y el conocimiento acumulado sobre el fenómeno objeto de investigación. La parte más decisiva del modelado estructural y de la que emergen más errores es justamente la “traducción” de la teoría en un determinado modelo (Nachtigall *et al.*, 2003).

El segundo requerimiento tiene que ver con las técnicas de estimación y la capacidad de cómputo. La técnica de estimación más ampliamente utilizada es la estimación por MV, pero, como se señaló, esta técnica tiene como principal limitación que produce resultados sesgados si las variables manifiestas no tienen una distribución normal de sus datos. En respuesta a esta limitante se han desarrollado técnicas de estimación alternativas: mínimos cuadrados generalizados y distribución libre asintótica, que no asumen una distribución específica de los datos, pero que sí requieren de tamaños muestrales muy grandes y además exigen gran capacidad de cómputo, lo que constituye la principal limitante para su empleo (Kline, 2011). Para superar este obstáculo se han desarrollado técnicas de estimación WLS robustas que permiten estimar con muestras no tan grandes y no exigen tanta capacidad de cómputo. El M-PLUS disponibiliza dos de esas técnicas de estimación: WLS con media ajustada y WLSMV (Kline, 2011).

En el modelado estructural existen ciertos aspectos que afectan el tamaño de la muestra mínimo requerido. La forma en que se distribuyen los datos de las variables manifiestas tiene implicancias sobre el tamaño de la muestra necesario. Como se señaló, conforme la forma en que se distribuyen los datos de las variables manifiestas se aleja del comportamiento de una variable normalmente distribuida, mayor será el tamaño de muestra requerido.

La presencia y tratamiento de los datos faltantes son importantes para evaluar la suficiencia del tamaño muestral. Tal como fue destacado, ante la presencia de un importante número de datos faltantes y el uso de técnicas tradicionales para su tratamiento, es necesario aumentar el tamaño de la muestra para alcanzar soluciones generalizables.

También son necesarias muestras más grandes cuando las cargas factoriales de los ítems son bajas y, por tanto, los constructos explican solo una parte pequeña de la variación de sus ítems (Hair *et al.*, 2014) .

La complejidad del modelo también incide en el tamaño de la muestra, modelos más complejos requieren de mayores tamaños muestrales. Conforme aumentan la cantidad de constructos o la presencia de constructos subidentificados, mayor es la necesidad de muestras grandes (Hair *et al.*, 2014) .

Estas exigencias respecto al tamaño de la muestra representan un desafío importante en ALC. En la región existe una gran heterogeneidad en relación con el acceso público a base de datos con información estadística sistemática y de calidad. Si bien la amplia mayoría de los países de la región cuenta con información estadística sobre ciencia, tecnología e innovación y otras dimensiones importantes que hacen al campo de la CTIS, su acceso es limitado. Mientras que algunos países cuentan con mecanismos y procedimientos transparentes para acceder a dichas bases de datos, en muchos otros el acceso está altamente restringido. Además, otro desafío para la región tiene que ver con la calidad y la sistematicidad en el levantamiento de datos. En algunos casos, las fuentes de información están discontinuadas y desactualizadas, ya sea en términos de las variables que se relevan como la periodicidad con que se hace. Esto también limita severamente la obtención de datos y estudios longitudinales y con ello las posibilidades de análisis.

Finalmente, un tema que no ha sido tratado en este capítulo pero que no hay que desconocer, tiene que ver con el alcance del modelado estructural respecto a su capacidad para inferir causalidad. Este debate tiene larga data en la literatura especializada. Mientras algunos autores los más disruptivos con la corriente principal sostienen que sí pueden interpretarse e inferirse relaciones causales (Pearl, 2000) , otros señalan que dichas relaciones pueden inferirse si y solo si se garantizan ciertas condiciones (Nachtigall *et al.*, 2003) . Siguiendo a Hair *et al.* (2014) dichas condiciones son: covarianza entre la “causa” y el “efecto”, ya que el cambio en una produce el cambio en otra; secuencia de los acontecimientos, la “causa” debe ocurrir antes que el “efecto”, lo que se puede conseguir solo con diseños experimentales o utilizando datos longitudinales; covarianza no espuria, hay que descartar la existencia de terceras variables que puedan estar afectando la causa o la consecuencia y una teoría, aunque las condiciones anteriores se constaten empíricamente, debe existir un base teórica fuerte que sostenga dichas relaciones causales y les dé sentido conceptual.

Bibliografía

- Asparouhov, T. y Muthén, B. O. (2010). *Weighted Least Squares Estimation with Missing Data*. Los Ángeles, CA: Muthén & Muthén. Disponible en: <http://www.statmodel.com/download/GstrucMissingRevision.pdf>
- Bollen, K. A. (1989). *Structural equations with latent variables*. Londres: J. W. Parker & Sons.
- Bollen, K. y Long, S. (eds.) (1993). *Testing structural equation models*. Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Brown, T. (2015). *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research*. New York: The Guilford Press.
- Browne, M. W. (2001). "An overview of analytic rotation in exploratory factor analysis". *Multivariate Behavioral Research*, vol. 36, n° 1, pp. 111-150. DOI: https://doi.org/10.1207/S15327906MBR3601_05.
- Cevallos Gamboa, A., Duque Oliva, E. J. y Echeverría Suárez, T. (2018). "Validación del constructo capacidad de innovación utilizando el análisis factorial confirmatorio en Ecuador". *Espacios*, vol. 39, n° 11.
- Contreras, S. (2019). *Vulnerabilidad energética en Montevideo y área metropolitana: conceptualización, medición y distribución*. Tesis de maestría en demografía y estudios de población. Universidad de la República, Montevideo. Disponible en: https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/23444/1/TUM_ContrerasSoledad.pdf.
- Diamantopoulos, A., Riefler, P. y Roth, K. P. (2008). "Advancing formative measurement models". *Journal of Business Research*, vol. 61, n° 12, pp. 1203-1218. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2008.01.009>.
- Dillon, W. y Goldstein, M. (1984). *Multivariate analysis: methods and applications*. Estados Unidos: Wiley.
- Enders, C. (2010). *Applied Missing Data Analysis*. New York: The Guilford Press.
- Finney, S. y Distefano, C. (2006). "Nonnormal and Categorical Data in Structural Equation Modeling". En Hancock, G. y Mueller, R. (eds.), *Structural Equation Modeling*. Charlotte, NC: Information Age Publishing.

- Gras, N. (2018). *La evaluación de la investigación y su relación con la producción de conocimiento: un análisis estructural para el Sistema Nacional de Investigadores de México*. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales. Universidad Autónoma Metropolitana, Ciudad de México. Disponible en: <http://biblioteca.xoc.uam.mx/tesis.htm?fecha=00000000&archivo=cdt115520owqe.pdf&bibliografico=181106>.
- Hair, J.; Black, W.; Babin, B. J. y Anderson, R. E. (2014). *Multivariate Data Analysis*. Estados Unidos: Pearsons.
- Jarvis, C. B., MacKenzie, S. B., & Podsakoff, P. M. (2003). A critical review of construct indicators and measurement model misspecification in marketing and consumer research. *Journal of consumer research*, 30(2), 199-218.
- Kaiser, H. F. (1960). "The application of electronic computers to factor analysis. Educational and Psychological Measurement". *Statistical Design for Research*, vol. 20, n° 1, pp. 141-151.
- Kish, L. (2004 [1987]). *Statistical design for research*. Estados Unidos: Wiley.
- Kline, R. (2011). *Principles and Practice of Structural Equation Modeling*. New York: The Guilford Press.
- Laverde Rojas, H. y Gómez Ríos, J. J. (2015). "Medición de la pobreza multidimensional en América Latina a través de modelos estructurales". *Cooperativismo e Desarrollo*, vol. 23, n° 106. DOI: <https://doi.org/10.16925/co.v23i106.1130>.
- Mackenzie, S. B., Podsakoff, N. P. y Podsakoff, P. M. (2011). "Construct Measurement and Validation Procedures in MIS and Behavioral Research: Integrating New and Existing Techniques". *MIS Quarterly*, vol. 35, n° 2, pp. 293-334.
- Manzano, A. y Zamora, S. (2009). *Sistema de ecuaciones estructurales: una herramienta de investigación*. México: CENEVAL.
- Mulaik, S. A. (2010). "Foundations of Factor Analysis". *International Statistical Review*. Boca Raton/Londres/Nueva York: CRC Press.
- Muñoz van den Eynde, A. (2018). "Imagen de la ciencia en Chile: aportes del Modelo Pica". En Arancibia Gutiérrez, M., Camacho González, J., Garretón Merino, M. A., Molina, R. R., Muñoz Van den

- Eynde, A. y Polino, C. *Ciudadanía: ciencia y tecnología*, pp. 73-142. Santiago de Chile: CNICYT.
- Muthén, B. O. (1993). "Goodness of fit with categorical and other non-normal variables". En Bollen, K. y Long, S. (eds.), *Testing structural equation models*. Thousand Oaks, CA: SAGE.
- _____ (1998-2004). *Mplus Technical Appendices*. Los Ángeles, CA: Muthén & Muthén.
- Muthén, B. O. y Asparouhov, T. (2002). *Latent Variable Analysis with Categorical Outcomes: Multiple-Group and Growth Modeling In Mplus*. Los Ángeles, CA: Muthén & Muthén. Disponible en: <https://www.statmodel.com/download/webnotes/CatMGLong.pdf>.
- Muthén, B. O. y Muthén, L. K. (1998-2015). *Mplus User's Guide*. Los Ángeles, CA: Muthén & Muthén.
- Muthén, B.; du Toit, S. y Spisic, D. (1997). *Robust Inference using Weighted Least Squares and Quadratic Estimating Equations in Latent Variable Modeling with Categorical and Continuous Outcomes*. Disponible en: https://www.statmodel.com/download/Article_075.pdf.
- Muthén, B. y Muthén, L. (2002). "How to Use a Monte Carlo Study to Decide on Sample Size and Determine Power". *Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal*, vol. 9, n° 4, pp. 599-620. DOI: https://doi.org/10.1207/S15328007SEM0904_8.
- Nachtigall, C.; Kroehne, U.; Funke, F. y Steyer, R. (2003). (Why) Should We Use SEM? *Methods of Psychological Research*, vol. 8, n° 2, pp. 1-22.
- Núñez-Ramírez, M. A.; Mercado-Salgado, P. y Banegas-Rivero, R. A. (2015). "Relación entre la cultura organizacional (flexible y rígida) y capital intelectual". *Conciencia Tecnológica*, n° 49, pp. 4-11.
- Pazmiño-Santacruz, M. y Afcha-Chávez, S. (2019). "Influencia de la capacidad para la gestión del conocimiento en el desarrollo de la innovación de procesos". *Interciencia*, vol. 44, n° 3, pp. 138-144. Disponible en: <https://www.redalyc.org/jatsRepo/339/33958848005/33958848005.pdf>.
- Pearl, J. (2000). *Causality: Models, Reasoning and Inference*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Reyna-García, G.; Molina-Morejón, V. y Cortina-Bernal, J. (2018). “Modelo causal: Innovación – colaboración – desempeño económico”. *VinculaTégica*, n° 4, pp. 297-306.
- Rigdon, E. E. (1996). “CFI versus RMSEA: A comparison of two fit indexes for structural equation modeling”. *Structural Equation Modeling*, vol. 3, n° 4, pp. 369-379. DOI: <https://doi.org/10.1080/10705519609540052>.
- Rubin, D. B. (1976). “Inference and missing data”. *Biometrika*, vol. 63, n° 3, pp. 581-592. DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/63.3.581>.
- Yates, A. (1987). *Multivariate Exploratory Data Analysis: A Perspective on Exploratory Factor Analysis*. Nueva York: State University of New York Press.

Capítulo 6

Uso de paneles de datos para la evaluación de la política de innovación

Florencia Fiorentin, Mariano Pereira, Diana Suárez

Introducción

Los estudios de evaluación de la política pública, una rama dentro de los estudios de la ciencia, tecnología e innovación (CTI), proponen identificar relaciones de causalidad entre el proceso de acceso a la política pública y el impacto en el objeto de promoción. La pregunta de estos estudios es acerca de la situación que resulta de la intervención pública, que debería ser mejor respecto de la previa, sin intervención. En este capítulo se reflexiona sobre las implicancias metodológicas de la estimación de este tipo de situaciones a partir de paneles de datos.

Medir el impacto de la política pública implica analizar situaciones contrafactuales, actividad imposible por naturaleza. Implica además asumir que es posible controlar todos los factores que podrían afectar la conducta (incluidas otras herramientas de promoción) de los/las sujetos/as reales o potencialmente beneficiarios/as (firmas o personas, según el instrumento), evaluada en un momento del tiempo, para aislar el efecto de la política analizada. Supone también analizar el impacto de la política en un conjunto de dimensiones de asignación y/o impacto, no necesariamente vinculadas con el objeto original de la intervención, por ejemplo, el impacto en las exportaciones de una política de fomento de la investigación y desarrollo (I+D). Se trata de un tipo de análisis que es central para el estudio reflexivo de la relación entre problema e

intervención pública, y un insumo clave para las discusiones sobre la continuidad de la política.

Este capítulo se centra en la evaluación de los procesos de asignación e impacto de la política de innovación a nivel de la firma (de aquí en más PI), materializados a través de fondos públicos para la innovación, con una perspectiva cuantitativa. En algunos casos, el análisis aquí propuesto es extrapolable a la política científica y tecnológica a nivel de equipos o investigadores/as individuales. Observaremos los determinantes de acceso y las modificaciones directas que se producen en el/la sujeto/a beneficiario/a dado el acceso. Esto deja por fuera del análisis el impacto indirecto de la política, que podría surgir a partir de la interacción del/ de la beneficiario/a con su entorno. Sin embargo, en la medida en que proponemos técnicas para la identificación de patrones de causalidad, el análisis podría extenderse para incluir situaciones más allá de los/as beneficiarios/as.

Medir el impacto de la PI implica analizar la intersección de dos fenómenos dinámicos y complejos. Por el lado de la firma, el proceso innovativo, que no se agota en el proyecto financiado, y que empezó antes de iniciar incluso su formulación (Nelson y Winter, 1982). Por el lado de la política, tiene su propio ciclo, que se vincula también con la instancia de ejecución de los instrumentos, la trayectoria de la agencia a cargo de la asignación, el tipo de instrumento y su evolución en el tiempo (Borrás y Edquist, 2013). Todo ello da lugar a una serie de consideraciones que debe ser incluida al momento de diseñar una estrategia de abordaje metodológico, y que es tan importante como el marco teórico con que se define la pregunta de investigación.

El presente capítulo se estructura como sigue. Luego de esta introducción, el siguiente apartado discute las implicancias del marco conceptual de la política. En el tercer apartado se propone un análisis comparado del proceso innovativo vis a vis con el proceso de financiamiento público, lo que permite identificar dimensiones de impacto. En el siguiente apartado, el cuarto, se reflexiona en torno a las especificidades para América Latina y el Caribe (ALC). El quinto apartado aborda las estrategias metodológicas vinculadas con los estudios dinámicos. Finalmente, se proveen algunas recomendaciones generales e implicancias para el análisis.

El marco conceptual de las PI

Determinantes del proceso de intervención pública para la innovación

La relevancia de la innovación y de la política para fomentarla es sin duda uno de los mayores consensos en el interior de la literatura. Existen distintos marcos teóricos que justifican su importancia y ello afecta la forma en que se aborda su evaluación. La literatura *mainstream* justifica la intervención por la existencia de *fallas de mercado*, dado que el conocimiento requerido para desarrollar procesos de innovación tiene características de bien público (Arrow, 1962; Nelson, 1959). Eso conlleva a que las empresas que crean ese conocimiento tienen dificultades para apropiarse de todo el beneficio que este generaría y ello implica un desincentivo a invertir, alcanzándose un equilibrio por debajo del óptimo social. Además, dada la incertidumbre vinculada con poner en marcha un proyecto de innovación, las empresas se ven poco atraídas a invertir. Toda esta incertidumbre afecta también el acceso al financiamiento y limita aún más las decisiones de innovar. Así, el estado debe promover la actividad innovativa de las empresas para que alcancen el óptimo social y converja con el privado.

Aunque la justificación de la intervención por la existencia de fallas de mercado sigue ocupando gran parte de la discusión teórica, en los últimos años han surgido miradas más complejas para estudiar la PI (Metcalf, 2005; Lee, 2013; Edler y Fagerberg, 2017). Desde una mirada más cercana a la complejidad y los sistemas nacionales de innovación (SNI), se comenzó a pensar la promoción pública de la innovación vinculada con la presencia de *fallas sistémicas* y de *capacidades* (Metcalf, 2005; Lundvall *et al.*, 2009; Lee, 2013). Esta mirada advierte que la propensión a invertir en el interior de las firmas no está vinculada únicamente con los problemas de apropiabilidad o financiamiento, sino también con el carácter tácito del conocimiento y la innovación. Por lo tanto, para innovar las empresas precisan haber alcanzado un nivel mínimo de capacidades de absorción, de conectividad y de innovación (Barletta *et al.*, 2017). En este caso, la intervención pública se asocia a la promoción de las capacidades, siendo las capacidades en innovación la dimensión fundamental de la evaluación de PI.

El nivel de desarrollo del SNI, que incluye las capacidades de conexión, el nivel de la infraestructura, la disponibilidad de instituciones, la política a otros niveles, entre otras, también influye sobre el tipo de política que

debe desarrollarse y el impacto que tendrá en las empresas. También, desde luego, en el tipo de capacidades requeridas para el desarrollo competitivo de las firmas. Por tanto, no solo se destacan las capacidades de las empresas para tener conocimiento sobre la disponibilidad de fondos, formular un proyecto acorde, presentarlo y luego implementarlo, sino también la capacidad de las agencias públicas para interpretar el entorno y actuar en consecuencia.

Los estudios de impacto: inputs, output y desempeño

La PI puede clasificarse dentro de los llamados enfoque vertical y enfoque horizontal; y según se trate de un enfoque de oferta o de demanda. Desde la perspectiva de fallas de mercado, se asume que las empresas tienen racionalidad e información perfecta. La política, entonces, debe seguir un enfoque horizontal (dirigido a todos los sectores) y de demanda (ofrecer fondos que las empresas solicitan). En este marco, las empresas deben “competir” por los fondos, generando así mecanismos de cuasimercado en la asignación. Las lógicas y fuerzas del mercado permitirían que los recursos otorgados por el Estado se dirijan a aquellas empresas que van a utilizarla de la manera más eficiente y rentable.

Las políticas verticales y de oferta se basan en la promoción de ciertos sectores o tipos de empresas, que se consideran relevantes para el desarrollo económico estratégico a nivel agregado. Aunque estas políticas pueden considerarse a partir de un enfoque de fallas de mercado, en general se basan en marcos conceptuales de mayor complejidad. Estas políticas poseen una perspectiva que va más allá de financiar la innovación, y buscan incidir en la conducta de la firma y cerrar brechas a nivel agregado. La idea general es que los/as beneficiarios/as a quienes se dirige la política se desarrollen en un sentido amplio, para que mejore el bienestar económico y social a nivel general.

En este marco, las evaluaciones de política desde la perspectiva de fallas de mercado, que promueve el diseño horizontal y de demanda, se centran en estudiar sus efectos sobre el desempeño innovativo y económico de las empresas. La pregunta que se busca responder es en qué medida la intervención logra cumplir sus objetivos, es decir, que las empresas inviertan por encima de lo que hubiesen invertido sin la intervención. Dentro de este grupo de estudios se encuentra la literatura clásica de impacto sobre los efectos de adicionalidad o desplazamiento (*crowding*

in y *crowding out* en inglés) (Hall y Maffioli, 2008; López-Acevedo y Tan, 2010; Aboal y Garda, 2015; Crespi *et al.*, 2015). Si la política genera efectos de adicionalidad –las empresas invierten montos mayores de los que hubiesen invertido sin haber accedido a fondos–, es efectiva y contribuye a la convergencia entre el óptimo privado y social. Caso contrario, si las firmas reemplazan el financiamiento privado con fondos públicos, la política generaría efectos de desplazamiento de la inversión privada y no cumpliría con su objetivo. En estos casos el estudio de impacto se realiza sobre los efectos de la política (el tratamiento) en los *inputs* de las empresas (gasto en investigación y desarrollo o actividades de innovación) o en los *outputs* (resultados de innovación).

Del enfoque sistémico, la puesta en marcha de un proyecto implica varias etapas que involucran a la agencia pública y a la firma. Por lo tanto, la política es un proceso dinámico y cambiante que tiene que ser evaluado en función de todas esas características. Ello ha permitido el surgimiento de estudios dinámicos que evalúan no solo los efectos inmediatos del acceso a financiamiento, sino también los efectos posteriores (Clarysse, Wright y Mustar, 2009; Gök y Edler, 2012; Fiorentin, Pereira y Suárez, 2019; Berrutti y Bianchi, 2020). En el corto plazo es probable que el desarrollo del proyecto requiera la formación de recursos humanos o la contratación de personal calificado. En el mediano plazo, el proyecto ya se ha puesto en marcha y la empresa debiera realizar inversiones complementarias. Es esperable, entonces, que la política no impacte sino hasta que haya pasado cierto tiempo y la inversión haya madurado. El desarrollo de un nuevo producto y su comercialización sucederá naturalmente en las últimas etapas del proyecto. Solo después de ello la política debiera afectar el desempeño económico y/o exportador de la empresa. En general, cuando el fenómeno del tiempo es adecuadamente incluido, la política se verifica exitosa en términos de impacto, en todas las variables estudiadas (*input*, *output* y desempeño).

Los estudios de asignación: determinantes y recurrencia en el acceso a fondos públicos

La literatura ha puesto el foco progresivamente en el proceso de asignación de fondos públicos (Góngora-Biachi, Madrid Guijarro y García Pérez de Lema, 2009; Cantner y Kösters, 2012). Los estudios de asignación son menos frecuentes y parten de asumir alguna asociación entre los

determinantes de acceso y el impacto de la PI. El argumento es que la política se diseña, implementa y evalúa esperando que afecte a todas las empresas por igual (o al menos en un nivel medio representativo). Esto es, los instrumentos de fomento ofertan como si todas las firmas tuvieran la misma posibilidad de acceso y como si al acceder todas debieran alcanzar los mismos resultados. Se ignora una cuestión central de la literatura: la existencia de microheterogeneidad (Nelson, 1991; Srholec y Verspagen, 2012). Los procesos de innovación en términos de estrategias, rutinas, vinculaciones y tipo de información que circula en el interior de las empresas son distintos en cada una, incluso en un mismo sector de actividad, sin ser mejores o peores entre sí (Pavitt, 2009). En este marco, se ofertan instrumentos de promoción iguales para todas las empresas, ya sea de diseño horizontal o vertical, que ignoran que la heterogeneidad implicaría que algunas empresas tengan más posibilidad de acceso que otras. En consecuencia, la política que en principio es neutra a nivel general o de un sector de actividad, se vuelve selectiva en la práctica, pudiendo incluso profundizar las brechas estructurales.

Además, si la innovación es un proceso que requiere el previo desarrollo de capacidades, es esperable que las empresas de mayores capacidades sean las que tengan conocimiento sobre la disponibilidad y mecanismos institucionales para aplicar a fondos. Por lo tanto, la política estaría sesgada hacia esas empresas de altas capacidades, que suelen evidenciar un mejor desempeño innovativo y económico, y dejaría relegadas a aquellas de menor dinamismo. A este respecto, Fiorentin, Suárez y Yoguel (2021) estudiaron el rol de las capacidades de la firma en el proceso de acceso al Fondo Tecnológico Argentino (FONTAR), que es el principal fondo nacional de promoción de la innovación en la Argentina. El artículo analiza la relación entre tres tipos de capacidades de la firma – productivas, innovativas y de conectividad y dos instancias del proceso de acceso al FONTAR: 1) el hecho de que las firmas conozcan la existencia de fondos públicos y, de ser así, 2) cuándo se convierten en beneficiarias. La estrategia empírica se basó en la segunda ola de la Encuesta Nacional de Dinámica de Empleo e Innovación 2014-2016 (ENDEI II), equivalente a las encuestas nacionales de innovación. La estrategia metodológica se basó en un modelo probit ordenado con tratamiento de endogeneidad. Los resultados confirman que el acceso a fondos públicos para la innovación demanda diferentes capacidades en los diferentes momentos del proceso. En una primera instancia, las capacidades productivas y de innovación aumentan las probabilidades de que las empresas conozcan el FONTAR.

Tras pasado ese primer umbral, las capacidades de innovación y conectividad afectan sus probabilidades de acceso. Esta evidencia confirma que las capacidades son tanto una condición necesaria para acceder al financiamiento público como un requisito previo para conocer su existencia. Además, pone de relieve que la PI debe pensarse en articulación con otras políticas de promoción de las dimensiones productivas de las empresas.

Otro elemento que se deriva de esta relación entre capacidades y acceso es el fenómeno del “efecto Mateo” o recurrencia (David, 1994; Antonelli y Crespi, 2013; Pereira y Suárez, 2018). En sus orígenes, el efecto Mateo, basado en Merton (1968), argumenta que existen casos en los que la asignación de financiamiento se basa más en la reputación de la firma que en el proyecto presentado. La existencia de incertidumbre y limitaciones en las capacidades de la agencia a cargo de la admisión y adjudicación de los proyectos afecta el proceso de selección, en la medida en que la elección se basa más en el perfil de la empresa que aplica y menos en las características del proyecto presentado. En este sentido, el sesgo aparece dada la menor incertidumbre que implicaría financiar una empresa destacada respecto de una desconocida. En simultáneo, ese resultado contribuye a que las evaluaciones de la política confirmen su efectividad, garantizando así su continuidad.

Ahora bien, el efecto Mateo original puede adquirir una configuración más compleja. La literatura ha mostrado que las empresas pueden ser recurrentes por una cuestión de reputación, pero también por los procesos de aprendizaje y acumulación de capacidades que resultan del diseño y puesta en marcha de los proyectos de innovación (Pereira y Suárez, 2017; Fiorentin, Pereira y Suárez, 2019). Las empresas financiadas adquieren la práctica de completar los formularios e implementar los proyectos. Adicionalmente, tienen las capacidades de innovación requeridas para desarrollar proyectos de alta viabilidad económica, financiera y tecnológica y, por lo tanto, alta probabilidad de volver a ser financiadas. Nuevamente, la política, que en principio se manifiesta neutra, resulta en una asignación sesgada hacia aquellas que han sido previamente financiadas, ya sea por prestigio y/o capacidades.

Es fundamental, entonces, incluir en el análisis el proceso de asignación, no solo porque es una etapa clave del ciclo de la política, sino porque en su diseño la política podría excluir a empresas de menor dinamismo, profundizando así procesos divergentes de heterogeneidad estructural.

El proceso innovativo y los momentos de la PI

Consideraciones respecto de la naturaleza dinámica e interactiva de la innovación

De lo desarrollado en el segundo apartado se desprende que, además de las consideraciones teóricas vinculadas al por qué de la intervención, es preciso identificar el momento sobre el cual se realiza el recorte, tanto en términos de la política como en términos de la firma, de manera de incluir las consideraciones necesarias en la estrategia de análisis. Estas consideraciones pueden distinguirse entre elementos *ex ante*, relativos al momento de aplicar a fondos públicos, y elementos *ex post*, vinculados con el análisis de la situación posterior al acceso.

Consideraciones ex ante

Cuando la firma decide aplicar a fondos públicos para la innovación, lo hace en el marco de un proyecto que se inició antes de la solicitud de financiamiento. La identificación del problema a resolver o la novedad que puede mejorar su posición en el mercado tuvo lugar porque la firma cuenta con un mínimo de capacidades productivas, innovativas, organizacionales, de conectividad y, especialmente, dinámicas (Teece, 2007). Luego, necesitó capacidades para reconocer un instrumento de promoción y habilidades para plasmar la búsqueda de una solución en el formulario con el cual solicita el beneficio. Esto explica el sesgo de selección que aparece al tratar con firmas beneficiarias e incluso con firmas que han presentado proyectos, pero no fueron adjudicadas. Dicho sesgo es previo a cualquier tratamiento posible en la base de datos y solo puede ser parcialmente controlado si se cuenta con información sobre firmas que no han aplicado a los instrumentos que integran la PI.

A este respecto, en la literatura se verifica la existencia de umbrales para acceder a fondos públicos para la innovación, dados por la existencia de condiciones previas de innovación, de tamaño, de sector de actividad e incluso de localización geográfica, que hacen a la firma más proclive a participar de los instrumentos (Zúñiga Vicente *et al.*, 2014). La literatura también muestra diferencias significativas entre las firmas que conocen la existencia de políticas de promoción, independientemente de haber aplicado o no, y las firmas que declaran no conocer la existencia de esos

fondos (Lerena, Martínez Correa y Pereira, 2017). Por tanto, cuando fuera posible, es necesario controlar ese diferencial de capacidades y microcaracterísticas. Cuando ello no es posible (por ejemplo, por contarse solo con información de registro del mismo instrumento), es importante tenerlo presente al momento de analizar los resultados.

Otros elementos *ex ante* a considerar son el hecho de haber participado en otros instrumentos de promoción (industriales, de empleo o de innovación), así como la recurrencia en el acceso al mismo instrumento. La firma bajo estudio posee trayectorias de tipo *path dependence*, que hacen que sea prácticamente imposible aislar el efecto del tratamiento de todos los otros tratamientos a los que es sometida, incluido el entorno próximo y los condicionantes macroeconómicos. Con mayor frecuencia, la extensión de los paneles de datos, tanto de encuestas de innovación como de instrumentos de apoyo a la innovación, han permitido el desarrollo de estrategias de medición más complejas, que incluyen retardos temporales (ver más adelante). A este respecto, resulta interesante distinguir entre la primera vez que la firma accede al instrumento bajo análisis y las veces siguientes (la recurrencia). Así, es posible analizar las condiciones iniciales de acceso al financiamiento, que pueden servir de insumo para la formulación de criterios de política respecto de los condicionantes de acceso y la forma de maximizar o enfocar el conjunto deseado de beneficiarios/as.

En relación con el entorno, su consideración resulta especialmente importante para las comparaciones internacionales, ya que no será lo mismo analizar firmas localizadas en países desarrollados y en desarrollo. Cuando el análisis se limita a un mismo entorno nacional, resulta clave conocer el momento del ciclo económico para tener un marco general de referencia al momento de analizar los datos, incluso si son atravesados por diferentes etapas del ciclo. Desde luego, el análisis con modelos dinámicos permite cierto control temporal, bajo el supuesto de que todas las firmas son afectadas de igual manera.

Consideraciones ex post

La literatura de innovación, en especial la que estudia los procesos de persistencia innovadora (Cefis y Orsenigo, 2001; Suárez, 2012), verifica la existencia de impactos que se extienden en el tiempo y se retroalimentan entre sí. En ese marco, los proyectos de innovación persiguen resultados

de distinto plazo. La implementación de maquinaria nueva da lugar a resultados rápidamente medibles, mientras que los proyectos intensivos en I+D pueden demorar más tiempo en manifestarse en dimensiones de productividad. De la misma forma, la mejora en las capacidades de la firma, producto de los procesos de innovación suelen aparecer antes que las innovaciones logradas, incluso ser independientes de ellas. En todos los casos, es esperable observar impactos de corto, mediano y largo plazo. Así, el proyecto financiado con fondos públicos puede ser parte de cualquiera de estos procesos y su impacto también puede manifestarse en cualquiera o todas las dimensiones señaladas, dependiendo de la ventana temporal analizada.

Fiorentin, Pereira y Suárez (2019) analizaron el impacto del FONTAR en las capacidades, conducta innovativa y desempeño económico de la firma y diferenciaron entre firmas recurrentes y no recurrentes. El análisis se basó en el registro de empresas que aplicaron al FONTAR entre 2007 y 2016, beneficiarias o no. Estimaron un modelo de variable dependiente rezagada, incluidas las soluciones de Mundlak, Chamberlin y Wooldridge para efectos fijos e inobservables. Se definió como recurrentes a aquellas empresas que accedieron más de una vez a cualquier instrumento del FONTAR en el período estudiado. Los resultados muestran efectos de corto plazo del acceso a FONTAR sobre las capacidades de las empresas, medidas en función de los recursos humanos calificados (1-3 años), efectos a medio plazo sobre los esfuerzos de innovación, estimados a partir de las inversiones en estas actividades (4-5 años) y efectos a largo plazo sobre la productividad, aproximada en términos de las ventas por ocupado (+ 6 años). Si bien el efecto sobre la productividad es mayor entre las empresas recurrentes, las diferencias entre empresas recurrentes y no recurrentes no son concluyentes en el caso de capacidades y esfuerzos de innovación. Estos resultados resaltan la importancia de las evaluaciones dinámicas de las políticas públicas, en la medida en que la ventana de tiempo requerida depende de la dimensión de impacto a evaluar. Similares resultados se observan en evaluaciones de impacto de otros países de la región (Hall y Maffioli, 2008; Fiorentin, Pereira y Suárez, 2019).

En consecuencia, no existen *a priori* elementos para juzgar las bondades o limitaciones de un instrumento de promoción a partir de los resultados alcanzados inmediatamente finalizado el proyecto financiado. Tales conclusiones solo son posibles con análisis de datos de panel, que son los únicos que permiten observar el mismo caso en el tiempo.

Así, al momento de diseñar una estrategia de medición de impacto, es importante considerar la ventana de tiempo bajo estudio y cuáles son los impactos que podrían suceder durante ese período. Esta consideración debe incluir el tipo de instrumento bajo análisis y su duración, las actividades financiadas, el objetivo del instrumento y, desde luego, el hecho de que los resultados alcanzados corresponden a valores medios de un set de datos que se compone de sujetos heterogéneos.

Un segundo set de consideraciones sobre la definición de la estrategia metodológica corresponde al tipo de instrumento bajo análisis. La especificidad de cada política define el tipo de actividad innovativa a financiar y el resultado esperado. Por tanto, y en sentido estricto, el éxito de la política estará dado por la consecución exitosa de la innovación perseguida por el proyecto financiado. Adicionalmente, la política será más efectiva si promueve procesos de *crowding in*, y será perjudicial cuando dispara procesos de *crowding out*. Por último, impactará en la dimensión económica de la firma si esta mejora su desempeño económico dado el acceso (comúnmente productividad, ventas, exportaciones y/o empleo).

Aunque todos esos abordajes son válidos para analizar el rol del sector público, en particular, aquel que promociona la innovación a nivel de la firma, no todos ellos son igualmente válidos para evaluar el éxito o fracaso de la política en sí. La evidencia respecto de la innovación a nivel de la firma muestra que los procesos innovativos basados en la incorporación de maquinaria y/o equipo tienden a ser ahorradores de mano de obra, aunque las mejoras en la productividad que de ellas se derivan conducen a la expansión de la firma, incluido su nivel de empleo (Coad y Rao, 2011). Otros también encuentran que este tipo de innovaciones genera cambios en la composición de las calificaciones del personal (Pereira y Tacsir, 2016; Petelski, Milesi y Verre, 2019). Se observa también en la literatura que las innovaciones de producto basadas en la I+D tienen períodos de maduración más largos que los basados en bienes de capital (Goedhuys, 2007). En consecuencia, una política será más o menos exitosa o eficiente, o tendrá mayor o menor impacto, dependiendo de las características de las convocatorias y la dimensión de impacto bajo análisis. Así, múltiples abordajes analíticos son posibles, todos ellos igualmente válidos, pero con diferencias significativas respecto de la evaluación que pueda hacerse de la política.

En todos los casos, resulta clave identificar el objetivo de la política, la duración de los proyectos que pueden aplicar y el tipo de inversiones promovidas. No es lo mismo un análisis de impacto de la política en

términos de los/as sujetos/as beneficiarios/as que evaluar en qué medida la política ha alcanzado los objetivos para los que fue diseñada.

Consideraciones sobre el ciclo de la política

Existe otro conjunto de literatura basado en los informes y documentos relativos a la política misma, usualmente publicado por los organismos a cargo de su gestión. Estos informes suelen incluir el análisis de las bases, contexto y evolución de los programas. Adicionalmente, existe también todo el abanico de estudios cualitativos, de corte académico, que contempla los procesos históricos en los niveles nacional, local y regional, que da cuenta de macrorrelaciones de causa y consecuencia y de elementos de evaluación que exceden a la política que pretenda analizarse (por ejemplo, Crespi y Dutrénit, 2013). Esta literatura da cuenta del ciclo de la política y aunque es difícilmente comparable internacionalmente, permite obtener una visión amplia de la política bajo análisis, que deberá ser contemplada al momento de diseñar la estrategia de medición y su análisis.

La cantidad y tipo de consideraciones que caben a esta dimensión es tan amplia como el tipo de preguntas de investigación que puedan formularse. Sin embargo, es posible establecer una serie de cuestiones generales que hace a las evaluaciones de impacto. Estas consideraciones se refieren al momento evolutivo de la agencia pública de promoción, el objetivo de la política en términos de beneficiarios/as y resultados esperados y la dinámica del proceso de aplicación y selección.

Definido el ciclo de la política como el proceso circular de diseño, implementación, monitoreo y ajuste de los instrumentos (Dutrénit y Puchet Anyul, 2020), el tipo de evaluación de la política quedará sujeta a la cantidad de años transcurridos desde el inicio del primer ciclo. Cuando la política es de reciente implementación, no será posible observar el abanico de impactos posibles. Por el contrario, cuando se trata de políticas de amplia trayectoria, el margen de información disponible permite abordajes más complejos. Sin embargo, a medida que la política evoluciona, es probable que los instrumentos que la componen se modifiquen. Estos cambios pueden afectar la comparabilidad de los datos y por tanto de las relaciones de causa y consecuencia esperadas.

En materia de asignación, a medida que se suceden ciclos de implementación y ajuste, se generan procesos de aprendizaje en el interior de la agencia pública que afectan el proceso. Es esperable que esta acumulación

de capacidades modifique los instrumentos de acceso (los formularios) y el proceso de evaluación de los proyectos. De esta forma, se modifica en el tiempo el impacto de la asimetría de información y habilidades necesarias para identificar los mejores proyectos, modificándose en simultáneo la definición misma del significado de “mejor proyecto”. Incluso, las evaluaciones que se hagan de esa política modificarán el proceso de selección y asignación. Aunque difícilmente se pueda aislar cuantitativamente el impacto de estos cambios, es importante su consideración al momento de analizar los resultados y derivar conclusiones.

El segundo elemento se relaciona con el/la sujeto/a de la política. Por lo general, dentro de cada política de promoción existen varios instrumentos dirigidos a distintos/as beneficiarios/as, dados por decisiones estratégicas de intervención. En las políticas horizontales, la asignación de beneficios promocionales suele estar sesgada hacia los sectores más dinámicos en materia de innovación, dado el mayor peso de estas actividades en su competitividad (ver Zúñiga Vicente *et al.*, 2014 para una síntesis de las evaluaciones). Desde luego, los instrumentos verticales tendrán sesgados el tipo de beneficiarios/as por definición. Lo mismo sucede para los instrumentos específicos de promoción, tal es el caso de la promoción de empresas jóvenes, PyMES, emprendimientos de base tecnológica, localizaciones geográficas específicas o sectores estratégicos definidos en los planes nacionales.

Ahora bien, existen elementos menos evidentes que afectan la selección de beneficiarios/as. El monto máximo de financiamiento genera incentivos para algunas empresas, pero se vuelve un desincentivo para otras dependiendo de la escala. Instrumentos sesgados hacia la promoción de la I+D generarán más incentivos entre empresas de mayor intensidad tecnológica. De la misma forma, la promoción de la adquisición de maquinaria será más atractiva para firmas manufactureras al tiempo que la promoción de la incorporación de recursos humanos calificados genera incentivos para firmas intensivas en conocimiento, usualmente más cercanas a los sectores de servicios. El impacto de estos sesgos se manifiesta no solo en los determinantes de acceso, sino también en la magnitud y tipo de impacto.

Cabe una breve mención al proceso de presentación y selección de los/as beneficiarios/as. En una simplificación extrema, existen dos tipos de procedimiento de presentación de proyectos de investigación. Por un lado, se encuentran los procedimientos que requieren que el/la potencial beneficiario/a presente una idea o proyecto elemental. A partir de

esa presentación, se le asigna un/a representante de la agencia que, de aprobarse la viabilidad del proyecto, acompaña en el proceso de formulación. En el otro extremo, se encuentran aquellas políticas que requieren la presentación completa del proyecto y antecedentes de la empresa. Luego, sobre la documentación completa se evalúa la adjudicación o no del beneficio. Sigue en todos los casos un proceso de evaluación, que tendrá más o menos etapas dependiendo de la reglamentación de la propia agencia.

A los fines de la evaluación de las políticas, la evidencia sugiere que es importante distinguir las firmas en términos de la cantidad de presentaciones y/o adjudicaciones –por ejemplo, primera presentación, primera adjudicación o las presentaciones/adjudicaciones subsiguientes (Boeing, 2016; Huergo y Moreno, 2011; Radicic et al., 2014), referido anteriormente como recurrencia. Cuando el mecanismo de presentación es complejo, la primera presentación implica el desarrollo de procesos de aprendizaje respecto de cómo llenar formularios, qué documentación se requiere y qué proyectos son financiables. Por tanto, las primeras presentaciones suelen enfrentar menores probabilidades de adjudicación que las subsiguientes. Esta dinámica de acumulación de capacidades se refuerza cuando la firma ha sido adjudicada en el pasado, puesto que además de las capacidades de formulación se suman procesos de aprendizaje vinculados con la dinámica innovativa, tanto en términos tecnológicos como de gestión de estos proyectos.

Por otra parte, existe una instancia del proceso de adjudicación escasamente explorada por la literatura que es la evaluación del proyecto. Aunque la evidencia es escasa para el caso de las firmas, existe amplia evidencia entre los estudios de género y política científica que muestra fuertes sesgos en la evaluación misma del proyecto. En el caso de las firmas, la literatura alerta sobre el efecto reputación, que implica que las firmas más “prestigiosas”, en términos de su conducta innovativa u otros atributos identificados como positivos, enfrentan mayores probabilidades de acceso que el promedio de firmas potencialmente beneficiarias. Si bien esta dimensión de análisis es más compleja, dado que la información no siempre se encuentra disponible, es importante considerar este elemento en el marco de la contextualización del instrumento y la forma en que puede impactar en los resultados del proceso de adjudicación.

Finalmente, vale una mención al proceso de adjudicación y los resultados del proyecto. Dependiendo del marco reglamentario de la política, habrá o no instancias intermedias de seguimiento que habilitan el desembolso de nuevos fondos o la suspensión del beneficio sujeto al

cumplimiento de hitos. Estas situaciones afectarán los resultados del proyecto en términos de la información recolectada en una base de datos. Por tanto, será preciso identificar ello en el tipo de instrumento que se está analizando, además de considerar las implicancias de agrupar instrumentos en una única base de datos.

En síntesis, los estudios de evaluación de la política pública requieren la consideración de múltiples elementos que determinan los resultados del proceso de adjudicación de fondos, pero también el espectro de resultados esperados. Muchos de ellos pueden ser incluidos en la estrategia empírica, otros solo pueden ser considerados en el análisis de resultados o incluso en las limitaciones del estudio.

Evaluación de la PI y especificidades de los países de América Latina y el Caribe (ALC)

Existen pocas ramas de la teoría de la innovación en las que se observen tantas coincidencias entre países desarrollados y países de la región de ALC como en los estudios de evaluación de la PI. Todos los abordajes muestran similitudes en materia de estrategias analíticas y resultados (Goedhuys, 2007; Piekkola, 2007; Hall y Maffioli, 2008; Huergo y Moreno, 2011; Antonelli y Crespi, 2013; Boeing, 2016; entre otros). De hecho, se reconoce que la falta de consensos generalizados sobre el signo, la ventana temporal y las dimensiones de impacto responde a diferencias metodológicas y no contextuales. En alguna medida, esto se debe a que independientemente de la localización geográfica de la agencia de promoción, la PI ha sido implementada a través de instrumentos similares, con lógicas similares de selección. Incluso aquellos instrumentos que articulan con la planificación estratégica nacional muestran fuertes similitudes en su implementación, en la medida en que los planes asignan valoraciones similares a los mismos sectores de alta intensidad tecnológica (por ejemplo, nanotecnología, biotecnología y tecnologías de información y comunicación).

La homogeneidad en los instrumentos se explica también por el rol de los organismos internacionales, como el Banco Interamericano de Desarrollo (BID). Gran parte de la PI en ALC se sostiene con financiamiento del BID, que implica ciertos condicionamientos respecto del tipo de instrumento (crédito fiscal, crédito subsidiado o aporte no reembolsable), el ciclo de la política y los/as beneficiarios/as (Crespi y Dutrénit, 2013). Se

suma a ello el retardo con que llegan estas políticas (y tantas otras) a la región. En la medida en que los países de la Unión Europea o del norte de América se encuentran más avanzados en materia de diseño e implementación, es esperable alguna suerte de copia o al menos aprendizaje de buenas prácticas en los países de ALC, que redundan en instrumentos similares, con lógicas similares.¹

Como se mencionara, el acceso a fondos públicos para la innovación supone un umbral de capacidades entre los/as posibles beneficiarios/as, vinculados con la identificación de un proyecto de innovación, su traducción en los formularios requeridos por la agencia y la ejecución exitosa del proyecto. Las firmas localizadas en países de menor desarrollo, en particular, ALC, se caracterizan, casi por definición, por menores niveles de capacidades, lo que agrava el sesgo de selección de los paneles de datos disponibles. También casi por definición, y verificado sistemáticamente en la evidencia empírica, las estructuras productivas de estos países se caracterizan por estar sesgadas hacia sectores de baja intensidad tecnológica, en los que las innovaciones tienden a estar concentradas en la incorporación de maquinaria y equipo. En este escenario, solo grupos reducidos de empresas poco articuladas con el entorno se ubican en los sectores más dinámicos, que son además los más demandantes de actividades de I+D (Dutrénit y Katz, 2005). Más aun, incluso entre el reducido número de firmas que realizan estas actividades, estas suelen adquirir un carácter informal y poco sistemático (Barletta *et al.*, 2017). Como resultado, políticas que en su diseño son horizontales, en la práctica refuerzan los sesgos estructurales del entramado productivo.

Otro elemento que afecta el abanico de potenciales beneficiarios/as son los obstáculos que declaran las firmas al momento de innovar. Aunque en términos generales se observan mayores frecuencias de respuestas entre los obstáculos de tipo financiero, también se destacan los obstáculos vinculados con las características de la demanda (Santiago *et al.*, 2017; Arza y López, 2018). En teoría, una política de financiamiento podría resultar adecuada para enfrentar el primer tipo de obstáculos, aunque resulta difícil esperar adicionalidad en los *inputs* en un contexto de restricción financiera. Por tanto, dependiendo del nivel de contraparte requerido por la política, podría funcionar como un desincentivo a la

¹ No obstante, el grado en que una medida aplicada en el norte de Europa sea efectiva o eficiente al momento de aplicarse en ALC es una discusión que escapa a los objetivos de este capítulo, y que muy probablemente merezca su propio libro.

búsqueda de esos fondos. El resultado es un nuevo sesgo de selección, en este caso, hacia las empresas con mayores márgenes de financiación extra fondos públicos. El segundo tipo de obstáculos, vinculado con la demanda, funciona como un desincentivo a la búsqueda de innovaciones de mayor complejidad. Nuevamente, el set de empresas que aplican a los fondos públicos quedaría determinado por las firmas que de hecho enfrentan demandas más sofisticadas, cuya participación en el entramado productivo es reducida, además de presentar escasos eslabonamientos. Al momento de evaluar el impacto de la política, en especial los impactos indirectos, el sesgo en los/as posibles beneficiarios/as limita también el alcance de los resultados tanto del proyecto innovativo como del desempeño de la empresa en general.

Esta característica del entramado productivo, pero vinculada con el SNI en el que se inserta, tiene que ver con la relevancia de estudiar la PI en un sentido amplio, en lugar de concentrar el análisis en la política de promoción de la I+D en particular. En los países más desarrollados, el entramado de instituciones de promoción y fomento de la innovación y el desarrollo industrial en general es más denso, con instrumentos y agencias específicas para los distintos problemas del desarrollo industrial (Lundvall *et al.*, 2009; Chaminade, Lundvall y Haneef, 2018). En los países de la región, aunque con cierta heterogeneidad intrarregional, el entramado es menos denso, y tiende a cargarse sobre unas pocas PI todo el peso de la búsqueda del desarrollo industrial (Dutrénit y Sutz, 2013; Erbes y Suárez, 2016). Así, se evalúan las PI por su impacto en las inversiones, la productividad, las exportaciones e incluso el nivel de empleo. Este tipo de análisis, aunque válido en términos teóricos dados los esperados “derrames” de la innovación, no necesariamente es válido cuando se aborda el caso de la firma beneficiaria, que además es observada durante períodos reducidos de tiempo. Adicionalmente, se evalúa la PI en todo el espectro de posibles inversiones en estas actividades, esperando que los resultados promedio en los *inputs*, los *outputs* y los resultados sean válidos para todo el conjunto de firmas beneficiarias. Volvemos aquí a resaltar la importancia de incorporar la heterogeneidad en la estructura productiva en el microplano (desde la perspectiva de las empresas), pero también desde la perspectiva de la agencia pública, en el sentido de considerar los diferentes tipos de instrumentos y resultados buscados, para incluirlos en las consideraciones sobre el abordaje metodológico y el análisis de resultados.

En síntesis, todos estos condicionantes afectan las posibilidades de extrapolación de los resultados a todo el entramado productivo. Desde luego, esto no invalida la relevancia de los estudios de impacto en la región, porque es precisamente a través de las evaluaciones de asignación e impacto que se generan insumos para la mejora de la política en curso o de futuros instrumentos.

Estimaciones de asignación e impacto

La asignación de fondos

Este apartado discute las herramientas metodológicas disponibles que permiten estimar el proceso de asignación e impacto de fondos públicos. Se presentan a continuación algunas de las formulaciones más utilizadas. Los aspectos matemáticos y de programación pueden consultarse en los diferentes manuales de evaluación de impacto (Khandker, Koolwal y Sammad, 2010; Cerulli, 2015; Gertler *et al.*, 2016). En la actualidad, el análisis de la política pública está altamente influenciado por la literatura de experimentos aleatorios controlados (RTC, por sus siglas en inglés) (Banerjee y Duflo, 2017; Glennerster y Takavarasha, 2019). Según sus prescripciones, en un esquema ideal el acceso a los programas de política pública debería ser aleatorizado ya que, si el número de observaciones es suficientemente grande, los grupos de beneficiarios/as y no beneficiarios/as quedan emparejados estadísticamente en sus características observadas y no observadas. La alternativa más empleada remite a una asignación aleatoria estratificada que requiere elegir una variable estructural relevante (típicamente la región, el tamaño de la empresa, o el sector de pertenencia) y separarla en estratos mutuamente excluyentes. Luego, en el interior de cada estrato se implementa una asignación aleatoria, identificando N_t unidades al grupo tratamiento y las restantes unidades en el grupo control. Formalmente, la regla de asignación sería la siguiente:

$$P(T_i|Y_i(0), Y_i(1), X) = \prod_{g=1}^G \binom{N_j}{N_{t,g}}^{-1} \quad \text{para todo } T_i \text{ tal que } \forall g \sum_{i=1}^N G_{ig} T_i = N_{t,g} \quad (1)$$

En la que $P(Y_i(0), Y_i(1), X)$ indica la probabilidad que tiene la unidad i de ser seleccionada, G_{ig} indica si la unidad i pertenece al estrato g y N_{tg} la cantidad de unidades tratadas en el interior del estrato g .

La política pública no orientaría su programa sobre un grupo en particular, sino que la selección es realizada por una regla de asignación aleatoria. En consecuencia, el proceso de asignación de fondos públicos queda determinado con un algoritmo previamente diseñado y por consiguiente no constituye un objeto de estudio.

Sin embargo, más allá de sus bondades teóricas, en la práctica el abordaje de RCT no ha demostrado ser implementable como mecanismo para ejecutar programas de innovación. Sucede que los gobiernos diseñan su PI con el objeto de priorizar su llegada sobre algún sector o grupo en particular, lo que hace que en términos de la política no sea muy viable aplicar un RCT. En consecuencia, el proceso de asignación de fondos públicos de la PI no es aleatorio y resulta ser la consecuencia de un amplio conjunto de factores. En este marco, el proceso de asignación se erige como un objeto de estudio en sí mismo y que antecede a los análisis de estimación de impacto. Formalmente:

$$p(Y_i(0), Y_i(1), X) = F(Y_i(0), Y_i(1), X) \quad (2)$$

En la que, a diferencia del proceso de selección aleatoria, la probabilidad que tiene la unidad i de ser seleccionada depende explícitamente de sus resultados potenciales $-Y_i(0), Y_i(1)-$ y de sus características observadas, X .

La literatura de evaluación de impacto reconoce algunos de los desafíos vinculados con el proceso de asignación bajo el concepto de *sesgo de selección*. Esta noción alude a todos los factores, observados y no observados, que inciden tanto sobre 1) la decisión que hacen los/as sujetos/as cuando deciden aplicar para recibir financiamiento público y 2) la decisión que hace la agencia pública cuando determina quienes acceden. Así, el proceso de asignación resulta de la interacción entre dos procesos: la selección de beneficiarios/as que hacen las agencias de promoción y la autoselección que hacen los/as sujetos/as cuando deciden aplicar. En consecuencia, cuando se analiza el proceso de selección de beneficiarios/as, solo podremos estudiar las unidades que han revelado su interés por buscar financiamiento público para sus actividades de innovación. En otras palabras, nunca podremos observar a aquellos/as que no conocen y/o no han revelado su preferencia por el financiamiento público

aplicando al programa. A medida que pasa el tiempo y los programas evolucionan en términos de convocatorias, se manifestarán dos tendencias. Primero, se apreciará una baja tasa de renovación en la población que aplica para recibir un financiamiento público. Segundo, y en parte como consecuencia de la tendencia anterior, se apreciará una baja tasa de renovación en la población de beneficiarios/as. Como consecuencia, las propiedades estadísticas del proceso de asignación de financiamiento público se configurarán a partir de observaciones que se repiten en el tiempo, con propiedades cuya distribución no es fija en el tiempo. En términos más técnicos, el proceso de asignación de financiamiento público se caracterizará por observaciones que no son independientes entre sí (emergen de fenómenos de recurrencia, o de una elevada dependencia de estado) y tampoco es idénticamente distribuido en el tiempo (las capacidades y desempeño de los/as que aplican van cambiando en el tiempo). En consecuencia, estudiar el proceso de asignación de fondos públicos implica trabajar con bases de datos que siguen una estructura de paneles desbalanceados.

Para estudiar el proceso de selección de beneficiarios/as se pueden utilizar modelos probabilísticos para datos de panel. Formalmente:

$$p(Y_{it}(0), Y_{it}(1), X) = X'_{it}\beta + \gamma Y_{it-1} + \alpha_i + u_{i,t} \quad (3)$$

en la que para cada cohorte de las convocatorias de la política de innovación bajo estudio se trata de explicar el resultado de adjudicación en función de las características previas, X , las tendencias previas del indicador de resultado de la política, Y_{it-1} , y un efecto fijo no observado a nivel de cada unidad, α_i .

A partir de esta formulación básica se abren dos extensiones que permiten estudiar el proceso de asignación de fondos públicos incorporando distintas perspectivas. La primera extensión implica poner el foco del análisis sobre alguna característica de los/as sujetos/as. Más precisamente, esta característica tiene que dividirlos/as en cohortes exhaustivas y mutuamente excluyentes. Por ejemplo, si el análisis se basa en firmas que aplican a un programa, se podría elegir el sector de actividad (manufactura y servicios). Esta extensión permite estudiar la participación de determinados grupos en la política e identificar grupos que enfrentan barreras en el acceso. Formalmente:

$$p(Y_{it}(0), Y_{it}(1), X) = X'_{it}\beta + \eta \text{Sector}_i + \gamma Y_{it-1} + \alpha_i + u_{ij} \quad (4)$$

En la que η indica si después de emparejar por resultados previos y características observadas la probabilidad de ser seleccionado en el programa de política pública difiere entre dos tipos de sujetos/as.

Como se ya mencionó, el impacto de la PI está influenciado por la forma en que se determinan los/as beneficiarios/as. En consecuencia, estos estudios pueden arrojar algo de luz en contextos en los que el impacto de la política se aleja del esperado por las autoridades políticas.

La segunda extensión implica poner el foco de análisis sobre la recurrencia. Para estudiar estos fenómenos debemos incluir una variable que indique si en el pasado se accedió al programa. Esto confiere a la ecuación una estructura dinámica e implica ingresar en los modelos de probabilidades de transición entre estados. Esta extensión permite estudiar si haber accedido en el pasado incrementa las posibilidades de acceder en el presente:

$$p(Y_{it}(0), Y_{it}(1), X) = X'_{it}\beta + \eta T_{it} -_1 + \gamma Y_{it} -_1 + \alpha_i + u_{it} \quad (5)$$

En la que η indica si después de emparejar por resultados previos y características observadas la probabilidad de ser seleccionado/a difiere entre agentes recurrentes y no recurrentes en el programa. Si la PI se diseña con el objetivo de difundir su impacto sobre el mayor número de agentes, debe prestarse particular atención a identificar estos fenómenos de recurrencia. Si la PI se diseña con el propósito de acompañar el desarrollo de aquellos/as mejor preparados/as para enfrentar el proceso innovativo, debe utilizarse este abordaje como indicador del curso tomado.

En cualquier caso, la estructura de panel que tienen las bases de datos ofrece dos alternativas para estimar estos modelos: efectos fijos y efectos aleatorios. La alternativa más conocida es la primera, pero implica asumir que las características no observadas de los/as sujetos/as que aplican a estos programas son fijas en el tiempo. Vale la pena ahondar en este supuesto. Imaginemos que esos factores no observables están vinculados con un intangible como la voluntad de buscar financiamiento público. Así, aplicar una estimación de efectos fijos implica afirmar que procesos de asignación previos no afectan la voluntad de buscar financiamiento público. Como se mencionó previamente, trabajamos con paneles en los que las unidades de observación tienen propiedades que no están idénticamente distribuidas en el tiempo, por lo tanto, no es plausible suponer que estos factores intangibles permanecen fijos. En este marco, la alternativa sugerida es avanzar con estimaciones de efectos aleatorios. Se parte

de la premisa de que los factores no observados varían en el tiempo y a nivel de los/as sujetos/as. Considerando la dinámica del proceso innovativo, signado por capacidades que son dinámicas, este supuesto parece más plausible que el impuesto por el modelo de efectos fijos. Sin embargo, aceptar que el objeto de análisis es más complejo implica enfrentar escenarios de estas características. Más precisamente, la posibilidad de aislar la atribución de cada una de las variables no resulta posible. Para controlar esta posibilidad existen diferentes alternativas que proponen algún tipo de modelización de esos factores no observados. La opción más utilizada por la literatura consiste en usar el promedio longitudinal de las características observadas e incorporar esas variables a la especificación básica (Mundlak, 1978; Chamberlain, 1984; Wooldridge, 2005). Formalmente:

$$\alpha_i = \xi' \bar{Z}_i + u_i \quad (6)$$

En la que u_i se supone independiente de X_{it} y u_{it} , para todas las unidades y períodos de tiempo. $\{\underline{Z}\}_i$ puede definirse de varias maneras. En la práctica habitual se define como la media longitudinal de las características estructurales de las unidades de observación. El supuesto es que las diferencias en las características promediadas longitudinalmente son informativas sobre las características específicas de cada unidad, de modo que las diferencias individuales que quedan en u_i pueden suponerse de forma más plausible como independientes de T_{it-1} . Así, la ecuación completa queda definida por

$$p(T_{it}|Y_{it}(0), Y_{it}(1), X) = X'_{it}\beta + \eta T_{it-1} + \gamma Y_{it-1} + \xi' \bar{Z}_i + u_i + u_{it} \quad (7)$$

El impacto de los fondos en el micronivel

Para estimar el efecto de la PI debemos primero retomar el objetivo imposible planteado en la introducción: la definición de causalidad por contrafactual. Se sostiene que la PI tuvo un impacto causal cuando la comparación entre el resultado que mostraron los/as beneficiarios/as del programa es diferente al que hubieran mostrado de no participar en el programa. Por definición, el resultado que hubiéramos observado constituye un escenario contrafáctico que no podemos medir. La primera alternativa sería comparar el resultado observado entre aquellos/as que participaron del programa, con el resultado observado de aquellos/

as que no participaron. Sin embargo, esta comparación arrojaría resultados que no podemos atribuir a la participación en sí del programa. Al menos no sin antes controlar la influencia de un conjunto amplio de factores observados y no observados que podrían llevarnos a confundir esa atribución. En este marco, la estimación del impacto de la política pública se erige como un campo de estudio en sí mismo. Además de toda la literatura reseñada en los apartados previos, existen estudios más enfocados en la dimensión metodológica que han avanzado en un número amplio y creciente de herramientas para estimar si una intervención de política generó un efecto (Khandker, Koolwal y Sammad, 2010; Cerulli, 2015; Gertler *et al.*, 2016). Presentar todas las técnicas de estimación de impacto escapa a las posibilidades y objetivos de este capítulo. Sin embargo, se presentan los criterios que entendemos deberían guiar la elección y luego la alternativa que entendemos mejor se ajusta a los elementos presentados en los apartados anteriores.

En primer lugar, nuestra postura es que no se puede estudiar el efecto de la política pública escindido del proceso de asignación de fondos públicos. Nuevamente, la forma en la que se eligen los/as beneficiarios/as de la PI incide sobre sus efectos. En otras palabras, la técnica que utilizemos para medir el impacto de la PI debería incluir alguna estimación relativa a la modelización del sesgo de selección. En segundo lugar, la estructura de la base de datos restringe el tipo de técnica de evaluación de impacto que puede utilizarse, dada la mencionada estructura de panel desbalanceado con observaciones que no son independientes entre sí y propiedades que cambian en el tiempo.

Para estimar el impacto de la política, proponemos recurrir a una técnica de doble diferencia (Card y Krueger, 1994; Hounghbedji, 2016). Primero, está la medición de la tasa de cambio en el indicador de resultado entre el momento posterior y previo al programa. Luego, la diferencia de la tasa de cambio entre el grupo de beneficiarios/as y no beneficiarios/as. Este procedimiento es conocido como modelo de diferencia-en-diferencia (DD) y permite capturar el efecto promedio de una intervención de política depurando la incidencia de las diferencias observables y no observables entre beneficiarios/as y no beneficiarios/as. Formalmente:

$$Y_{it} = \alpha_i + \lambda_t + \beta T_{it} + \gamma X_{it} + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

En la que Y_{it} es el indicador de resultado de la unidad i en el período t ; T_{it} es una variable dicotómica que toma el valor de 1 si la unidad i fue

beneficiaria en el período t y 0 si no; λ_t son los efectos de tiempo comunes a todas las unidades del análisis; X_{it} es un vector de variables de control observables; α_i es el efecto fijo que controla por todas aquellas diferencias que varían entre unidades pero están fijas en el tiempo y ε_{it} es el término de error que deberá ser agrupado a nivel de unidad de observación. En esta especificación básica el efecto de haber participado en el programa será capturado por el coeficiente β .

El principal supuesto del modelo de DD es la ausencia de factores que varían en el tiempo y que afectan tanto la participación en el programa como el indicador de resultado. Esto significa que todos los factores no observables tienen que ser constantes en el tiempo. En otras palabras, el modelo de DD requiere que, en ausencia del tratamiento, el indicador de resultado del programa para el grupo de beneficiarios/as y no beneficiarios/as tenga la misma tendencia. A pesar de que este supuesto no se pueda testear, una práctica ampliamente aceptada en la literatura es combinarlo con una estimación del proceso de asignación de fondos públicos. El objetivo es identificar un grupo de no beneficiarios/as que sea similar a los/as que participaron del programa. A tal fin, serán consideradas todas las características previas al programa que sean relevantes incluyendo también las tendencias previas del indicador de resultado del programa. Más en detalle, considerado una cohorte específica de beneficiarios/as, se definirá el año anterior a la participación en el programa como el año base, y para cada unidad en el grupo de beneficiarios/as y no beneficiarios/as se estima la probabilidad condicional de participar. Después, se utiliza un algoritmo de emparejamiento estadístico para identificar el grupo de no beneficiarios/as más similar posible sobre la base de las probabilidades condicionales estimadas. En términos más técnicos, se logra un emparejamiento estadístico entre los/as beneficiarios/as y no beneficiarios/as del programa. Este procedimiento es conocido como *propensity score matching* (PSM) (Rosenbaum y Rubin, 1983; Caliendo y Kopeinig, 2008). Finalmente, se volverá a estimar el impacto de la política utilizando el modelo de DD sobre las firmas tratadas (o los/as investigadores/as en el caso de la política de ciencia y tecnología) y del grupo de control identificado por medio del proceso de emparejamiento. Formalmente:

$$P(T_{it}=1|Z_{it}, Y_{it}^0) = \Phi(\theta Z_{it} + \lambda Y_{it}^0) \quad (9)$$

En la que Z es un vector de variables de control; Y^l es un vector de k lags de la variable de resultado, (Y_{it-1}, Y_{it-k}) y Φ es la función estándar acumulativa de distribución normal. Después, se utilizará un algoritmo de emparejamiento estadístico para identificar el grupo de control más similar posible según las probabilidades condicionales estimadas (o *propensity score*). Finalmente, se volverá a estimar la ecuación (8) utilizando las unidades identificadas por medio del proceso de emparejamiento.

Recomendaciones finales

Para finalizar este capítulo, vale la pena sintetizar algunos elementos que emergen del análisis propuesto y que en alguna medida exceden la instancia de la evaluación de la política, y pueden aplicarse para el diseño y el monitoreo. Estos son:

1. Sobre el ciclo de la política: en términos conceptuales, es fundamental estudiar la política en todo su proceso, que se inicia en el momento en el que la empresa se entera sobre la existencia de financiamiento, diseña un proyecto de innovación y decide financiarlo con fondos públicos. En ese marco, dado el carácter *path dependence* del proceso innovativo y de acceso a financiamiento, las evaluaciones deben tener en cuenta la etapa de asignación en la medida en que afecta el impacto generado. Por ello, se requiere de estrategias metodológicas que permitan dimensionar esa complejidad. Ello implica abordar la microheterogeneidad que es previa al proceso de asignación e impacto de la política y que, en el marco de políticas horizontales, puede incluso intensificarse con cada convocatoria.
2. Sobre el proceso innovativo: es fundamental también abordar el momento en el que se encuentra el proyecto innovativo de la empresa, para definir los impactos esperados. Parte de ello, desde luego, puede controlarse en función del instrumento estudiado, una vez que son diferenciados en los análisis de impacto. Otros aspectos de este proceso son imposibles de controlar con un abordaje cuantitativo y solo pueden ser considerados en la interpretación de los resultados.

3. Sobre el proceso de evaluación: la estrategia de medición es tan relevante como el marco teórico bajo el que se aborda la evaluación. El diseño de la estrategia de análisis debe contemplar la necesidad de controlar efectos fijos y dinámicos, procesos estructurales y procesos de aprendizaje, la naturaleza del proceso de asignación y las opciones en materia de impacto. Modelizar la relación entre las herramientas de análisis, el objetivo de la política y la naturaleza del proceso innovativo bajo estudio es una instancia fundamental del diseño de cualquier estudio de asignación e impacto.

Bibliografía

- Aboal, D. y Garda, P. (2015). “¿La financiación pública estimula la innovación y la productividad? Una evaluación de impacto”. *Revista CEPAL*, n° 115, pp. 42-62.
- Antonelli, C. y Crespi, F. (2013). “The ‘Matthew effect’ in R&D public subsidies: The Italian evidence”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, n° 8, pp. 1523-1534. DOI: <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.008>.
- Arrow, K. (1962). “Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention”. En National Bureau of Economic Research (NBER), *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, pp. 609-626. Princeton: Princeton University Press.
- Arza, V. y López, E. (2018). *Obstacles to Innovation and Firm Size: A Quantitative Study for Argentina*. Washington, DC: Inter-American Development Bank (IDB). DOI: <https://doi.org/10.18235/0001177>.
- Banerjee, A.V. y Duflo, E. (2017). “Chapter 1. An Introduction to the Handbook of Field Experiments”, *Handbook of Economic Field Experiments*, vol. 1, pp. 1-24. Países Bajos: North-Holland. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.hefe.2016.09.005>.
- Barletta, F., Erbes, A. y Suárez, D. (comps.) (2020). *Teoría de la innovación: evolución, tendencias y desafíos. Herramientas conceptuales para la enseñanza y el aprendizaje*. Los Polvorines/Madrid: UNGS/Ediciones Complutense.

- Barletta, F., Pereira, M., Suárez, D. y Yoguel, G. (2017). “Construcción de capacidades en las firmas argentinas. Más allá de los laboratorios de I+D”. *Pymes, Innovación y Desarrollo*, vol. 4, n° 3, 39-56.
- Berrutti, F. y Bianchi, C. (2020). “Effects of public funding on firm innovation: transforming or reinforcing a weak innovation pattern?”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, n° 5, pp. 522-539. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1636452>.
- Boeing, P. (2016). “The allocation and effectiveness of China’s R&D subsidies - Evidence from listed firms”. *Research Policy*, vol. 45, n° 9, pp. 1774-1789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.05.007>.
- Borrás, S. y Edquist, C. (2013). “The choice of innovation policy instruments”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 80, n° 8, pp. 1513-1522. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.03.002>.
- Caliendo, M. y Kopeinig, S. (2008). “Some practical guidance for the implementation of propensity score matching”. *Journal of Economic Surveys*, vol. 22, n° 1, pp. 31-72. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-6419.2007.00527.x>.
- Cantner, U. y Kösters, S. (2012). “Picking the winner? Empirical evidence on the targeting of R&D subsidies to start-ups”. *Small Business Economics*, vol. 39, pp. 921-936. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11187-011-9340-9>.
- Card, D. y Krueger, A. B. (1994). “Minimum wages and employment: a case study of the fast-food industry in New Jersey and Pennsylvania”. *The American Economic Review*, vol. 84, n° 4, pp. 772-793.
- Cefis, E. y Orsenigo, L. (2001). “The persistence of innovative activities: A cross-countries and cross-sectors comparative analysis”. *Research Policy*, vol. 30, n° 7, pp. 1139-1158. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0048-7333\(00\)00139-6](https://doi.org/10.1016/s0048-7333(00)00139-6).
- Cerulli, G. (2015). *Econometric Evaluation of Socio-Economic Programs*. Berlín: Springer-Verlag. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-662-46405-2>.
- Chamberlain, G. (1984). “Panel Data”. En Griliches, Z. y Intriligator, M. D. (eds.), *Handbook of Econometrics*. vol. 2, pp. 1247-1318. Países Bajos: North-Holland.

- Chaminade, C.; Lundvall, B.-Å. y Haneef, S. (2018). *Advanced introduction to national innovation systems*. UK: Edward Elgar.
- Clarysse, B.; Wright, M. y Mustar, P. (2009). "Behavioural additionality of R&D subsidies: A learning perspective". *Research Policy*, vol. 38, n° 10, pp. 1517-1533. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2009.09.003>.
- Coad, A. y Rao, R. (2011). "The firm-level employment effects of innovations in high-tech US manufacturing industries". *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 21, pp. 255-283.
- Crespi, G. y Dutrénit, G. (eds.) (2013). *Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación para el desarrollo: la experiencia latinoamericana*. México: FCCyT/LALICS.
- Crespi, G., Figal Garone, L., Maffioli, A. y Melendez, M. (2015). "Long-Term Productivity Effects of Public Support to Innovation in Colombia". *Emerging Markets Finance & Trade*, vol. 51, n° 1, pp. 48-64. DOI: <https://doi.org/10.1080/1540496X.2015.998080>.
- David, P. (1994). "Positive feedbacks and research productivity in science: reopening another black box". En Granstrand, O. (ed.), *Economics and Technology*, Amsterdam: Elsevier.
- Dutrénit, G. y Katz, J. (2005). "Innovation, growth and development in Latin-America: Stylized facts and a policy agenda". *Innovation: Organization & Management*, vol. 7, n° 2-3, pp. 105-130.
- Dutrénit, G. y Puchet Anyul, M. (2020). "Aprendizajes sobre la formulación de la política de CTI en América Latina y el Caribe". En
- Dutrénit, G. y Sutz, J. (eds.) (2013). *Sistemas de Innovación para un Desarrollo Inclusivo. La experiencia latinoamericana*. México: Foro Consultivo Científico y Tecnológico.
- Edler, J. y Fagerberg, J. (2017). "Innovation policy: what, why, and how". *Oxford Review of Economic Policy*, vol. 33, n° 1, pp. 2.23. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxrep/grx001>.
- Erbes, A. y Suárez, D. (comps.) (2016). *Repensando el desarrollo latinoamericano: Una discusión desde los sistemas de innovación*. Los Polvorines: UNGS. Disponible en: https://repositorio.ungs.edu.ar/bitstream/handle/UNGS/275/712_RepensarDesarrollo_WEB.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

- Fiorentin, F., Pereira, M. y Suárez, D. (2019). “As times goes by. A dynamic impact assessment of the innovation policy and the Matthew effect on Argentinean firms”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 28, n° 7, pp. 657-673. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2018.1557404>.
- Fiorentin, F., Suárez, D. y Yoguel, G. (2021). “Who benefits from innovation policy? The role of firm’s capabilities in accessing innovation public funds”. *Innovation and Development*, vol. 13, n° 4, pp. 91-108.
- Gertler, P. J., Martinez, S., Premand, P., Rawlings, L. B. y Vermeersch, C. M. J. (2016). *Impact Evaluation in Practice, Second Edition*. Washington, DC: IDB. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-0779-4>.
- Glennerster, R. y Takavarasha, K. (2019). *Running Randomized Evaluations*. Princeton: Princeton University Press.
- Goedhuys, M. (2007). *The impact of innovation activities on productivity and firm growth: evidence from Brazil*. Maastricht, Países Bajos: United Nations University (UNU)/Maastricht Economic and Social Research Institute on Innovation and Technology (MERIT).
- Gök, A. y Edler, J. (2012). “The use of behavioural additionality evaluation in innovation policy making”. *Research Evaluation*, vol. 21, n° 4, pp. 306-318. DOI: <https://doi.org/10.1093/reseval/rvs015>.
- Góngora-Biachi, G.; Madrid Guijarro, A. y García Pérez de Lema, D. (2009). “Ayudas públicas a la innovación: Una evidencia empírica de la pyme industrial del sureste mexicano”. *Localización: Innovar: revista de ciencias administrativas y sociales*, vol. 19, n° 34, pp. 65-82.
- Hall, B. H. y Maffioli, A. (2008). *Evaluating the Impact of Technology Development Funds in Emerging Economies: Evidence from Latin-America*. Washington, DC: IDB.
- Houngbedji, K. (2016). “Abadie’s Semiparametric Difference-in-differences Estimator”. *The Stata Journal*, vol. 16, n° 2, pp. 482-490. DOI: <https://doi.org/10.1177/1536867X1601600213>.
- Huergo, E. y Moreno, L. (2011). “Does history matter for the relationship between R&D, innovation, and productivity?”. *Industrial and*

Corporate Change, vol. 20, n° 5, pp. 1335-1368. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtr019>.

- Khandker, S. R., Koolwal, G. B. y Sammad, H. A. (2010). *Handbook on Impact Evaluation: Quantitative Methods and Practices*. Washington, DC: World Bank Publications.
- Lee, K. (2013). "Capability Failure and Industrial Policy to Move beyond the Middle-Income Trap: From Trade-based to Technology-based Specialization". En Lin, J. y Stiglitz, J. (eds.), *Industrial Policy Revolution I*, pp. 244-272. Londres: Palgrave Macmillan.
- Lerena, O., Martínez Correa, J. y Pereira, M. (2017). *El impacto del FONTAR en el desempeño innovador de las empresas industriales argentinas. ¿Qué evidencia aporta la ENDEI?* Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Centro Interdisciplinario de Estudios en Ciencia, Tecnología e Innovación (CIECTI).
- López-Acevedo, G. y Tan, H. W. (eds.) (2010). *Evaluación de Impacto de los Programas para PyME en América Latina y el Caribe*. México: Banco Mundial.
- Lundvall, B.-Å.; Joseph, K. J.; Chaminade, C. y Vang, J. (2009). *Handbook of Innovation Systems and Developing Countries*. UK: Edward Elgar.
- Merton, R. K. (1968). "The Matthew effect in science: The reward and communication systems of science are considered". *Science*, vol. 159, n° 3810, pp. 56-63 DOI: [10.1126/science.159.3810.56](https://doi.org/10.1126/science.159.3810.56).
- Metcalf, J. S. (2005). "Systems Failure and the Case for Innovation Policy". En Llerena, P. y Matt, M. (eds.), *Innovation Policy in a Knowledge-Based Economy*, pp. 47-74. Berlín: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-26452-3_3.
- Mundlak, Y. (1978). "On the pooling of time series and cross section data". *Econometrica*, vol. 46, n° 1, pp. 69-85. DOI: <https://doi.org/10.2307/1913646>.
- Nelson, R. (1959). "The Simple Economics of Basic Scientific Research". *Journal of Political Economy*, vol. 67, n° 3, pp. 297-306.
- _____ (1991). "Why do firms differ, and how does it matter?". *Strategic Management Journal*, vol. 12, pp. 61-74. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.4250121006>.

- Nelson, R. y Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Cambridge, MA: Belknap.
- Pavitt, K. (2009). "Innovation Processes". En Fagerberg, I., Mowery, D. y Nelson R. (eds.), *The Oxford handbook of innovation*, Oxford: Oxford University Press. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxford-hb/9780199286805.003.0004>.
- Pereira, M. y Suárez, D. (2018). "Matthew effect, capabilities and innovation policy: The Argentinean case". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 27, n° 1, pp. 62-79. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2017.1294544>.
- Pereira, M. y Tacsir, E. (2016). *Generación de empleo e innovación en Argentina: un abordaje microeconómico para el período 2010-2012*. Washington, DC: BID. DOI: <https://doi.org/10.18235/0000569>
- Petelski, N.; Milesi, D. y Verre, V. (2019). "Public support to innovation: impact on technological efforts in Argentine manufacturing firms". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 29, n° 1, pp. 66-88. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2019.1585672>.
- Piekkola, H. (2007). "Public Funding of R&D and Growth: Firm-Level Evidence from Finland". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 16, n° 3, pp. 195-210. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438590600661897>.
- Radacic, D.; Pugh, G.; Hollanders, H.; Fairburn, J. y Wintjes, R. (2016). "The impact of innovation support programs on small and medium enterprises innovation in traditional manufacturing industries: An evaluation for seven European Union regions". *Environment and Planning C: Government and Policy*, vol. 34, n° 8, pp. 1425-1452. DOI: <https://doi.org/10.1177/0263774X15621759>.
- Rosenbaum, P. y Rubin, D. (1983). "The central role of the propensity score in observational studies for causal effects". *Biometrika*, vol. 70, n° 1, pp. 41-55.
- Santiago, F.; De Fuentes, C.; Dutrénit, G. y Gras, N. (2017). "What hinders innovation performance of services and manufacturing firms in Mexico?". *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 26, n° 3, pp. 247-268. DOI: <https://doi.org/10.1080/10438599.2016.1181297>.

- Srholec, M. y Verspagen, B. (2012). "The Voyage of the Beagle into innovation: Explorations on heterogeneity, selection, and sectors". *Industrial and Corporate Change*, vol. 21, n° 5, pp. 1221-1253. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dts026>.
- Suárez, D. (2012). "Innovative strategies and persistence of innovation in Argentinean firms". Presentado en la 10th Globelics International Conference on Innovation and Development: Opportunities & Challenges, noviembre. Hangzhou, China.
- Teece, D. J. (2007). "Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance". *Strategic Management Journal*, vol. 28, n° 13, pp. 1319-1350. DOI: <https://doi.org/10.1002/smj.640>
- Wooldridge, J. M. (2005). "Simple solutions to the initial conditions problem in dynamic, nonlinear panel data models with unobserved heterogeneity". *Journal of Applied Econometrics*, vol. 20, n° 1, pp. 39-54.
- Zúñiga-Vicente, J. Á.; Alonso-Borrego, C.; Forcadell, F. J. y Galán, J. I., (2014). "Assessing the effect of public subsidies on firm R&D investment: a survey". *Journal of Economic Surveys*, vol. 28, n° 1, pp. 36-67.

Capítulo 7

Regresiones transversales. ¿Tienen pertinencia en el estudio de la innovación?

Nicolás Fuentes, Jana Schmutzler, Norida Constanza Vanegas-Chinchilla, Andrés Felipe Zambrano-Curcio

Introducción

Si bien la innovación para nada es un fenómeno nuevo de hecho, hasta en las sociedades primitivas los humanos innovaron para facilitarse la vida, su importancia para la humanidad se ha incrementado en la medida en que las teorías económicas le han concedido un papel cada vez más importante a la innovación. Las ventajas competitivas no solo son el resultado de un proceso de renovación constante o como lo expresaba Marshall, “el conocimiento es el motor más poderoso de la producción” (1965: 115), sino que son claves para que las empresas puedan sobrevivir en el mercado (Barney, 2000). El proceso de desarrollo económico está impulsado principalmente por la innovación (Malecki, 1997). Esta estrecha interrelación entre el conocimiento, la innovación y el crecimiento económico ha dado lugar a un número cada vez mayor de publicaciones que intentan comprender no solamente cómo se relacionan, sino también poder entender cuáles son las empresas que están innovando, cómo lo hacen y qué barreras están enfrentando.

A raíz de esto, el *Manual de Frascati* (OECD, 2002) recomendó recolectar anualmente información acerca de los gastos en innovación y desarrollo (I+D), proceso que se realizó en muchos países desde los años cincuenta. Las patentes, que existen desde el siglo XIX, han sido otra fuente de información para poder entender mejor la innovación. Pero teniendo

en cuenta que los gastos de I+D y las patentes son indicadores limitados para medir todo tipo de innovación (Smith, 2005; Dziallas y Blind, 2019), las encuestas de innovación surgieron como una fuente de información adicional muy importante.¹ Estas encuestas ampliamente utilizadas no solamente por investigadores, sino también por los gobiernos iniciaron como proyectos pilotos en los años cincuenta en el Reino Unido, en Estados Unidos y en Alemania. A partir de un esfuerzo conjunto por parte de la Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) y de la Statistical Office of the European Union (Eurostat), se formalizaron y se estandarizaron, por medio del *Manual de Oslo* en su primera versión (OECD, 1992). Hoy en día, se ejecutan en muchos países del mundo.

Si bien el objetivo principal de implementar las encuestas de innovación fue la creación de indicadores y *scoreboards* que le permitan a los gobiernos informar las políticas públicas, crear indicadores con sus respectivos *benchmarks*, es decir, referentes, así como monitorear los avances acerca de estos referentes, las encuestas de innovación resultan ser una fuente de datos de las actividades de innovación y de la introducción exitosa de diferentes tipos de innovación en el mercado (Mairesse y Mohnen, 2010). Académicos, profesionales y formuladores de políticas las han utilizado para dar seguimiento y comparar el desempeño innovador, así como para analizar la innovación con una variedad de temas. Con contadas excepciones (por ejemplo, España y Colombia), los datos que se obtienen son de corte transversal, es decir, datos tomados en un período de tiempo, que permiten obtener una fotografía de las empresas encuestadas con respecto a su actividad innovadora.

En contraste, cuando tratamos con encuestas longitudinales, vemos diferentes “oleadas” de encuestas en las que se vuelven a preguntar a las mismas empresas las mismas preguntas; esto permite observar el comportamiento innovador de las empresas en el tiempo. Si bien las encuestas longitudinales tienen la gran ventaja de que se puedan establecer relaciones causales entre variables independientes y una(s) variable(s) dependiente(s), una necesidad muy grande en los estudios de innovación (Cassiman y Veugelers, 2002), tienen requisitos metodológicos muy estrictos (Neale *et al.*, 1994) que generalmente conllevan a que obtener datos longitudinales tome mucho tiempo y genere altos costos (Gillespie *et al.*, 2003). A su vez, las encuestas transversales no tienen estas últimas

¹ Para poder entender mejor el desarrollo de las encuestas nacionales de innovación que se basan en el *Manual de Frascati*, por favor, revisar el capítulo 3 de este libro.

desventajas y aunque están caracterizadas por la dificultad de poder establecer relaciones de causalidad, no dejan de tener un gran valor para entender el panorama innovador de un país.

Este capítulo tiene como objetivo presentar el valor que tienen las encuestas de corte transversal en los estudios de la innovación, cómo se pueden utilizar y cuáles son los problemas que un investigador puede llegar a enfrentar. Para ello, en primer lugar, presentamos cómo las encuestas de innovación se han utilizado para analizar la actividad innovadora de las empresas. A partir de una revisión sistemática de la literatura de aquellos artículos que se basaron en ellas, queremos responder la pregunta: ¿qué se puede aprender a partir de unas encuestas de innovación de corte transversal? Para ello, identificamos y presentamos con nuestra revisión sistemática de la literatura los principales clústeres temáticos tratados en estas investigaciones. Luego presentamos de manera detallada el modelo de regresión base que se utiliza principalmente en el análisis de datos de corte transversal: la regresión logística. A partir de la presentación de los principales problemas que un investigador puede enfrentar al utilizar una regresión logística, discutimos en un ejemplo cómo se puede superar este problema. Finalmente, se proveen algunas recomendaciones generales e implicaciones para el futuro análisis de encuestas de innovación.

Revisión sistemática de la literatura. ¿Qué podemos aprender de las encuestas de innovación?

Nuestro principal objetivo es poder mostrar el valor que tienen las encuestas de corte transversal para el estudio de la innovación. Para ello, en este apartado, realizamos una revisión sistemática de la literatura, una metodología cualitativa que permite sintetizar los resultados de investigación (Colicchia y Strozzi, 2012). Si bien el objetivo principal de una revisión de la literatura generalmente está en identificar la frontera del conocimiento (Xiao y Watson, 2017), nosotros realizamos la revisión sistemática de la literatura con la finalidad de presentar todo el conocimiento que se ha podido acumular a partir de las encuestas de innovación. Teniendo en cuenta que la mayoría de estas encuestas son de corte transversal, esta revisión de la literatura permite dar una impresión resumida de todo lo que se puede analizar a partir de estos datos, a pesar de no contar con datos longitudinales. Teniendo en cuenta que la mayoría de las

encuestas de innovación siguen una misma estructura² con preguntas similares,³ esta revisión de la literatura también ofrece una oportunidad para investigadores en América Latina de poder detectar temas que en sus países no se han tratado aún y por los que, por ejemplo, a partir de un análisis de la influencia del contexto institucional, se pueden generar nuevos conocimientos.

Metodología

Para poder llevar a cabo la revisión sistemática de la literatura, nosotros incluimos todos aquellos artículos que se encuentran en el servicio en línea de información científica, Web of Science, una base de datos ampliamente utilizada por investigadores a nivel mundial. Empezamos con la revisión de la literatura utilizando las palabras claves *innovation* y *survey*. Para cada artículo, revisamos de manera preliminar su relevancia a partir del título. Luego incluimos la referencia bibliográfica en los casos en los que el contenido hacía referencia a una encuesta de innovación. Nosotros reconocemos plenamente que este proceso puede contener dos limitantes. Primero, al usar las palabras claves en inglés y basándonos en la base de datos de Web of Science, no incluimos los trabajos realizados en idiomas diferentes al inglés o publicados en revistas que no hacen parte de Web of Science. Esto, desde nuestra perspectiva, sería una limitante grave si el objetivo general fuera el de mostrar la frontera del conocimiento acerca de los estudios de innovación. Nuestro objetivo, sin embargo, es distinto, ya que queremos mostrar lo que se puede investigar a partir de las encuestas de innovación. Por lo tanto, creemos que este limitante no es tan grave. Segundo, al incluir las dos palabras claves, *innovation* y *survey*, no nos limitamos a las encuestas de innovación que siguen el *Manual de Oslo*. Eso, lejos de ser una limitante, consideramos que es una

2 Las encuestas de innovación generalmente contienen los siguientes apartados: a) indicadores acerca de los resultados de innovación, como por ejemplo la introducción de nuevos productos y/o procesos o el porcentaje de ventas de nuevos productos, b) los gastos para actividades relacionados al proceso de innovación, incluyendo entre otros el entrenamiento de personal, gastos para análisis de mercadeo, etc. y c) información acerca de cómo el proceso de innovación procede, como por ejemplo las fuentes internas y externas de innovación, las razones de llevar a cabo actividades de innovación, obstáculos y mecanismos de apropiación del conocimiento, entre otros.

3 Para obtener información más detallada sobre las diferencias entre las encuestas de innovación en América Latina, revisar el capítulo 2 de este libro.

fortaleza. Las encuestas de innovación no son las únicas encuestas por medio de las cuales se puede analizar el comportamiento innovador de las empresas en un país. Adicionalmente, existen encuestas diseñadas por investigadores para evaluar elementos que en las encuestas de innovación que siguen el *Manual de Oslo* no se han considerado, como por ejemplo las prácticas de innovación (Oke, 2007; Kim, Kumar y Kumar, 2012). Adicionalmente, existen otras encuestas que, si bien no tienen como enfoque principal los procesos de innovación, contienen suficiente información para poder realizar investigaciones acerca del comportamiento innovador. Un ejemplo de ello es la investigación de Schmutzler y Lorenz (2018) que se basa en la World Enterprise Survey y evalúa cómo la tolerancia a nivel regional está relacionada con resultados de innovación en diferentes regiones de América Latina.

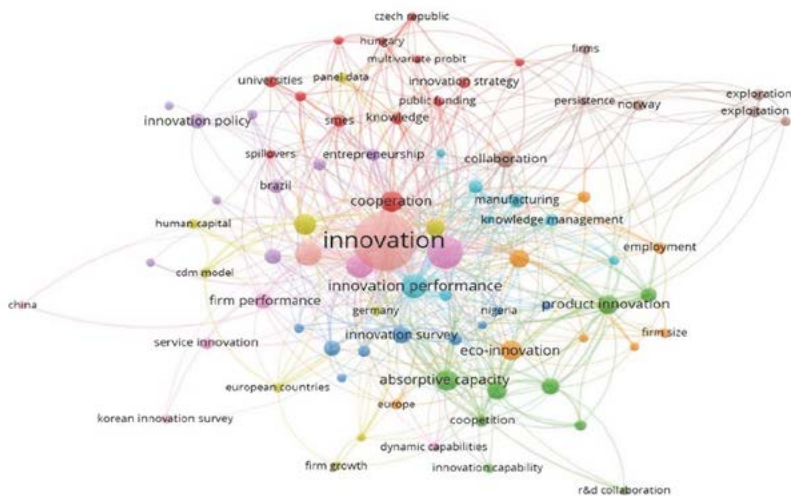
La búsqueda realizada en Web of Science arrojó un total de 708 artículos. En la siguiente sección, describimos los principales resultados del análisis de estos artículos para responder nuestra pregunta de investigación sobre lo que se puede aprender sobre innovación a partir de las encuestas de innovación de corte transversal. Para ello, nos basamos en la herramienta de software, VOSviewer⁴, desarrollada para el análisis de la literatura científica por los cientímetristas (van Eck y Waltman, 2010). Vosviewer es una herramienta de libre acceso que permite la construcción y visualización de redes bibliométricas (van Eck y Waltman, 2010). A partir de unos términos claves que se identifican por medio de minería de texto en los títulos y resúmenes de los artículos (van Eck y Waltman, 2010), se construyen mapas de calor. Estos mapas son visualizaciones bidimensionales en la que los términos claves se sitúan de manera que la distancia entre dos términos cualesquiera refleje la relación de los términos claves con la mayor precisión posible. Por lo tanto, entre mayor sea el número de coocurrencias de dos términos, menor será la distancia entre ellos. De este modo, estos mapas proporcionan una visión general de los temas importantes tratados en la literatura y cómo se relacionan estos temas entre sí. Adicionalmente, entre mayor sea el número de artículos en los que aparece un término clave, más prominente será el término clave en el mapa.

⁴ Centre for Science and Technology Studies. VOSviewer. *Visualizing scientific landscapes*. URL: <https://www.vosviewer.com/>. Países Bajos: Leiden University.

Una radiografía de las empresas innovadoras

En el gráfico 1 del mapa de coocurrencia de los términos claves se resalta la presencia de palabras como *innovation* (innovación, en español) y *survey* (encuesta, en español). Teniendo en cuenta estas palabras, los trabajos asociados pueden abordar temas como la definición de indicadores y *scoreboards* (cuadros de indicadores), determinantes de innovación, resultados de innovación, complementariedades y dinámicas (Mairesse y Mohnen, 2010). Además, como se puede observar en el siguiente mapa, se lograron identificar diez clústeres de términos relevantes.

Gráfico 1. Coocurrencia de términos claves



Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados de la revisión sistemática de la literatura (708 artículos que contienen las palabras claves *innovation* y *survey*), utilizando la herramienta software VOSViewer

Cuadro 1. Clústeres temáticos con las palabras claves

Clúster temático	Nombre asignado	Palabras claves (en inglés)
1 (rojo)	Cooperación para la innovación y transferencia de conocimiento	cooperation, knowledge, public funding, universities, technology transfer, spillovers, innovation strategy, SMEs
2 (rosado fuerte)	Innovación abierta y desempeño de la empresa	open innovation, firm performance, dynamic capabilities, service innovation
3 (marrón)	Colaboración, exploración, explotación y ambidexteridad	collaboration, , exploration, persistence, firms, ambidexterity, eco-innovation
4 (verde)	Capacidad de absorción y colaboración	product innovation, absorptive capacity, technological innovation, process innovation, organizational innovation, management innovation, r&d collaboration, coopetition, innovation capability
5 (rosa claro)	I+D e innovación	Innovation, R&D
6 (azul claro)	Servicios, KIBS y knowledge management	innovation performance, manufacturing, services, knowledge management, kibs, knowledge sources, marketing innovation
7 (amarillo)	Productividad e innovación	productivity, cis, cdm model, panel data, human capital, quantile regression, firm growth
8 (azul -morado)	Complementariedad, barreras para la innovación y fracaso	innovation survey, complementarity, cis, competitiveness, manufacturing firms, innovation failure, non-technological innovation, technological capabilities
9 (naranja)	Innovación ambiental y ecoinnovación	eco-innovation, environmental innovation, energy efficiency, employment, environmental policy, firm size, industry
10 (morado)	Emprendimiento, conocimiento e innovación	entrepreneurship, innovation surveys, r&d cooperation, innovation policy, patents, complementarities, innovation management, national innovation system

Fuente: elaboración propia a partir de los datos generados de la revisión sistemática de la literatura, utilizando la herramienta software VOSViewer

La complejidad y la velocidad del cambio técnico (Steensma, 1996) así como la estandarización tecnológica y la consiguiente aparición y crecimiento de mercados de servicios especializados (Arora, Fosfuri y Gambardella, 2004) han aumentado la presión sobre las empresas para integrar el conocimiento externo en sus procesos de innovación. Esta presión, en conjunto con cada vez más políticas públicas dirigidas a intensificar la colaboración entre los agentes productivos y académicos (por ejemplo, Ballesteros y Modrego Rico, 2001), ha generado que la cooperación hoy en día sea considerada como uno de los aspectos centrales para las empresas a la hora de diseñar una estrategia de innovación (Srholec y Verspagen, 2012). Por lo tanto, los acuerdos cooperativos resultan ser claves para la innovación. Belderbos, Carree y Lokshin (2004) diferencian cuatro socios para colaboraciones (competidores, proveedores, clientes y universidades/institutos de investigación) y encuentran a partir de la encuesta de innovación de Holanda que las metas y, por lo tanto, los

resultados de una colaboración varían dependiendo del socio. Por ejemplo, las colaboraciones con proveedores y clientes están enfocadas en las innovaciones incrementales y por lo tanto aumentan la productividad. Las colaboraciones con universidades están enfocadas en las innovaciones de producto y por lo tanto aumentan las ventas. En esta misma línea, Miotti y Sachwald (2003), a su vez, investigan por qué y con quién una empresa coopera para sus actividades de I+D (para el caso de Francia).

Probablemente, uno de los artículos más conocidos en torno a este tema sea el de Laursen y Salter (2006). Interesantemente, Chen, Chen y Vanhaverbeke (2011) extienden este análisis a partir de una encuesta diseñada por ellos, introduciendo los dos modos de innovación: STI (innovación basada en ciencia y tecnología) y DUI (innovación basada en hacer, usar e interactuar). Ellos encuentran que el tipo de socios externos varía de acuerdo con el modo de innovación, así como también los rendimientos decrecientes en las estrategias de búsqueda externa, sugeridos por Laursen y Salter (2006).

Estas cooperaciones pueden generar transferencias de tecnología, un tema de alta relevancia, como lo demuestra Soares (2020), basándose en la encuesta de innovación del Foro Nacional de Gerentes de Transferencia de Innovación y Tecnología Brasileira, que resulta ser una alternativa a la encuesta de innovación de Brasil. Ellos evidencian que las políticas de transferencia de tecnología deben ser hechas a la medida adaptándose al contexto para que no se sobreprotejan las innovaciones realizadas en las universidades. De igual manera, la literatura ha argumentado que la transferencia de tecnología juega un papel muy importante para los países en desarrollo; a través de inversiones de capital extranjero, la actividad innovadora de un país rezagado puede mejorar. Falk (2015) muestra a partir de la encuesta de innovación de la Unión Europea que, si bien hay un efecto positivo entre la presencia de empresas extranjeras y la actividad innovadora de las empresas locales, esta relación solo se da si el diferencial de la productividad no es demasiado grande.

Finalmente, falta destacar que las colaboraciones también pueden generar transferencias de conocimiento no intencionadas, los llamados *spillover*, en los que las empresas reciben conocimientos externos sin haber tenido que pagar por ellos, los cuales son causados por mecanismos deficientes de protección por parte de los actores generadores de los conocimientos. La literatura se enfocó en evaluar qué tanto estos *spillovers* de conocimiento pueden desalentar la inversión en actividades de I+D (Arrow, 1962; Schmookler, 1966; Spence, 1984). La dificultad de evaluar

el efecto de estos *spillovers* está en la manera de medirlos, dado que los flujos de conocimiento son invisibles (Krugman, 1991). Sin embargo, Kaiser (2002) propone una forma de medición, cuya base es la encuesta de innovación de Alemania.

Innovación abierta y desempeño de la empresa

La creciente propensión a colaborar durante los últimos años (Hagedoorn, 2002) ha ido acompañada de una nueva comprensión de las actividades innovadoras de las empresas. En contraste con las concepciones anteriores de un proceso de innovación lineal, la innovación se entiende ahora como un proceso interactivo, en el que la dependencia de agentes externos para obtener información y conocimientos es fundamental (von Hippel, 1988; Chesbrough, 2003). Por lo tanto, no sorprende que un clúster temático recoja esta tendencia, enfocado en un nuevo paradigma de la innovación que surgió a raíz de este entendimiento: innovación abierta (*open innovation* (OI)). Este paradigma, introducido y promovido por Chesbrough (2003), hace referencia a “un proceso de innovación distribuido basado en flujos de conocimiento gestionados intencionalmente a través de los límites de la organización, utilizando mecanismos monetarios y no monetarios en línea con el modelo de negocio de la organización” (Chesbrough y Bogers, 2014: 17, traducido por los autores). Más allá de enfocarse en la colaboración, mediante la cual las empresas pueden aprovechar la información y los conocimientos externos, una estrategia de innovación abierta implica el uso de conocimientos internos y externos, así como también existen el camino interno y el externo para llevar la tecnología al mercado (Chesbrough, 2003).

En la literatura se ha encontrado que las estrategias específicas de OI tienen un efecto positivo en el desempeño de la innovación. No obstante, y similar a lo encontrado por Laursen y Salter (2006), los fenómenos de búsqueda y colaboración excesiva pueden reducir los rendimientos marginales de OI cuando una empresa recurre a socios de innovación externos adicionales, como lo demuestran Greco, Grimaldi y Cricelli (2016), basados en la Encuesta de la Comunidad sobre la Innovación (CIS) de Eurostat. Uno de los tópicos más importantes relacionado a la estrategia de innovación abierta es su influencia en el desempeño de la empresa. Hung y Chou (2013), por ejemplo, basándose en una encuesta diseñada por ellos, han evidenciado que la adquisición de tecnología externa afecta

positivamente el desempeño de la empresa, mientras que no sucede así con la explotación de tecnología externa. Además, encuentran que la adquisición de tecnología externa fortalece la relación entre la explotación de tecnología externa y el desempeño de la empresa.

Colaboración, exploración, explotación y ambidexteridad

El conocimiento de una empresa se adquiere tanto por medio de la exploración y como de la posterior explotación de fuentes de conocimiento internas y externas. Las empresas se benefician de la combinación de estas estrategias. Popadić, Pučko y Černe (2016), por ejemplo, encontraron evidencia de que la exploración y la explotación están relacionadas positivamente con los resultados de innovación de la empresa, respaldando el supuesto de que ambas son complementarias. Además, identificaron que sus efectos combinados en el concepto ambidestreza organizacional mantiene una relación negativa con el desempeño de la innovación. Crescenzi y Gagliardi (2018) a partir de una encuesta diseñada por ellos muestran que la exploración de los conocimientos externos y su explotación tienen un impacto diferencial en el desempeño de la empresa y que este impacto positivo está siendo moderado por las inversiones en I+D internas, es decir, las inversiones en I+D cambian esta relación. La complementariedad de estas distintas estrategias de innovación ha sido comprobada en varios estudios.

En esta misma línea, una empresa también puede tomar la decisión de generar innovaciones incrementales y/o innovaciones radicales. Si bien la literatura generalmente considera aquellas innovaciones que son completamente nuevas para el mercado como las más beneficiosa para la empresa en el largo plazo (Song y Thieme, 2009), las innovaciones que reflejan un cambio menor con respecto a los productos (o servicios) existentes no dejan de ser importantes, sobre todo en el corto plazo (O'Reilly III y Tushman, 2013). Por lo tanto, una ambidexteridad de innovación, en la que se complementan las innovaciones incrementales con las radicales, es una estrategia importante y resulta ser más relevante en los contextos de alta tecnología (Derbyshire, 2014). A la vez, Ardito *et al.* (2018) muestran cómo un cambio en el foco de análisis puede generar nuevas ideas de investigación: en lugar de evaluar cómo la ambidexteridad está relacionada con el desempeño innovador, evalúan si explorar

conocimientos en la cadena de valor tiene un efecto positivo en una estrategia ambidextra de innovación.

Capacidad de absorción y colaboración

Cuando se habla de colaboración o innovación abierta, un tema que generalmente surge es la capacidad de absorción, concepto que fue introducido por Cohen y Levinthal. Ellos lo definieron como “la habilidad de la empresa para reconocer el valor de una nueva información externa, asimilar y aplicarla con fines comerciales” (1990: 128, traducido por los autores). Tsai (2009), en su estudio basado en la encuesta de innovación de Taiwán, examina el papel contingente que tiene la capacidad de absorción en las relaciones entre la colaboración con diferentes tipos de socios y el desempeño innovador de una empresa. Con ello, extiende investigaciones de los dos clústeres temáticos anteriormente mencionados poniendo en evidencia que la relación entre colaboración e innovación es compleja. Es un estudio muy interesante que introduce una variable moderadora. Las encuestas de innovación de corte transversal abren un interesante camino para poder evaluar relaciones de moderación y mediación (es decir, una variable que interviene en la relación entre la variable independiente y la variable dependiente).⁵

I+D e innovación

A pesar de que hoy en día se reconoce que las inversiones en I+D no son el único camino para generar innovaciones, no dejan de ser importante, como lo muestran los rankings de los países de acuerdo con su inversión en I+D. En este clúster temático que tiene una relación muy cercana con los países de Corea del Sur y China uno esperaría encontrar principalmente aquellas investigaciones que analizan la relación entre inversiones entre I+D e innovación. La investigación de Conte y Vivarelli (2014), que analiza justamente la relación entre las inversiones en I+D y la introducción de innovaciones en el mercado, es un excelente ejemplo de

⁵ Para mayor detalles sobre las variables moderadoras y mediadoras, revisar Baron y Kenny (1986). A su vez, recomendamos referirse a Aguinis, Bradley y Edwards (2017), quienes discuten en su artículo cómo mejorar el entendimiento de variables moderadoras y mediadoras en gerencia estratégica.

cómo ciertos problemas a los que se enfrenta un investigador que utiliza las encuestas de innovación, como el sesgo por selección o el problema de endogeneidad y de simultaneidad, se pueden superar por medio de técnicas econométricas. Pero este clúster temático va más allá y muestra potenciales temáticos interesantes: Chun, Chung y Bang (2015), por ejemplo, evalúan la eficiencia de las inversiones en I+D a partir de la encuesta de innovación de Corea del Sur diferenciando entre dos fases del proceso de I+D e introduciendo un modelo de dos fases (*two-stage data envelopment model*).

Servicios, KIBS y knowledge management

En este clúster temático llama la atención el hecho de que las innovaciones no solamente se producen en las empresas del sector manufacturero, sino también en el de servicios. La proliferación de las encuestas de innovación hacia estos sectores en todos los países y la creciente importancia del sector han abierto nuevas posibilidades de estudio. Abreu *et al.* (2008), por ejemplo, muestran qué significan las innovaciones en este sector y cómo se medirían. Ellos concuerdan que, al utilizar indicadores tradicionales, como lo son las inversiones en I+D en servicios o las patentes, se subestima la actividad innovadora de estas industrias. Un rol muy importante en este sector lo juegan los llamados servicios de negocios intensivos en conocimiento (*knowledge intensive business services* (KIBS)). Tradicionalmente, las empresas de estos sectores han sido consideradas como una fuente de información importante en los procesos de innovación. Rodríguez, Doloreux y Shearmur (2017) muestran que su función va más allá de eso. En muchos casos, los KIBS son generadores de invenciones, haciéndolos más similares a organizaciones de I+D. Varias investigaciones se han enfocado en entender los KIBS y sus actividades de innovación. Choi, J. y Choi, J. Y. (2021), por ejemplo, analizan la relación entre cooperaciones y la cantidad de personal dedicado a actividades de I+D con la generación de innovaciones, mientras que Amara, Landry y Traoré (2008) evalúan cómo las empresas en estos sectores pueden proteger sus innovaciones.

Productividad e innovación

La razón por la cual las empresas innovan generalmente está ligada a la expectativa sobre que estas innovaciones puedan mejorar el desempeño empresarial. Por lo tanto, una de las temáticas importantes en el estudio de la innovación es la relación entre innovación y productividad. El modelo empírico de Crépon, Duguet y Mairesse (CDM) (1998), ampliamente utilizado en estas investigaciones, se basa en la función tradicional de producción de conocimiento (Grilliches, 1979), pero afinado por un elemento clave al introducir dos etapas del proceso innovador en lugar de analizar directamente el impacto de las inversiones de I+D en la productividad. Basadas en este modelo, se pueden encontrar varias investigaciones que introducen elementos moderadores. Castellacci (2009), por ejemplo, evalúa como el nivel de competitividad de los diferentes sectores en Noruega afecta la relación entre inversiones en I+D y la productividad. A partir de la encuesta de innovación y dado que la información disponible de ese país se lo permite, construye una base de datos longitudinal, es decir, un panel. De manera similar, Czarnitzki y Delanote (2017) aprovechan el panel de la encuesta de innovación de Bélgica para evaluar la influencia de subvenciones en la productividad. Teniendo en cuenta el énfasis del capítulo en su base de datos de corte transversal, este tema, por el modelo econométrico predominante basado en un panel, no se presta fácilmente para investigaciones.

Complementariedad, barreras para la innovación y fracaso

En el clúster temático tres ya se ha hablado de que la estrategia de innovación comprende varias acciones, como por ejemplo el uso de conocimiento externo o interno o la exploración o explotación. En este clúster temático encontramos aquellas investigaciones que evalúan si ciertas estrategias son sustitutos o se complementan. Uno de los estudios más destacados en este sentido es el de Cassiman y Veugelers (2002), quienes analizan si las actividades internas de la empresa de I+D son complementarias a la adquisición externa de conocimiento. Utilizando la encuesta de innovación de Bélgica, encuentran que efectivamente son estrategias complementarias pero que el grado de complementariedad depende de factores externos a la empresa. Schmiedeberg (2008) extiende este análisis para el caso de Alemania al diferenciar la adquisición externa de

conocimiento en relaciones de cooperación y relaciones contractuales, encontrando que existe complementariedad entre las actividades internas y cooperaciones, pero no entre actividades internas y la adquisición de conocimiento por medio de contratos.

Un tema íntimamente relacionado con la estrategia de innovación es el de las barreras para la innovación a las que las empresas se enfrentan. El artículo seminal de D'Este *et al.* (2012) logra identificar dos tipos de barreras, basándose en la encuesta de innovación del Reino Unido: barreras que disuaden a las empresas a comprometerse con actividades de innovación desde un inicio y barreras reveladas, que son aquellas que enfrentan las empresas durante su proceso de innovación. D'Este, Rentocchini y Vega-Jurado (2014) muestran que un capital humano altamente calificado tiene el potencial de reducir ciertas barreras para la innovación. En este estudio diferente al primero los autores hacen uso de un panel.

Finalmente, el fracaso de la innovación es otro tema potencialmente interesante que está cobijado en este clúster temático. Es importante entender que el fracaso puede verse desde dos perspectivas: por un lado, como algo negativo porque implica la pérdida de recursos invertidos y, por ende, se intenta evitar. Por otro lado, el fracaso puede ser visto como algo positivo ya que, a partir de los fracasos, la empresa puede aprender. Para los dos casos se pueden encontrar ejemplos. D'Este, Amara y Olmos-Peñuela (2016) identifican los factores que pueden ayudar a evitar fracasos en el proceso innovador. Leoncini (2016), por su lado, indica que los fracasos están relacionados con una mayor probabilidad de generar nuevos productos, mientras que Ferreira, Fernandes y Ferreira (2020) señalan que entre menos experiencia acumulada tengan las empresas, mayor es la probabilidad de fracaso.

Innovación ambiental y ecoinnovación

El tema ambiental ha cogido fuerza durante los últimos años en todos los ámbitos, así que no sorprende que la ecoinnovación,⁶ así como las estrategias de sostenibilidad ambiental, formen un clúster temático. Esta temática relativamente nueva comprende investigaciones muy variadas

⁶ La ecoinnovación se define como procesos, técnicas, sistemas y productos nuevos y significativamente modificados que tienen efectos beneficiosos sobre el medio ambiente natural, independientemente de si dichos efectos fueron el objetivo principal de la innovación (Kemp y Pearson, 2008).

y distintas, desde los determinantes para la ecoinnovación hasta sus impactos y relación con las políticas públicas. Los resultados del estudio de Tsai y Liao (2017) revelan que es más probable que las empresas adopten una estrategia ambiental proactiva para mejorar la ecoinnovación bajo altos niveles de demanda del mercado y subsidios gubernamentales. Asimismo, los resultados muestran que la intensidad de la innovación afecta el efecto de la estrategia medioambiental sobre la ecoinnovación. Arranz *et al.* (2019) evalúan los incentivos y las barreras para las ecoinnovaciones, mostrando que la alta complejidad de las ecoinnovaciones es una barrera sustancial y que los incentivos institucionales son importantes para su desarrollo. Madaleno *et al.* (2020) se enfocan en los efectos de las ecoinnovaciones y muestran que, en Europa, las ecoinnovaciones pueden tener un efecto negativo en el crecimiento de los empleos y las ventas, pero que este efecto depende de varios factores. Finalmente, Caravella y Crespi (2020) muestran que el efecto de políticas públicas para la generación de ecoinnovaciones no es homogéneo, sino que más bien depende del tipo de ecoinnovación.

Emprendimiento, conocimiento e innovación

El emprendimiento y la innovación están íntimamente relacionados, hecho que Schumpeter ya resaltó en sus investigaciones. Por ello, el último clúster temático está enfocado en el tema del emprendimiento. Teniendo en cuenta que generalmente las encuestas de innovación no contienen información sobre los emprendimientos, muchas de las investigaciones de este clúster temático combinan los datos de las encuestas de innovación con otros, una vía muy prometedora para futuras investigaciones, sobre todo cuando las encuestas de innovación cada vez son más homogéneas (ya que ello permitirá estudios de diferentes países). Block, Thurik y Zhou (2012) indican que una alta tasa de emprendimiento es un factor importante en el proceso de convertir el conocimiento en innovación nueva para el mercado, pero no tiene ningún efecto sobre la relación entre el conocimiento y la innovación nueva para la empresa, lo cual destaca la importancia del emprendimiento Schumpeteriano en el proceso de comercialización del conocimiento. Gimenez-Fernandez, Sandulli y Bogers (2020) muestran otra forma de vincular el emprendimiento con la innovación, utilizando las encuestas de innovación al comparar empresas establecidas con empresas nuevas, mostrando que

existen diferencias fundamentales en las actividades y resultados de innovación entre los dos grupos.

Conclusiones

Como pudimos observar a partir de la revisión sistemática de la literatura, si bien las encuestas de innovación tienen la limitación de no poder establecer relaciones causales, nos proveen mucha información que nos ayuda a entender mejor la innovación. Hemos identificado diez clústeres temáticos y pudimos describir algunos de los hallazgos más importantes dentro de cada uno. La siguiente pregunta que el investigador se tiene que hacer, al querer investigar sobre la innovación a partir de estas encuestas, es cuál es la metodología más adecuada. La siguiente sección hace referencia a esta pregunta.

El modelo de regresión logística

Consideraciones acerca de datos contenidos en las encuestas de innovación

Generalmente, en las encuestas sean las encuestas nacionales que siguen el modelo de Oslo o la World Enterprise Survey o las encuestas diseñadas por investigadores podemos encontrar datos continuos o discretos. Antes de describir el modelo de regresión logística y sus “derivados”, comentamos acerca de los datos que generalmente se encuentran en esas encuestas. A su vez, se tiene en cuenta que, en la mayoría de los casos, los investigadores, al usar como fuente de información las encuestas de innovación, se enfrentan con datos secundarios, es decir, datos que fueron generados (recolectados) por la agencia encargada de aplicar la encuesta. Comentaremos también a partir de nuestra propia experiencia con la encuesta de innovación colombiana como también con la World Enterprise Survey sobre los problemas que un investigador pueda encontrar al revisar la información contenida en estas bases de datos.

La *información continua* suele evidenciar características generales de la empresa (activos, fondos disponibles para innovar, valor producido en un año, etc.) y carece de una escala predefinida. En contraste, la *información discreta* abunda en los estudios de innovación, en la medida en que

sus preguntas buscan identificar qué características están relacionadas con la decisión de emprender actividades de innovación en las empresas, lo cual centra el interés en hacer uso de diferentes tipos de escalas, mediante métodos de análisis estadísticos pertinentes. Los datos que nos podemos encontrar en las encuestas de innovación pueden tomar la siguiente forma:

- Discretos, dicotómicos: la escala solo tiene dos valores, uno que indica la presencia de un fenómeno y otro que indica su ausencia. (Ejemplo: Para la pregunta ¿en el último año su empresa innovó?, se dan las siguientes opciones de respuesta: “sí” (codificado como 1) y “no” (codificado como 0)). Es importante anotar que, en muchas encuestas, estas variables dicotómicas no están codificadas de la manera correcta.
- Discretos, categóricos: los valores de la escala denotan diferentes categorías dentro de un conjunto, pero no existe una relación ordinal evidente (mayor o menor) entre ellos. (Ejemplo: Para la pregunta ¿qué tipo de innovación ha hecho predominantemente su empresa en el último año?, se dan las siguientes opciones de respuesta: a) producto (codificado como 1), b) servicios (codificado como 2), c) procesos (codificado como 3) y d) organizacional (codificado como 4)). En el caso de las variables de carácter categórico, tenemos que tomar en cuenta que la mayoría de los softwares escogen como categoría base aquella con el valor numérico más bajo. Tomando el ejemplo de arriba, la categoría base sería la de innovación de productos. Aunque no siempre la categoría base predeterminada por el software es lo que mejor conviene.
- Discreto, ordinales: los datos ordinales provienen de escalas organizadas en las que hay una diferencia cualitativa entre los diferentes puntos de esta, es decir, hay un criterio para que un punto de la escala sea superior o inferior a los demás. (Ejemplo: En una escala de 1 a 7, en la que 1 es bajo y 7 es alto, ¿cómo evalúa el impacto de su decisión de innovar en el ambiente de la empresa?).
- Discreto, conteo: los datos de conteo, como su nombre lo indica, miden la cantidad de unidades que pueden ser reportadas. Siempre son positivos y no tienen límite superior, pero sí un límite inferior.

(Ejemplo: Indique el número de patentes presentadas por su empresa en el último año).

- Continuos: como habíamos mencionado anteriormente, los datos continuos provienen de variables en las que las mediciones no están incluidas en una escala predeterminada, sino que los datos son divisibles y usualmente no tienen límites. Sin embargo, es posible que se tengan mediciones “censuradas”, por ejemplo, cuando se utilizan porcentajes, ya que tienen límites superiores e inferiores. (Ejemplo: Por favor, indique el valor de activos de su empresa durante el último año).

Problemas usuales al tratar datos secundarios antes de hacer un análisis

Cuando un investigador utiliza una base de datos ya existente, es decir, datos secundarios, tiene que tomar en cuenta que esta base de datos no fue construida con el objetivo de investigación en mente, sino para otros propósitos, generalmente relacionados al análisis para construir políticas públicas. Por lo tanto, hay ciertos elementos que se tienen que tomar en cuenta a la hora de usar los datos. Además, ninguna encuesta de innovación es perfecta. Los métodos de recolección y codificación de la información son susceptibles a errores humanos, así como a disposiciones legales que significan que no tendremos información completa para todas las empresas que queremos analizar. Asimismo, las encuestas son aplicadas y respondidas por seres humanos, por lo que es de esperarse que en algunos casos atípicos las respuestas otorgadas sean poco confiables, lo cual puede estropear nuestro análisis. La mayoría de los problemas descriptos a continuación suelen ser fácilmente identificables con una verificación descriptiva de la información, mediante una tabla, un diagrama de caja (en inglés *boxplot*) o un gráfico de dispersión sencillo.

Valores faltantes

No siempre es posible obtener todos los datos de todas las empresas para las variables de interés. Esto puede deberse a protecciones legales, alguna solicitud por parte de la empresa para no divulgar la información o

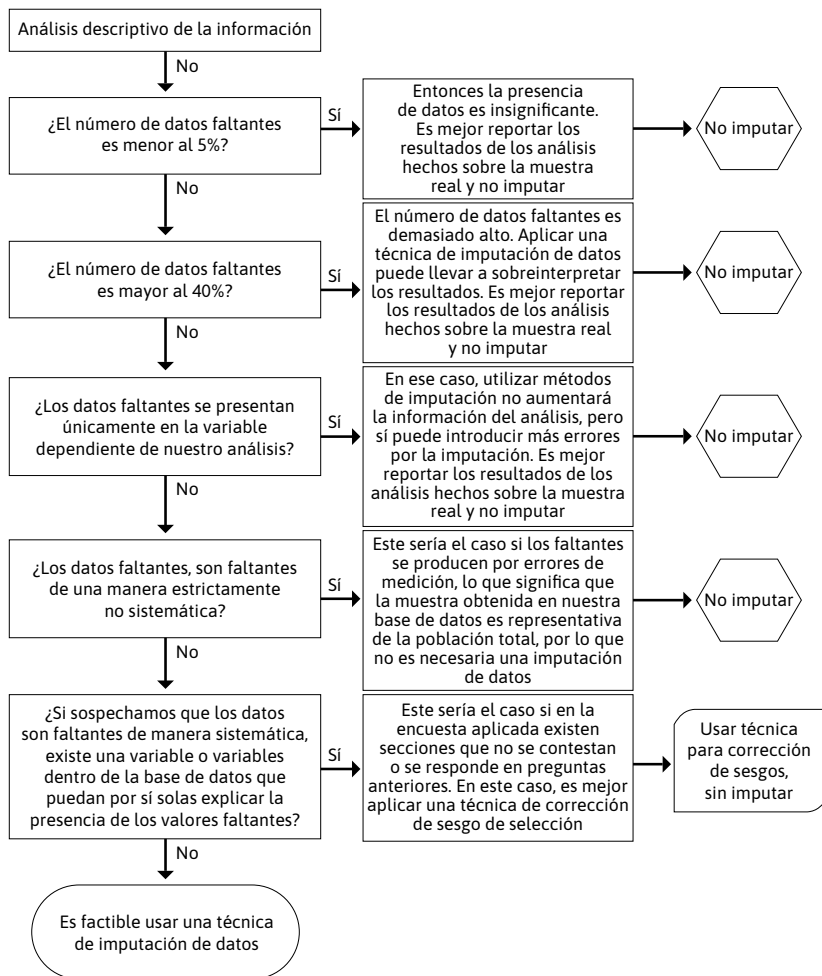
simplemente hubo un error en el momento de recolección de la información. En este caso, decimos que *no hay una razón sistemática* para la presencia de esos valores faltantes, es decir, aparecen de una manera más o menos aleatoria. Por el contrario, es posible que existan *causas sistemáticas* para la presencia de un valor faltante. Esto, por ejemplo, sucede cuando el diseño de una encuesta exime a ciertas empresas de contestar secciones sobre la base de sus respuestas anteriores. En ese caso, existe un *sesgo de selección*, lo que puede implicar que el análisis que estemos realizando esté sesgado.

Hablaremos de la forma de lidiar con sesgos de selección en el análisis estadístico más adelante. Mencionamos aquí que hay esencialmente dos formas de lidiar con los datos faltantes. Ignorar la presencia de los faltantes, reportándolos al final en la presentación de resultados o realizar una imputación de datos. La imputación de datos consiste en una técnica estadística que involucra tres pasos (Jakobsen *et al.*, 2017):

1. Se genera un conjunto de datos plausibles sobre la base de la información observada de las empresas que sí tienen información completa y se reemplazan los valores faltantes de manera aleatoria para generar una base de datos “imputada”. Usualmente, se hace este proceso muchas veces, con diferentes valores aleatorios para los datos faltantes, lo que genera varias bases imputadas.
2. Se realiza el análisis estadístico de interés sobre cada una de las bases de datos imputadas.
3. Se hace una consolidación de los análisis en un solo análisis que es el que usualmente se reporta.

Jakobsen *et al.* (2017) recomiendan seguir el siguiente paso a paso (diagrama 1), en el cual se resuelve una pregunta en cada paso que sirve para determinar si es necesaria una imputación o ignorar la presencia de los valores faltantes y reportar los análisis sobre la información presente.

Diagrama 1. Modelo de decisión para observaciones faltantes



Fuente: elaboración propia a partir de Jakobsen *et al.* (2017)

Codificación Confusa/engañosa

Es muy común encontrar que, en cada encuesta de innovación, la forma como se codifican los resultados es inconsistente, o que se utilizan ciertos códigos para simbolizar ciertos estados, como por ejemplo la presencia

de datos faltantes, que nos pueden llevar a hacer inferencias erróneas sobre la información disponible.

- Ejemplo 1: en lugar de tener los valores 0 (por ejemplo, la empresa NO innovó) y 1 (la empresa SÍ innovó), tienen asignados los valores de 1 (la empresa innovó) y 2 (la empresa no innovó). Si bien el mensaje principal del análisis es poco probable que cambie si realizamos el análisis estadístico pertinente con la información como está, sí se complejiza la interpretación del modelo.
- Ejemplo 2: en la misma encuesta se utilizaron “N/A”, “99” o “-99” para representar resultados que son valores faltantes. Si se realiza un análisis estadístico sobre la información presente, se encontrarán resultados extremadamente sesgados, que no representan las verdaderas relaciones presentes en los datos.
- Solución: una simple inspección de los datos con una tabla de frecuencias puede dar luz sobre la presencia de codificaciones confusas. La solución suele ser recodificar el código por un valor que sí represente de manera real el dato que está tratando de mostrar (por ejemplo, recodificando el código “2” para una respuesta negativa como un “0”) o definir el dato como dato faltante o borrarlo cuando la codificación indica que es un valor faltante.

Outliers. Datos atípicos

También es posible que, durante una encuesta, algún recolector de información codifique de manera atípica los resultados o que el patrón de respuestas de una o varias empresas sea errático para alguna o muchas de las preguntas incluidas en la encuesta. Esto puede tener varias razones: la persona encargada de dar la información cometió un error voluntario o involuntario o se llenó el formulario de manera descuidada, por lo que se terminaron anotando valores extremos. En tal caso, la presencia de valores extremos en la información puede llevar a resultados sesgados e inconsistentes, por lo que identificar estas observaciones atípicas y excluirlas del análisis (o analizarlas por separado) es importante.

- Ejemplo: una empresa con cinco empleados que trabaja en un sector tradicional manufacturero reportó haber introducido 999 nuevos productos.
- Solución: existen dos maneras de identificar datos atípicos: manualmente o analíticamente. La primera estrategia de identificación involucra el uso de diagramas de caja (*boxplot*) para identificar si hay valores atípicos, así como utilizar tablas de frecuencias para identificar aquellas observaciones que sean atípicamente bajas o altas. Este método es recomendado si la base de datos es relativamente pequeña en el número de variables de interés. Cuando se trata de un número elevado de variables, sin embargo, este método puede ser demasiado lento para hacer la identificación de *outliers*. Adicionalmente, el criterio de exclusión debe ser reportado de manera clara, ya que depende en gran medida de lo que el investigador considere como “valor atípico”. La segunda estrategia analíticamente dependerá del software estadístico utilizado. Varios paquetes estadísticos incluyen la opción de calcular la distancia de Mahalanobis (1936) lo que permite identificar de manera rápida empresas que sean datos atípicos en múltiples variables. Este criterio se puede usar entonces para excluir esas empresas del análisis.

Es posible que después de hacer el ejercicio de identificación de valores atípicos, identifiquemos que existen grupos significativos de observaciones que sean clasificados como “atípicos”. En ese caso, es muy posible que estemos observando un *clúster*. Es recomendable entonces hacer el mismo análisis con las observaciones de tal clúster para verificar que los resultados encontrados en la población general se mantienen.

El modelo teórico enfrentando los datos

Cuando intentamos resolver un problema de investigación, es común hacer uso de diferentes tipos de modelos estadísticos para describir las relaciones entre variables. Teniendo en cuenta la predominancia de las variables discretas en las encuestas de innovación, nos enfocaremos en ellos en el siguiente apartado, asumiendo que la encuesta provee unas variables discretas Y individual, así como unas variables X que caracterizan

cada empresa. A partir de la teoría y utilizando la base de datos se realiza el análisis empírico con el objetivo de: a) comprobar la teoría, es decir, evaluar si la predicción teórica se pueda observar en los datos y b) cuantificar la relación que existe entre Y y X (Winkelmann, 2003).

Cada categoría de una variable discreta dependiente corresponde a un método de análisis que contribuye a responder la pregunta de investigación. Una característica en común que tienen los diferentes modelos estadísticos que se expondrán a continuación es que contienen métodos de máxima verosimilitud para llegar a los resultados y utilizan una relación lineal transformada (un *link function*) para que los resultados se ajusten a las diferentes opciones, es decir, son modelos lineales generalizados (Dunn y Smyth, 2018).

Para simplificar la siguiente sección, supongamos que poseemos una encuesta de innovación y deseamos hacer análisis estadístico para verificar el impacto que tienen las siguientes variables (independientes):

- Activos: el tamaño en activos de la empresa en dólares (una variable continua).
- “Educación del gerente”: indica si el gerente de la empresa cuenta con educación terciaria, (0 no y 1 sí, es decir, es una variable discreta).

Y las siguientes variables (dependientes):

- Si la empresa innovó (variable discreta dicotómica).
- ¿Qué tipo de innovación hizo la empresa predominantemente? (variable discreta categórica).
- El impacto de la decisión en el ambiente de la empresa (variable discreta ordinal).
- El número de patentes presentadas ese año por la empresa (variable discreta de conteo).
- Porcentaje de ingresos destinados a innovación (variable continua).

En este ejemplo típico, nuestro interés como investigadores es identificar qué características están asociadas a los diferentes niveles de las variables dependientes.

Modelos Logit y Probit para variables dicotómicas

El modelo de regresión logística (logit)⁷ es la base de los modelos de elección discreta; se aplica cuando la variable dependiente es una variable dicotómica. En este tipo de modelos se asume que existe una “variable indicadora \widehat{Y} ” latente que tiene una relación lineal con nuestras variables independientes de interés. Esta variable indicadora usualmente está relacionada con la probabilidad de que se presente el resultado descrito en la variable (0 –no, 1 –sí). Esta relación se expresa de la siguiente manera:

$$\widehat{Y} = X\beta + \epsilon$$

En la que X es una matriz de variables independientes que nos interesan, β es un vector de coeficientes de estimación del efecto de esas variables independientes en la variable indicadora y ϵ denota un término de error.

A modo de ejemplo, se procede a suponer que el interés está en evaluar qué características tiene una empresa innovadora. En este caso, la variable dependiente dicotómica sería la respuesta a la pregunta ¿en el último año su empresa ha generado un producto nuevo?, con solo dos respuestas posibles, 0 (no) y 1 (sí). En la revisión de la literatura se encuentra que hay una variable posiblemente relacionada con ello: el valor de la empresa. De acuerdo con lo anterior, se puede expresar el modelo de la siguiente manera:

$$Innovar_i = \widehat{Y}_i = \beta_i \text{Valor de la Empresa} + \epsilon_i$$

En este marco, se presume que esta variable latente estará relacionada con que la empresa innove si supera un valor crítico. Para el caso de los modelos logit, este valor crítico suele ser 0, es decir, si la disposición a innovar es positiva, la empresa debería innovar y si es negativa, no innovaría, como se muestra a continuación:

⁷ Una alternativa al modelo logit, es el modelo probit. La diferencia fundamental entre los dos modelos radica en la forma funcional de la relación lineal transformada. Para Greene (2000), en la práctica no existe una diferencia significativa entre los dos modelos. Nos concentramos en el modelo logit, ya que usualmente es el más utilizado y tiene una interpretación más directa.

Innovó=[1 Si $(\hat{Y}) > 0,0$ en cualquier otro caso

La lógica de los modelos logit es asumir que esa variable latente tiene una *forma funcional* logística o una función de densidad normal, que hace que las salidas de la función sean compatibles con los datos de resultados posibles (0 y 1). Así, el modelo estima los coeficientes de regresión utilizando el método de máxima verosimilitud.⁸

Para interpretar los resultados de un logit,⁹ es necesario hacer uso del cálculo de efectos marginales u *odds ratios* (OR). Un efecto marginal se interpreta como el cambio promedio en la probabilidad del resultado positivo, cuando varía una unidad de la variable dependiente. En el ejemplo anterior, si se encontrara que el efecto marginal promedio del valor en activos de la empresa (en dólares) es de 0,0001, significa que un dólar adicional incrementa la probabilidad de que la empresa innove en un 0,0001%; entonces, si la empresa aumentase su valor \$100.000 USD, la probabilidad de que sea una empresa innovadora incrementa en un 10%. Los efectos marginales siempre están limitados entre -1 y 1 debido a que un valor de 1 implica que, si la variable independiente aumenta su valor una unidad, habrá certeza de que ocurra el resultado positivo y lo mismo para el resultado negativo, en el caso de un valor de -1.

Otra interpretación del modelo se puede hacer calculando los OR,¹⁰ los cuales se utilizan principalmente para analizar el impacto de una variable discreta independiente en una regresión del tipo del ejemplo anterior. Así, obtenemos un OR de seis para la variable “Educación del gerente”, la interpretación sería la siguiente: las empresas con un gerente educado a nivel terciario tienen seis veces más probabilidad de haber innovado, en comparación con empresas que no tienen un gerente educado a ese nivel.

El uso de efectos marginales en comparación con OR depende en buena medida de las variables involucradas y la forma como desean presentarse los resultados, de acuerdo con la pregunta de investigación. Si lo que interesa es hacer una comparación relativa entre diferentes características en empresas, es recomendable usar el OR. Por el contrario,

⁸ Muchos paquetes estadísticos al día de hoy permiten calcular modelos logit y probit en forma sencilla.

⁹ Es importante tener en cuenta que los coeficientes que arrojan los resultados de estimación son sobre la transformación de la variable, por lo que una interpretación directa de los coeficientes no es posible.

¹⁰ Szumillas (2010) ofrece una explicación sencilla de en qué consisten los *odds ratios* y cómo se calculan.

si lo que interesa es ver el efecto de una variable en la probabilidad total de innovar, es mejor reportar los efectos marginales.

Modelos para variables categóricas, ordinales y de conteo

Los modelos para variables categóricas se denominan modelos multinomiales. Nuestro ejemplo inicial si el valor de la empresa está relacionado con la introducción de una innovación cambiará. En lugar de restringirse a *innovación* hacemos uso de la pregunta: ¿Qué tipo de innovación ha hecho predominantemente¹¹ su empresa en el último año?, con las siguientes opciones: a) Producto, b) Servicios, c) Procesos y d) Organizacional. Cada una de estas opciones producto, servicios, procesos y organizacional representa una categoría de innovación. Y, en lugar de evaluar si la cooperación con universidades está relacionada con una mayor propensión de *innovar en términos generales*, queremos saber si está relacionada con una mayor propensión de generar *cierto tipo de innovación*.

La intuición de este tipo de modelos es parecida a la de un modelo de regresión logística, pero, al haber múltiples alternativas mutuamente excluyentes, el modelo hace una comparación simultánea de una alternativa base contra cada una de las demás. Es allí que resaltamos en el apartado anterior la importancia de la codificación. La mayoría de los softwares estadísticos escogen una categoría base por defecto (generalmente, la categoría más popular o la primera categoría) y calcula los coeficientes de las variables que afectan la elección entre la categoría base y cada una de las otras alternativas.

En este sentido, los resultados de un modelo multinomial son interpretados de manera relativa, es decir, al obtener un efecto marginal u OR, lo que se obtiene son los cambios en la probabilidad de escoger una alternativa por encima de la alternativa base. Si la opción “a”, es decir, la innovación en producto, es la más escogida entre las cuatro opciones, al obtener los resultados de regresión se obtiene una tabla en la que se describen coeficientes para cada opción, exceptuando la innovación en

11 Enfatizamos la palabra *predominantemente* para dejar muy claro que se trata de la categoría principal bajo la cual la empresa innova, por lo que las categorías son mutuamente excluyentes. En la mayoría de las bases de datos, por el contrario, usualmente los datos que se encuentran en las bases de datos normalmente indican con una serie de variables dicotómicas que indican si la empresa realizó cada tipo en específico.

producto, la cual no tendrá coeficientes por ser la categoría base contra la cual las otras se comparan.

Entonces, al calcular los efectos marginales u OR, se obtienen resultados comparativos de cada categoría contra la categoría base, es decir, si para la opción “b” (innovación de servicios), en la variable independiente de valor de la empresa, se obtiene un efecto marginal de -0,000015, esto representaría que por cada \$100.000 adicionales de valor de la empresa, se reduce la probabilidad de que la misma escoja innovar en servicios por encima de innovar en productos en un -1,5%.

Es importante anotar que debido a que solo se conoce la relación de los coeficientes de cada categoría contra la categoría base, el modelo no nos dice sobre la relación entre las categorías que no son la categoría base, es decir, en el ejemplo anterior no se conoce el efecto que tendrían las variables independientes en la probabilidad de escoger entre la innovación en servicios y la innovación en procesos, sino solo el efecto de estas en la probabilidad de escoger cada uno de esos dos tipos de innovación por encima de la innovación en producto. Si deseamos conocer esas diferencias, sería necesario cambiar la categoría base a innovación de servicios, para conocer la relación entre procesos y servicios.

Para poder entender el caso de los modelos ordinales,¹² logit ordenado o también ologit, expandimos nuestro ejemplo inicial. En lugar de querer entender si el valor de la empresa está relacionado con una mayor propensión a innovar, queremos entender si innovar le sirve a la empresa. Por lo tanto, nos basamos en la siguiente pregunta: “En una escala de 1 a 5 en la que 1 es bajo y 5 es alto, ¿cómo evalúa el impacto de su decisión de innovar en el ambiente de la empresa?”. La interpretación es semejante a la de los modelos multinomiales en la medida en que los resultados se muestran de manera semejante, es decir, comparando cada categoría con una categoría base. Sin embargo, es posible analizar los coeficientes en conjunto, o analizar los efectos en promedio para toda la escala, lo cual permite una interpretación de efectos semejantes a la que se haría con

12 Existe una discusión sobre cuál es el número de peldaños necesarios para que sea apropiado utilizar un probit/logit ordenado. La recomendación general es utilizar probit/logit ordenado cuando el número de categorías es inferior a cinco. Sin embargo, es posible utilizar un modelo probit ordenado con un número mayor de categorías (inferior a diez), en especial si no se está completamente seguro/a de que los datos de la escala son bien comportados. En general, por encima de diez peldaños, el modelo de regresión simple tiene un comportamiento casi idéntico con los modelos ordenados, por lo que es preferible usarlo.

una regresión lineal clásica. Siguiendo el ejemplo del modelo logit inicial presentado, se reemplaza la variable dependiente por:

Si al ejecutar el análisis, la opción más contestada y por lo tanto la escogida como categoría base es la opción central (número 3). Los efectos marginales serían: (1 bajo: -0,00003 ; 2 –no es significativo: 0 ; 4 0,0002 ; 5 alto: 0,0005) y su interpretación sería la siguiente: dado que se tiene un efecto marginal negativo en los valores bajos de la escala y efectos marginales positivos en los valores altos de la escala, se concluye que, al aumentar el valor de la empresa, aumenta la probabilidad de que esta declare que la innovación tiene un impacto alto sobre el ambiente, de acuerdo con la escala presentada.

Sin embargo, el hecho de que se tengan coeficientes no significativos para la opción 2 de la escala significa que el valor de la empresa no genera un cambio entre las opciones 2 y 3 de la escala, posiblemente porque esas dos opciones son identificadas como prácticamente iguales. Si deseamos calcular los efectos marginales continuos, encontramos un efecto de 0,0003, lo cual significa que, en promedio, incrementar el valor de la empresa en \$100,000 hace que incremente en un 30% la probabilidad de que escoja una opción superior en la escala en la que la empresa estaba antes del cambio en el valor en dólares. Ahora bien, debe recordarse que ese incremento en la probabilidad de “subir” en la escala está calculado en promedio y que depende del punto de la escala desde el que se esté partiendo.

Para modelos que abordan datos de conteo, regresiones de Poisson o binomial negativa, se asume que los datos con los cuales nos enfrentamos siguen una distribución Poisson, o binomial negativa. En estos modelos, la regresión no se hace sobre una función logit o probit, sino sobre una función logarítmica de los datos. Esto implica que la interpretación sobre los coeficientes de regresión sea más directa. Así, para una regresión Poisson, los coeficientes de regresión indican el impacto del incremento de una unidad de la variable independiente, en el cambio de los logaritmos de los conteos esperados de la variable dependiente, es decir, que pueden ser interpretados como el logaritmo del cambio porcentual del valor total de la variable dependiente.

Para ilustrar este tipo de modelos se puede tomar, por ejemplo, de variable dependiente, la pregunta: “Indique el número de patentes presentadas por su empresa en el último año, con las mismas variables independientes que se han analizado en modelos anteriores (el valor de la

empresa en dólares y la presencia de un gerente con educación terciaria”, ante lo que se obtienen los valores de coeficientes 0,000032 y 0,4009209 luego de una regresión Poisson. Lo anterior significa que, respectivamente, un incremento de \$100.000 en el valor de la empresa incrementa en un 35% el número de patentes presentadas con respecto al promedio de las patentes en el conteo general y tener un gerente con educación terciaria incrementa igualmente en un 49,3%. El cálculo de efectos marginales permite identificar el número concreto de patentes adicionales que se presentarán por el cambio de una variable, debido a que este número dependería del valor promedio de la variable dependiente.

Una distinción notable entre los modelos de conteo presentados y los modelos anteriores es que mientras que para los tipos de datos anteriores se presentan dos alternativas que son muy similares (logit y probit) en su interpretación teórica y práctica, que conlleva a que las interpretaciones, coeficientes y efectos marginales tengan diferencias despreciables entre los dos tipos de modelos, para los datos de conteo, los modelos Poisson y negativo binomial son diferentes en sus supuestos fundamentales sobre la estructura de la información. En los modelos Poisson se asume que los datos de la variable dependiente tienen una media igual a la desviación estándar y en los modelos binomial negativos se permite una diferencia entre media y desviación, también llamado sobredispersión o subdispersión de los datos. A manera de resumen, el siguiente cuadro presenta los diferentes tipos de datos, la pregunta ejemplo con sus opciones de respuesta y el tipo de modelo apropiado.

Cuadro 2. Tipo de variable, ejemplo y modelos adecuados

Tipo de Variable	Ejemplo	Modelos apropiados
Dicotómica	¿La empresa innovó? (Sí/No)	Logit, probit, MCO (en algunas circunstancias)
Categorica multinomial	¿Qué tipo de innovación hizo predominantemente la empresa? (Servicios/Productos/Procesos/Organizacional)	Logit/probit multinomial
Categorica ordinal	En una escala de 1 a 5, en la que 1 es bajo y 5 es alto, ¿cómo evalúa el impacto de su decisión de innovar en el ambiente de la empresa? (1/5)	Logit, probit ordenado, MCO (en algunos casos)
Conteo	Indique el número de patentes presentadas por su empresa en el último año. (0/inf)	Poisson, binomial negativa, MCO (en algunos casos)
Continua	Por favor, indique el valor de su empresa en dólares.	MCO, Tobit (en algunos casos)

Fuente: elaboración propia

Problemas usuales después de hacer una regresión en datos de corte transversal

Al hacer análisis estadístico con datos de corte transversal, es usual encontrarse con diferentes problemas que pueden conllevar, al no ser tratados, a resultados sesgados o imprecisos. A continuación, se presenta un resumen muy corto de problemas usuales que se pueden presentar. Se excluyen problemas generales de regresión lineal (como heterocedasticidad, multicolinealidad, etc.), ya que normalmente se puede encontrar una exposición de sus causas y soluciones en tomos de econometría (Greene, 2000).

Problema 1. Pertinencia de variables

Descripción: existe un número de variables irrelevantes alto que no aporta al análisis desde un punto de vista teórico.

Causa: la introducción de variables insignificantes suele ser un problema usual cuando no hay una definición clara del problema y de las variables relevantes, producto de una revisión rigurosa de la literatura pertinente.

Consecuencia: el introducir más variables de las necesarias conlleva a perder la claridad de las conclusiones y a dificultar la interpretación de los resultados, esto porque se pueden producir correlaciones espurias entre las variables, lo que puede conllevar a problemas de sesgo de coeficientes y efectos marginales, ya que pueden depender del hecho de que haya otra variable en el análisis y no de que exista un efecto real.

Solución: es necesario justificar todas y cada una de las variables utilizadas en un análisis de la literatura relevante respecto del tema de estudio. Esta revisión permite realizar un análisis más conciso y preciso de la literatura que permite dar una respuesta más satisfactoria y concisa a la pregunta de investigación utilizada; una recomendable regla del pulgar es recordar que, si la variable no hace parte de las hipótesis o está relacionada directamente con la pregunta de investigación, tampoco hace parte del análisis principal del estudio.

Problema 2. Distribuciones extremas de variables

Descripción: en muchos casos, la distribución de las variables dicotómicas o categóricas puede ser bastante extrema. Por ejemplo: muy pocos eventos positivos para una variable dicotómica, o una categoría en una variable ordinal/categórica que tenga una proporción demasiado alta (más del 50%) de respuestas.

Causa: en gran medida, la causa de este problema está relacionado con el proceso generador de datos o con la relativa infrecuencia de los eventos. Este es el caso de empresas innovadoras en tecnología en Latinoamérica. Es muy posible estar en una situación en la que se tengan 1000-5000 empresas, pero solo veinte empresas son innovadoras en tecnología durante un año. En el caso de variables categóricas, debido a la naturaleza de la cooperación con terceros, es muy posible que de entre todas las opciones posibles de cooperación, si le preguntamos a las empresas con qué tipos de entidades cooperan, las respuestas graviten a un número de categorías muy elevado.

Consecuencia: en general, los resultados de un análisis con distribuciones tan extremas suelen conllevar sesgos en los resultados, lo cual invalida el análisis.

Solución:

- Para datos dicotómicos: se puede intentar realizar una regresión logit para eventos raros (King y Zeng, 2001) o utilizar el método de máxima verosimilitud penalizada (Firth, 1993) para intentar corregir el sesgo.
- Para datos multinomiales: existen dos opciones, la primera involucra utilizar el método de máxima verosimilitud penalizada (Firth, 1993) para intentar resolver el sesgo. También, en la medida que sea posible, se puede reducir y agrupar el número de categorías en un número inferior, de manera que la proporción no sea tan desbalanceada, esto puede representar tener que cambiar el método, ya que, si agregamos por ejemplo cinco categorías a dos, tendremos entonces que usar un logit en vez de un logit multinomial.

Problema 3. Endogeneidad

Descripción: no hay claridad en el sentido causal de las relaciones que se encuentran entre las variables.

Causa: en ciertos temas de innovación es muy difícil establecer la ruta causal entre las variables independientes y dependientes, por ejemplo, si analizamos el papel del valor de la empresa y la probabilidad de que sea innovadora, no es posible saber si el valor de la empresa aumenta la probabilidad de innovar, o si el hecho de que la empresa innove es lo que causa que tenga un valor más elevado, incluso, puede que ambos fenómenos causen al otro simultáneamente, en una especie de espiral virtuosa. Esto es especialmente difícil de observar si tenemos datos de corte transversal.

Consecuencia: el hecho de tener problemas de endogeneidad es lo que causa que el análisis esté sesgado y por lo tanto los resultados no son confiables.

Solución: usualmente, hacer una revisión de la literatura nos dará luz sobre cuál es la relación causal entre las variables, así como las relaciones sobre las cuales se debe sospechar endogeneidad. Hay dos formas de solución para este problema:

- Utilizar un enfoque de variables instrumentales para tratar de aislar el efecto de una variable sobre las otras (Forster, 2009). El éxito de esta estrategia de análisis dependerá de la presencia de una variable instrumental apta por la literatura y disponible en los datos.
- Cambiar el modelo por un modelo de ecuaciones estructurales generalizado que permita tener doble causalidad y relajar los supuestos de los modelos lineales generalizados.

Problema 4. Heterogeneidad

Descripción: los datos de una variable dependiente capturan diferentes tipos de empresas o diferentes procesos de toma de decisión.

Causa: debido al diseño de muchas encuestas de innovación, a veces los datos recolectados capturan diferentes tipos de procesos de toma de decisión, esto es un problema al que los datos de tipo conteo son especialmente vulnerables. Por ejemplo, al recolectar datos sobre el número

de patentes, es posible que realmente estemos calculando dos tomas de decisiones: la primera, si presentar o no una patente y, luego de esta, elegir cuántas patentes presentar, esto genera lo que se llama inflación en cero, ya que tendremos un número excesivo de empresas que deciden no presentar patentes, debido a que decidieron no hacerlo, junto con empresas que decidieron presentar patentes, pero que presentaron cero en ese período. Adicionalmente, es posible encontrar que se tengan diferentes tipos de operaciones que no son posibles de identificar plenamente con una variable. Podemos sospechar esto si notamos que en nuestra base de datos se están considerando empresas con formas de operación fundamentalmente diferentes, por ejemplo, si en la misma base de datos tuviéramos microempresas y una multinacional, pero no tenemos forma de diferenciarlas con una variable.

Consecuencia: como con la endogeneidad, la heterogeneidad inobservable de la información puede generar problemas de sesgo e invalidez de los resultados.

Solución: para los datos de conteo, es posible utilizar modelos Poisson y negativo binomial inflados en cero (modelos ZIP y ZINB) que permiten, mediante un proceso en dos pasos, separar los dos tipos de empresas (las que decidieron no presentar patentes bajo ninguna circunstancia y las que por azar no presentaron patentes, pero decidieron presentarlas) y corregir ese sesgo con una regresión tipo Poisson o negativa binomial ya explicada anteriormente.

Si se trata de una variable continua, con distribución normal, se puede utilizar una regresión censurada o Tobit. La lógica es esencialmente la misma que la de los modelos inflados en cero, con una regresión en dos etapas. Sin embargo, se ajustan los supuestos para una distribución de datos continuos.

De la misma manera, existen modelos de mixtura finita (FMM) que permiten hacer una agrupación de los datos de una variable dependiente, creando categorías y por lo tanto corregir por variables inobservables que se manifiestan en los datos (Gensler, 2017).

Problema 5. Sesgo de selección de la muestra

Descripción: la presencia de los datos en la muestra depende de un proceso no aleatorio y por lo tanto hay sesgo de selección.

Causa: en muchas encuestas de innovación es usual encontrar que hay filtros que hacen que las empresas no contesten todas las preguntas, dependiendo de la respuesta de una o más preguntas. Por lo general, en las encuestas nacionales de innovación, cuando una empresa contesta que “No” a si ha realizado alguna innovación, deja de responder muchas preguntas que podrían ser de interés para el investigador (tendríamos datos faltantes para esa empresa en las otras preguntas de la encuesta).

Consecuencia: debido a que el proceso de decidir innovar rara vez es aleatorio, porque las empresas que innovan tienen ciertas características en común, esto significa que los datos obtenidos más adelante sobre otras características de la empresa no solo se representan a sí mismos, sino también a esas características que llevaron a que el dato no esté faltante. Esto sesga los resultados, ya que el dato de la variable observable depende de otras variables potencialmente no incluidas en el análisis.

Solución: la aproximación estadística para solucionar este problema es utilizar una corrección de Heckman (1979) que permita corregir los resultados de la regresión, dado que hay datos faltantes no aleatorios. Este modelo estima en su primera etapa un modelo que permite identificar la probabilidad de que esa observación esté presente (no sea un dato faltante) y luego usa esa probabilidad estimada para corregir los resultados de la regresión que se intente hacer después. El modelo se ajusta para todos los tipos de regresión anteriormente descriptos en su segunda etapa.

Conclusiones

El objetivo de nuestra investigación fue el de poder mostrar el valor de las encuestas de innovación con corte transversal para la investigación en el ámbito de los estudios de innovación. Para ello, por un lado, mostramos, a través de una revisión de la literatura que se basa en encuestas de innovación, un panorama general de lo que se ha investigado en el pasado y, por otro lado, más importante aún para un joven investigador, ofrecemos una serie de consejos prácticos a la hora de trabajar con encuestas de innovación que, en su mayoría, forman parte de una base de datos secundarios (es decir, el investigador no ha generado los datos). También, describimos los modelos adecuados para los datos discretos, datos que son muy comunes en estas encuestas de innovación, y explicamos qué hacer frente a los diferentes desafíos relacionados con los datos y/o con las especificaciones del modelo econométrico.

Bibliografía

- Abreu, M.; Grinevich, V.; Kitson, M. y Savona, M. (2008). "Policies to enhance the 'hidden innovation' in services: evidence and lessons from the UK". *The Service Industries Journal*, vol. 30, n° 1, pp. 99-118. DOI: <https://doi.org/10.1080/02642060802236160>.
- Aguinis, H.; Edwards, J. R. y Bradley, K. J. (2017). "Improving our understanding of moderation and mediation in strategic management research". *Organizational Research Methods*, vol. 20, n° 4, pp. 665-685.
- Amara, N.; Landry, R. y Traoré, N. (2008). "Managing the protection of innovations in knowledge-intensive business services". *Research Policy*, vol. 37, n° 9, pp. 1530-1547.
- Ardito, L.; Besson, E.; Petruzzelli, A. M. y Gregori, G. L. (2018). "The influence of production, IT, and logistics process innovations on ambidexterity performance". *Business Process Management Journal*, vol. 24, n° 5, pp. 1271-1284. DOI: <https://doi.org/10.1108/BPMJ-11-2017-0306>.
- Arora, A., Fosfuri, A. y Gambardella, A. (2004). *Markets for technology: The economics of innovation and corporate strategy*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Arranz, N.; Arroyabe, M. F.; Molina-García, A. y Fernandez de Arroyabe, J. (2019). "Incentives and inhibiting factors of eco-innovation in the Spanish firms". *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 167-176.
- Arrow, K. J. (1962). "The Economic Implications of Learning by Doing". *The Review of Economic Studies*, vol. 29, n° 3, pp. 155-173. DOI: <https://doi.org/10.2307/2295952>.
- Ballesteros, J. A. y Modrego Rico, A. (2001). "Public financing of cooperative R&D projects in Spain: the Concerted Projects under the National R&D Plan". *Research Policy*, vol. 30, n° 4, pp. 625-641.
- Barney, J. B. (2000). "Firm resources and sustained competitive advantage". En Baum, J. A. C. y Dobbin, F. (eds.), *Economics Meets Sociology in Strategic Management*, vol. 17: *Advances in Strategic Management*, pp. 203-227. Bingley: Emerald Group Publishing Limited. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0742-3322\(00\)17018-4](https://doi.org/10.1016/S0742-3322(00)17018-4).

- Baron, R. M. y Kenny, D. A. (1986). "The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations". *Journal of personality and social psychology*, vol. 51, n° 6.
- Belderbos, R.; Carree, M. y Lokshin, B. (2004). "Cooperative R&D and firm performance". *Research Policy*, vol. 33, pp. 1477-1492.
- Block, J. H.; Thurik, R. y Zhou, H. (2013). "What turns knowledge into innovative products? The role of entrepreneurship and knowledge spillovers". *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 23, pp. 693-718. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00191-012-0265-5>.
- Caravella, S. y Crespi, F. (2020). "Unfolding heterogeneity: The different policy drivers of different eco-innovation modes". *Environmental Science & Policy*, vol. 114, n° 1, pp. 182-193.
- Cassiman, B. y Veugelers, R. (2002). "R&D cooperation and spillovers: Some empirical evidence from Belgium". *American Economic Review*, vol. 92, n° 4, pp. 1169-1184. DOI: <https://doi.org/10.1257/00028280260344704>.
- Castellacci, F. (2009). "The interactions between national systems and sectoral patterns of innovation". *Journal of Evolutionary Economics*, vol. 19, n° 3, pp. 321-347.
- Chen, J., Chen, Y. y Vanhaverbeke, W. (2011). "The influence of scope, depth, and orientation of external technology sources on the innovative performance of Chinese firms". *Technovation*, vol. 31, n° 8, pp. 362-373.
- Chesbrough, H. W. (2003). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Boston, MA: Harvard Business Publishing.
- Chesbrough, H. y Bogers, M. (15 de abril de 2014). "Explicating Open Innovation: Clarifying an Emerging Paradigm for Understanding Innovation". En Chesbrough, H., Vanhaverbeke, W. y West, J. (eds.), *New Frontiers in Open Innovation*, pp. 3-28. Oxford: Oxford University Press. Disponible en: <https://ssrn.com/abstract=2427233>.
- Choi, J. y Choi, J. Y. (2021). "The effects of R&D cooperation on innovation performance in the knowledge-intensive business services industry: focusing on the moderating effect of the R&D-dedicated

- labor ratio”. *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 33, n° 4, pp. 396-413. DOI: 10.1080/09537325.2020.1817366.
- Chun, D.; Chung, Y. y Bang, S. (2015). “Impact of firm size and industry type on R&D efficiency throughout innovation and commercialization stages: evidence from Korean manufacturing firms”. *Technology Analysis & Strategic Management*, vol. 27, n° 8, pp. 895-909.
- Cohen, W. y Levinthal, D. (1990). “Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation”. *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 128-152. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=9603111655&site=ehost-live>.
- Colicchia, C. y Strozzi, F. (2012). “Supply chain risk management: a new methodology for a systematic literature review”. *Supply Chain Management*, vol. 17, n° 4, pp. 403-418. DOI: <https://doi.org/10.1108/13598541211246558>.
- Conte, A. y Vivarelli, M. (2014). “Succeeding in innovation: key insights on the role of R&D and technological acquisition drawn from company data”. *Empirical Economics*, vol. 47, n° 4, pp. 1317-1340.
- Crepon, B., Duguet, E., & Mairesse, J. (1998). Research, Innovation And Productivity: An Econometric Analysis At The Firm Level. *Economics of Innovation and New Technology*, 7(2), 115-158.
- Crescenzi, R. y Gagliardi, L. (2018). “The innovative performance of firms in heterogeneous environments: The interplay between external knowledge and internal absorptive capacities”. *Research Policy*, vol. 47, n° 4, pp. 782-795.
- Czarnitzki, D. y Delanote, J. (2017). “Incorporating innovation subsidies in the CDM framework: empirical evidence from Belgium”. *Economics of Innovation and New Technology*, vol. 26, n° 1-2, pp. 78-92.
- D’Este, P.; Amara, N. y Olmos-Peñuela, J. (2016). “Fostering novelty while reducing failure: Balancing the twin challenges of product innovation”. *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 113, pp. 280-292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.08.011>.
- D’Este, P.; Iammarino, S.; Savona, M. y von Tunzelmann, N. (2012). “What hampers innovation? Revealed barriers versus deterring ba-

- riers". *Research policy*, vol. 41, n° 2, pp. 482-488. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2011.09.008>.
- D'Este, P.; Rentocchini, F. y Vega-Jurado, J. (2014). "The role of human capital in lowering the barriers to engaging in innovation: evidence from the Spanish innovation survey". *Industry and innovation*, vol. 21, n° 1, pp. 1-19. DOI: [10.1080/13662716.2014.879252](https://doi.org/10.1080/13662716.2014.879252).
- Derbyshire, J. (2014). "The impact of ambidexterity on enterprise performance: Evidence from 15 countries and 14 sectors". *Technovation*, vol. 34, n° 10. DOI: [10.1016/j.technovation.2014.05.010](https://doi.org/10.1016/j.technovation.2014.05.010).
- Dunn, P. K. y Smyth, G. K. (2018). *Generalized Linear Models with Examples in R Springer Texts in Statistics*. Nueva York: Springer.
- Dziallas, M. y Blind, K. (2019). "Innovation indicators throughout the innovation process: An extensive literature analysis". *Technovation*, vol. 80-81, pp. 3-29. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2018.05.005>.
- Falk, M. (2015). "Employment Effects of Technological and Organizational Innovations: Evidence Based on Linked Firm-Level Data for Austria". *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, vol. 235, n° 3, pp. 268-285. DOI: <https://doi.org/10.1515/jbnst-2015-0303>.
- Ferreira, J. J. M.; Fernandes, C. I. y Ferreira, F. A. F. (2020). "Wearing failure as a path to innovation". *Journal of Business Research*, vol. 120, pp. 195-202.
- Firth, D. (1993). "Bias Reduction of Maximum Likelihood Estimates". *Biometrika*, vol. 80, n° 1, pp. 27-38.
- Forster, M. R. (2009). "The new science of simplicity". En Keuzenkamp, H.; McAleer, M. y Zellner, A. (eds.), *Simplicity, Inference and Modelling Keeping it Sophisticatedly Simple*. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press.
- Gensler, S. (2017). "Finite Mixture Models". En Homburg, C., Klarmann, M. y Vomberg, A. (eds.), *Handbook of Market Research*, pp. 1-14. Cham: Springer International Publishing. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-05542-8_12-1.
- Gillespie, N. A.; Zhu, G.; Neale, M. C.; Heath, A. C. y Martin, N. G. (2003). "Direction of Causation Modeling Between Cross-Sectional Measures of Parenting and Psychological Distress in Female

Twins”. *Behavior Genetics*, vol. 33, n° 4, pp. 383-396. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1025365325016>.

- Gimenez-Fernandez, E. M.; Sandulli, F. D. y Bogers, M. (2020). “Unpacking liabilities of newness and smallness in innovative start-ups: Investigating the differences in innovation performance between new and older small firms”. *Research policy*, vol. 49, n° 10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104049>.
- Greco, M.; Grimaldi, M. y Cricelli, L. (2016). “An analysis of the open innovation effect on firm performance”. *European Management Journal*, vol. 34, n° 5, pp. 501-516.
- Greene, W. H. (2000). “Models with Discrete Dependent Variables”. *Econometric Analysis*, pp. 499-521. Nueva Jersey: Prentice-Hall.
- Griliches, Z. (1979). “Sibling models and data in economics: Beginnings of a survey”. *Journal of Political Economy*, vol. 87, n° 5, part. 2, pp. S37-S64.
- Hagedoorn, J. (2002). “Inter-firm R&D partnerships: an overview of major trends and patterns since 1960”. *Research Policy*, vol. 31, n° 4, pp. 477-492.
- Heckman, J. J. (1979). “Sample selection bias as a specification error”. *Econometrica. Journal of the econometric society*, vol. 47, n° 1, pp. 153-161.
- Hung, K.-P. y Chou, C. (2013). “The impact of open innovation on firm performance: The moderating effects of internal R&D and environmental turbulence”. *Technovation*, vol. 33, n° 10-11, pp. 368-380.
- Jakobsen, J. C.; Gluud, C.; Wetterslev, J. y Winkel, P. (2017). “When and how should multiple imputation be used for handling missing data in randomized clinical trials: a practical guide with flowcharts”. *BMC Medical Research Methodology*, vol. 17, n° 1, pp. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12874-017-0442-1>.
- Kaiser, U. (2002). “Measuring knowledge spillovers in manufacturing and services: an empirical assessment of alternative approaches”. *Research Policy*, vol. 31, n° 1, pp. 125-144.
- Kemp, R. y Pearson, P. (2008). *Policy brief about measuring eco-innovation and Magazine/Newsletter articles*. Maastricht: Um Merit.

- Kim, D. Y., Kumar, U. y Kumar, V. (2012). "Relationship between quality management practices and innovation". *Journal of Operations Management*, vol. 30, n° 4, pp. 295-315. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2012.02.003>.
- King, G. y Zeng, L. (2001). "Logistic Regression in Rare Events Data the Harvard community has made this". *Political Analysis*, vol. 9, n° 2, pp. 137-163.
- Krugman, P. (1991). "Increasing returns and economic geography". *Journal of Political Economy*, vol. 99, n° 3, pp. 483-499.
- Laursen, K. y Salter, A. (2006). "Open for innovation: the role of openness in explaining innovation performance among UK manufacturing firms". *Strategic Management Journal*, vol. 27, n° 2, pp. 131-150.
- Leoncini, R. (2016). "Learning-by-failing. An empirical exercise on CIS data". *Research Policy*, vol. 45, n° 2, pp. 376-386. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2015.10.006>.
- Madaleno, M.; Robaina, M.; Dias, M. F. y Meireles, M. (2020). "Eco-innovation and firm performance in European highly energy consumers and polluting sectors". *17th International Conference on the European Energy Market (EEM)*, pp. 1-6. Nueva Jersey: IEEE.
- Mahalanobis, P. C. (1936). "On the generalized distance in statistics". *Proceedings of the National Institute of Science of India*, n° 2, pp. 49-55.
- Mairesse, J. y Mohnen, P. (2010). "Using innovation surveys for econometric analysis". En Hall, B. y Rosenberg, N. (eds.), *Handbook of the Economics of Innovation*, vol. 2, pp. 1129-1155. Países Bajos: North-Holland.
- Malecki, E. (1997). *Technology and Economic Development: The Dynamics of Local, Regional, and National Change*. Londres/Boston: Addison Wesley Longman.
- Marshall, A. (1965). *Principles of Economics*. Londres: Macmillan Press.
- Miotti, L. y Sachwald, F. (2003). "Co-operative R&D: why and with whom?: An integrated framework of analysis". *Research Policy*, vol. 32, n° 8, pp. 1481-1499.
- Neale, M. C.; Boker, S. M.; Xie, G. y Maes, H. H. (1994). *Mx: statistical modeling*. Richmond: VCU Department of Psychiatry.

- Popadić, M.; Pučko, D. y Černe, M. (2016). “Exploratory innovation, exploitative innovation and innovation performance: The moderating role of alliance partner diversity”. *Economic and Business Review for Central and South-Eastern Europe*, vol. 18, n° 3, pp. 293-318.
- O'Reilly III, C. A. y Tushman, M. L. (2013). “Organizational ambidexterity: past, present, and future”. *Academy of Management Perspectives*, vol. 27, n° 4, pp. 324-338.
- Oke, A. (2007). “Innovation types and innovation management practices in service companies”. *International Journal of Operations & Production Management*, vol. 27, n° 6, pp. 564-587. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443570710750268>.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (2002). *Frascati Manual 2002. Proposed Standard Practice for Surveys on Research and Experimental Development*. DOI: <https://doi.org/10.1787/9789264199040-en>. París: OECD Publishing
- Rodriguez, M.; Doloreux, D. y Shearmur, R. (2017). “Variety in external knowledge sourcing and innovation novelty: Evidence from the KIBS sector in Spain”. *Technovation*, vol. 68, pp. 35-43.
- Schmiedeberg, C. (2008). “Complementarities of innovation activities: An empirical analysis of the German manufacturing sector”. *Research Policy*, vol. 37, n° 9, pp. 1492-1503.
- Schmookler, J. (1966). *Invention and Economic Growth*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Schmutzler, J. y Lorenz, E. (2018). “Tolerance, agglomeration, and enterprise innovation performance: A multilevel analysis of Latin American regions”. *Industrial and Corporate Change*, vol. 27, n° 2, pp. 243-268. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtx034>.
- Smith, K. (2005). “Measuring Innovation”. En Fagerberg, I., Mowery, D. y Nelson R. (eds.), *The Oxford handbook of innovation*, pp. 148-177. Oxford: Oxford University Press.
- Soares, S. B. (2020). *Islam and the Prayer Economy: history and authority in a Malian town*. UK: Edinburgh University Press.
- Song, M. y Thieme, J. (2009). “The role of suppliers in market intelligence gathering for radical and incremental innovation”. *Journal of Product Innovation Management*, vol. 26, n° 1, 43-57.

- Spence, M. (1984). "Cost Reduction, Competition, and Industry Performance". *Econometrica. Journal of the Econometric Society*, vol. 52, n° 1, pp. 101-121. DOI: <http://dx.doi.org/10.2307/1911463>.
- Srholec, M. y Verspagen, B. (2012). "The Voyage of the Beagle into innovation: Explorations on heterogeneity, selection, and sectors". *Industrial and Corporate Change*, vol. 21, n° 5, pp. 1221-1253. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dts026>.
- Statistical Office of the European Union (Eurostat) y Organization for Economic Co-operation and Development (OECD) (1992). *Oslo Manual*. Paris/Luxemburgo: Eurostat/OECD.
- Steensma, H. K. (1996). "Acquiring technological competencies through inter-organizational collaboration: An organizational learning perspective". *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 12, pp. 267-286.
- Szumillas, M. (2010). "Explaining odds ratios". *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, vol. 19, pp. 227-229.
- Tsai, K. y Liao, Y. (2017). "Sustainability strategy and eco innovation: A moderation model". *Business Strategy and the Environment*, vol. 26, n° 4, pp. 426-437.
- Tsai, K.-H. (2009). "Collaborative networks and product innovation performance: Toward a contingency perspective". *Research Policy*, vol. 38, n° 5, pp. 765-778.
- van Eck, N. J. y Waltman, L. (2010). "Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping". *Scientometrics*, vol. 84, n° 2, pp. 523-538. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11192-009-0146-3>.
- von Hippel, E. (1988). *Sources of Innovation*. New York: Oxford University Press.
- Winkelmann, R. (2003). *Econometric analysis of count data*. Heidelberg: Springer/Verlag.
- Xiao, Y. y Watson, M. (2017). "Guidance on Conducting a Systematic Literature Review". *Journal of Planning Education and Research*, vol. 39, n° 1. DOI: [10.1177/0739456X17723971](https://doi.org/10.1177/0739456X17723971).

Capítulo 8

Métodos de análisis de insumo-producto: aplicaciones a la CTI en América Latina

Patieene Alves-Passoni, Leobardo Enríquez, Rosa Gómez Tovar,
Brenda Murillo-Villanueva, Martín Puchet Anyul

Introducción

El capítulo tiene por objetivo presentar ejercicios ya realizados para estudiar aspectos de la repercusión de las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en la estructura mesoeconómica de los países o de conjuntos de ellos. El enfoque es metodológico y tiene por finalidad que otros investigadores tengan a su disposición una metodología y sus técnicas para aplicarla a otras bases de datos que tengan definiciones y organización similares de la información. La replicación de los ejercicios es una condición fundamental de cada aplicación presentada. La visión del capítulo pone de relieve los alcances y límites de la metodología expuesta y muestra las posibilidades y dificultades de usarla para analizar datos del subcontinente latinoamericano.

El enfoque de insumo-producto y su metodología tienen como punto de partida la tecnología de la producción. En ese sentido, es consustancial respecto a las actividades de CTI. Podría decirse que la matriz de coeficientes técnicos que es el centro de este enfoque es un resultado de dichas actividades respecto a los procesos de producción, intercambio, consumo de bienes para destinos intermedios y finales, generación del valor agregado y su distribución entre propietarios de insumos primarios (mano de obra, capital, tecnología y capacitación). En consecuencia,

es posible afirmar que muchos aspectos del análisis de las actividades de CTI requieren, de forma imprescindible, esta metodología.

Las bases contables y matemáticas de esta metodología son amplias y complejas. Este capítulo contiene por una exposición en el que tanto los recursos contables como los matemáticos se minimizan y solamente se refieren respecto a las técnicas que se aplican en el segundo y tercer apartado.

En el primer apartado, Patieene Alves-Passoni introduce el modelo de insumo-producto y los métodos cuantitativos y cualitativos, hace una comparación de las clasificaciones sectoriales que se refieren a los aspectos tecnológicos e innovativos de los sectores económicos y se centra en la definición del concepto de coeficiente técnico. Mediante una clara referencia teórica y al contenido empírico de dicho concepto afronta el complicado asunto metodológico de su medición en términos monetarios y reales. El tratamiento de la deflactación de las matrices de insumo producto es un asunto crucial de todas las aplicaciones.

En el segundo apartado, Brenda Murillo-Villanueva presenta una aplicación crucial: la descomposición estructural de los efectos del cambio técnico del uso, tanto de los insumos intermedios como de la fuerza de trabajo, en el empleo. Este estudio revela cómo definir un modelo específico de descomposición estructural basado en el de insumo-producto e informa de las dificultades que tiene para una economía concreta. Usa datos de la economía mexicana, tanto de sus transacciones intermedias internas como importadas. El tratamiento de los tipos de cambio en los usos de insumos intermedios y de fuerza de trabajo se sintetizan para los subsectores manufactureros.

En el tercer apartado, Rosa Gómez Tovar, a diferencia de lo realizado en la sección anterior, se orienta hacia procesos de insumo-producto que abarcan a varios países; en este caso, usa una matriz de insumo-producto interpaíses, relativamente poco usada, pero de alto potencial. El asunto que enfoca es el siguiente: la identificación del valor agregado que se incorpora en las exportaciones de un país según el contenido tecnológico que estas tienen. El planteamiento realizado en el apartado aborda las dificultades y los métodos desarrollados para medir el valor agregado en las exportaciones, un asunto crucial de las aplicaciones de la metodología de insumo-producto a la realidad de las cadenas globales de producción y generación de valor. La aplicación hecha para dieciocho economías latinoamericanas ensambla la generación del valor agregado, en particular el de origen interno, con la exportación de bienes pertenecientes

a distintos estratos de contenido tecnológico. La síntesis de resultados obtenidos es fuertemente ilustrativa del papel que cumplen los bienes exportados según sus tecnologías de producción en la generación de valor agregado interno.

En el último apartado se presentan breves recomendaciones generales sobre el uso de los métodos presentados.

Uso de modelos de *input-output*: conceptos básicos

El modelo de *input-output* (o de insumo-producto (IP) en español) es actualmente uno de los métodos más utilizados para analizar los sectores económicos. Esto se debe a que, desde la propuesta de Leontief (1936, 1941) de esta metodología y la expansión de los sistemas de cuentas nacionales por parte de Stone, la disponibilidad de datos sectoriales es cada vez mayor y de mejor calidad. La homogeneización de los sistemas de cuentas nacionales por organismos internacionales como las Naciones Unidas permite la construcción de datos sectoriales y matrices insumo-producto (MIP) compatibles. Además, los avances computacionales de hardware y software amplían la capacidad de procesamiento de los datos sectoriales, permitiendo que los análisis sean más complejos, como por ejemplo la comparación de países y modelos multirregionales.

El principal objetivo de los modelos de IP es el análisis interindustrial, que analiza, en particular, la interdependencia de los sectores en la economía. Su uso es útil para comprender la estructura económica y proponer políticas económicas. Con el desarrollo de esta área de investigación, el modelo de IP se amplía para incluir en su análisis tradicional de producción, empleo y valor agregado, otros aspectos relevantes de la economía, como la innovación tecnológica, los flujos comerciales, el medio ambiente, etc.

El propósito de este apartado es presentar conceptos básicos que permitan comprender el uso del modelo de IP para estudiar las actividades de ciencia, tecnología e innovación (CTI). No es objetivo, entretanto, presentar exhaustivamente el modelo de IP, lo que se pretende es que los lectores adquieran algún conocimiento del modelo estándar.¹

¹ Si el lector no está familiarizado con el tema, puede consultar los trabajos de Schuschny (2005) y Miller y Blair (2009).

El modelo de IP es útil para entender el proceso de difusión tecnológica porque la actividad productiva es una de sus principales fuentes, ya sea por la creación de innovaciones de productos y procesos a lo largo del proceso productivo, o por la transferencia tecnológica entre sectores mediante la venta de insumos. Mansfield (1971), luego de analizar elementos de transmisión de tecnología, encuentra que la principal fuente externa de conocimiento e innovación es la transferencia de tecnología de un sector a otro. Un resultado similar lo observa Pavitt (1984), quien describe flujos intersectoriales de tecnología y conocimiento. Malerba (2004) afirma que es la interacción sectorial la que crea un sistema de innovación, compartiendo conocimiento, tecnología y técnicas de producción.

Modelos de IP cuantitativos y cualitativos

Hay dos modalidades de uso del modelo de IP. La más común y ampliamente difundida es el modelo cuantitativo de IP que analiza las MIP a partir de sus valores, permitiendo mensurar la intensidad de las relaciones sectoriales. Existen multitud de aplicaciones del modelo cuantitativo, entre ellos el cálculo de encadenamientos para los coeficientes directos e indirectos de la matriz inversa de Leontief, sectores clave, descomposiciones estructurales del valor bruto de producción, el empleo o el valor agregado, de la composición sectorial, de la demanda final o de las exportaciones, etc. La importancia de los sectores vinculados a la CTI podría analizarse a partir de una clasificación sectorial basada en flujos tecnológicos, como se discutirá en el siguiente apartado y en algunas de las aplicaciones que se harán a lo largo de este capítulo.

Otra posibilidad es la extensión de los modelos cuantitativos para incluir el efecto de la innovación (incorporada o no incorporada) en el sistema económico. En el caso de la innovación incorporada en los productos es posible identificar sus efectos a partir del uso más eficiente de los insumos en la actividad productiva, a partir de la matriz inversa de Leontief y mediante encadenamientos hacia atrás y hacia adelante (Hirschman, 1958), la matriz inversa de Ghosh, o incluso por cambios en la matriz de coeficientes técnicos capturados cuando se realiza un desglose estructural del valor bruto de producción, empleo, etc. (ver Miller y Blair, 2009; Alves-Passoni, 2019). La mejora en el uso de insumos también puede reflejarse en la mejora en la eficiencia de los usos de los productos o en el aumento de la productividad (Keller, 1997).

Para el caso de la innovación no incorporada a un producto, como la transmisión de ideas, el proceso de aprendizaje y el conocimiento, es posible visualizar estos efectos a partir de una matriz de flujo de conocimiento por medio de patentes (Verspagen, 1997; Nomaler y Verspagen, 2008), o una matriz de flujos tecnológicos (Scherer, 1982; Johnson y Evenson, 1997, Dietzenbacher y Los, 2002). Para aplicaciones sobre algunos países de América Latina ver Gonçalves y Borges Ferreira Neto (2016) y Queiroz (2018).

El modelo cualitativo de IP fue desarrollado, entre otros, por Schnabl y Holub (1979), Holub y Schnabl (1985) y Bon (1989). El objetivo del modelo cualitativo es representar la información cuantitativa de las matrices, presente en el modelo de IP (en particular la matriz de coeficientes técnicos) en una matriz cualitativa booleana (binaria o de ceros y unos). La intensidad de la relación entre los sectores no sería relevante *a priori*, ya que el interés es proporcionar una estructura esquemática de los vínculos entre los sectores. La forma de visualizar estas relaciones es mediante grafos.

Se hacen muchas críticas a los modelos cualitativos y quizás, por eso mismo, su alcance no es tan grande. Sin embargo, autores como Schnabl (1994) y Aroche-Reyes (1996, 2003) sostienen que expresar la matriz de coeficientes por medio de una matriz binaria facilita la visualización de la estructura central de la economía. En general, se define un filtro² para identificar un punto de corte que permita obtener apenas las principales relaciones del sistema.

Algunas aplicaciones para el uso de los instrumentos del modelo cualitativo para analizar flujos tecnológicos involucran el análisis de oportunidades para la transmisión de conocimiento e innovación de diferentes segmentos tecnológicos, o características del flujo de tecnologías en los países, como las que pueden ser vistas en Düring y Schnabl (2000), Brachert, Brautzsch y Titze (2016), Muñoz, Raya y Carvajal (2010) y Lábaj (2011). Para América Latina, Blancas Neira y Márquez Mendoza (2018) analizan la capacidad de los sectores de alta tecnología para incrementar las innovaciones en Colombia y México.

² Como menciona de Mesnard (1995), existen algunos esfuerzos por “cuantificar” el modelo cualitativo, mediante el establecimiento de filtros dinámicos dentro del sistema, como proponen Schnabl (1994) y Aroche-Reyes (2003).

Tecnología y clasificación multisectorial

Debido a la homogeneización de los sistemas de cuentas nacionales, la mayoría de los países tienen sistemas de clasificación industrial que son compatibles entre sí. Actualmente, se basan en la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU), revisión 4. Esta base, junto con el *System of National Accounts 2008* (UN Statistical Commission, 2009), son los pilares para los sistemas de contabilidad nacional de la mayoría de los países.

Clasificación de las actividades de CTI

Para analizar los sectores de la economía y ver el impacto de la intensidad tecnológica en la estructura económica, se han utilizado algunas clasificaciones, que serán mencionadas a continuación.³

Una de las clasificaciones más utilizadas es la propuesta por la OCDE. Su primera versión es de 1984 (solo para la manufactura), pero en su versión más reciente, presente en Galindo-Rueda y Verger (2016), amplía la inserción de otros sectores económicos, como la agricultura y los servicios. Esta clasificación utiliza como criterio la intensidad de las inversiones en investigación y desarrollo (I+D) realizadas por las empresas. La OCDE toma como base un promedio de los gastos sectoriales de los países que la componen, a partir de los cuales clasifica los sectores en cinco categorías: alta, media-alta, media, media-baja y baja intensidad tecnológica.

Otra clasificación se basa en el trabajo de Pavitt (1984). El autor clasifica los sectores según la innovación tecnológica desarrollada en el sector (tal como I+D, *know-how*, aprendizaje dinámico, marketing y publicidad, etc.), el tipo de innovación (producto o proceso), el tamaño de la empresa innovadora (grande o pequeña), la intensidad y dirección de la innovación (alta/baja, vertical/concentrada), la trayectoria tecnológica (reducción de costos, diseño de producto o mixta) y la fuente de innovación de procesos tecnológicos (proveedores, proveedores nacionales, consumidores). Según estas características, el autor clasifica los sectores en cuatro grupos: dominados por proveedores, intensivos en producción

³ Algunos autores, como Leiponen y Drejer (2007) y Srholec y Verspagen (2012) sostienen que los resultados innovadores son más importantes entre empresas que entre sectores. Dosi, Riccio y Virgillito (2021) afirman que Pavitt consideró que las clasificaciones de dos dígitos de la CIIU serían insuficientes para capturar tales efectos.

en gran escala, intensivos en producción como proveedor especializado y basados en ciencia.

Lall (2001) también propone una clasificación basada en la intensidad tecnológica. El autor combina las clasificaciones de Pavitt (1984) y Hatzichronoglou (1996), considerando los intereses de los países en desarrollo en relación con su sector exportador. Los sectores de la economía se dividen en: productos primarios y manufactura basada en recursos naturales, baja tecnología, media tecnología y alta tecnología.

Otro aspecto, de carácter más profundo en torno a la clasificación, es que se basan en países desarrollados y para una determinada vía esperada de desarrollo. Esto supondría una transición natural hacia sectores de “alta” intensidad tecnológica, y solo estos serían los responsables de estimular la inversión en innovación y tecnología. Cassini y Robert (2017) argumentan que, dependiendo del contexto histórico y económico de cada país, es posible que sectores no clasificados tradicionalmente como de alta tecnología puedan jugar un papel importante en el esfuerzo innovador del país. Para ciertos países, los sectores tradicionales o intensivos en recursos naturales también pueden ser igualmente efectivos para generar productos y procesos de innovación que serán absorbidos por los productos para los mercados nacionales e internacionales, un caso de estos es el basado en biotecnología. Por esta razón, varios autores desarrollan clasificaciones alternativas que incluyen las especificidades de países latinoamericanos respecto a sus procesos de CTI. Por ejemplo, Kupfer (1998), Abdal, Torres-Freire y Callil (2016) y Marín y Petralia (2018) lo hacen para Brasil y Cassini y Robert (ibíd.) y Marín y Petralia (ibíd.) para la Argentina.

Como resultado, algunos sectores no son clasificados de acuerdo con las clasificaciones más utilizadas, ya que desempeñan localmente un papel importante en la innovación. Para el caso de Brasil, por ejemplo, Abdal, Torres-Freire y Callil demuestran que el sector de extracción y refinación de petróleo puede ser considerado de alta tecnología por el gran esfuerzo innovativo realizado por la empresa Petrobras en técnicas de refinamiento y extracción de petróleo en aguas profundas. Para el caso de la Argentina, Cassini y Robert destacan que los sectores relacionados con los productos textiles y el cuero pueden ser sectores dinámicos en el proceso de innovación, mientras que otros considerados tradicionalmente como de media-alta tecnología como aparatos de uso doméstico y autopartes poseen bajo dinamismo.

Además, la presencia de los países en las cadenas de valor mundiales impide que las clasificaciones representen realmente los esfuerzos internos de I+D. En general, como mencionan Durand y Milberg (2020), los países solo realizan actividades transversales dentro de la cadena. Por lo tanto, incluso si un sector se considera de alta tecnología, como el farmacéutico, a veces un país solo participa marginalmente mediante el ensamblaje de algún medicamento. Lo mismo sucede para el caso de muchas de las “maquilas” mexicanas, en las que la mayoría de los insumos son importados y el sector solo ensambla las piezas.

Coefficientes técnicos en valores y cantidades

Uno de los principales usos del modelo de IP, ya sea para el análisis cuantitativo como cualitativo, es el cálculo de coeficientes técnicos de producción. Originalmente, Leontief (1936, 1941) pensaba los coeficientes técnicos en términos físicos, es decir, estos establecían la relación física de los insumos utilizados para producir una unidad de producto. La siguiente es su representación:

$$a_j^q = \frac{Q_{ij}}{q_j} \quad (1)$$

Así, a_j^q es el coeficiente técnico en cantidades físicas, Q_{ij} es la transacción intermedia en términos físicos que indica cuánto insumo el sector j compró de los sectores i para realizar su producción sectorial (q_j) en cantidades físicas (es decir, kilogramos, litros, unidades de energía, etc.). Esta relación muestra cuál es la técnica productiva, o sea, cuál es la necesidad de consumo de insumos para producir una unidad adicional de producción.

Sin embargo, por razones obvias de heterogeneidad de cantidades y de imposibilidad de sumar diferentes insumos expresados en dimensiones distintas, es más común que las MIP se publiquen en unidades monetarias. Para el caso de unidades monetarias, la forma tradicional de expresión del coeficiente es:

$$a_{ij} = \frac{z_{ij}}{x_j} = \frac{p_{ij} \times Q_{ij}}{p_j \times q_j} \quad (2)$$

En la que Z_{ij} es la transacción intersectorial entre i y j , y x_j es el valor bruto de la producción del sector j , ambos en unidades monetarias. Z_{ij} está compuesto entonces de dos elementos: P_{ij} y Q_{ij} , que son respectivamente el precio y la cantidad de producto fabricado por el sector i que se usa en la producción del sector j . Análogamente, el valor de x_j es el resultado del precio (p_j) por la cantidad (q_j) que fue vendida.

Aunque Leontief (1985) menciona que las MIP en unidades monetarias y en unidades físicas siempre son equivalentes cuando la base es fija, veremos que cuando hablamos de más de un período en el tiempo, las cosas se vuelven un poco más complejas. Esto es lo que vemos en (2), que hay una relación de precio ($a_{ij}^p = P_{ij}/p_j$) dentro del coeficiente técnico construido a partir de una MIP en unidades monetarias; esto es:

$$a_{ij} = a_{ij}^p \times a_{ij}^q = \frac{P_{ij}}{p_j} \times \frac{Q_{ij}}{q_j} \quad (3)$$

Así, cuando se comparan los coeficientes técnicos de producción en el tiempo o para países distintos, las diferencias en a_{ij} pueden ser resultado de la variación de la técnica productiva, dada por las relaciones de cantidades, o por la variación de los precios relativos.

Lo que se quiere, al comparar los cambios entre los coeficientes técnicos, es observar la diferencia en la técnica de producción y en la estructura productiva de la economía que, en principio, sería más cercana a la variación de a_{ij}^q . Desafortunadamente, no es posible aislar por completo el efecto de los precios relativos en a_{ij} cuando estamos hablando de la MIP valorada en unidades monetarias, aún en el caso en que estas MIP estén deflactadas. El proceso de deflatación⁴ es importante para aislar los efectos de la inflación, pero la mayor parte de los métodos existentes no contemplan esta diferencia.⁵ En consecuencia, se debe tener cuidado con las interpretaciones realizadas por los estudios que utilizan las MIP valoradas en unidades monetarias.

⁴ Se usa aquí el neologismo deflatación para denominar el proceso que consiste en transformar el valor corriente de una variable en uno que suponga alguna constancia de los precios involucrados en la transacción. El valor resultante de este proceso se denominará un volumen o una variable de volumen. Se conservan los términos inflación o deflación para referirse al aumento o la disminución de los precios monetarios o de los precios relativos que son razones de precios entre períodos.

⁵ Un esfuerzo para aislar el efecto de los precios relativos puede ser consultado en Alves-Passoni (2019).

Deflatación y cuentas nacionales

Cuando se trabaja con una base de datos que involucra más de un período, es necesario realizar un proceso de deflatación de los datos. Este proceso consiste en hacer que los datos a lo largo del tiempo sean comparables, retirando los efectos de la inflación o deflación que se observan en los precios.

Sin embargo, deflatar una MIP es más complejo que extraer el efecto de la inflación en una serie de un solo elemento; en la MIP existen relaciones entre los componentes del sistema mediante, como se vio, los precios relativos. Por ejemplo, un producto que es producido por una actividad puede ver incrementado su precio en una proporción mayor que la correspondiente al promedio de la economía. Esto cambia la relación de intercambio de este producto con el resto de la economía. Por lo tanto, se requiere especial cuidado cuando se trabaja con datos sectoriales.

Algunos elementos son fundamentales para deflatar las MIP. Hay que elegir un año base de referencia, que preferentemente sea “estable”, es decir, que no sea un año de crisis o de cambios bruscos en la composición de los costos. A partir de la disponibilidad de datos hay que elegir el deflactor y el método de deflatación.

Métodos de deflatación: ¿cómo se obtienen valores “reales”?

Recientemente, los institutos oficiales que publican estadísticas económicas han publicado datos del Sistema de Cuentas Nacionales (SCN) considerando índices vinculados. Anteriormente, lo más común es que estos se calcularan a partir de los índices directos de Laspeyres creando el problema de la aditividad en las cuentas nacionales (Balk y Reich, 2008).

La forma en que se publican los datos determina cómo se deben deflatar las MIP. En el método de Laspeyres de base fija existe una canasta de productos básicos que es constante en el período de referencia elegido. Esta es, por ejemplo, la forma como publica las MIP el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) de México. En este caso, todos los valores de las variables que se intercambian se miden por medio de una canasta de productos básicos dada para un período, o sea, los precios relativos del sistema económico son fijos.

El caso contrario es aquel en que se publican los datos a partir de índices de Laspeyres encadenados, las canastas de productos que se

utilizan como base son siempre las del período anterior, es decir que la base también es móvil. Esta, por ejemplo, es la forma como publica la información de las MIP el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE). Entonces, para deflactar, es necesario generar índices de precios encadenados. Pero, al generar esta serie, se están multiplicando índices de precios que están calculados para distintas canastas de bienes. Esto hace que no haya aditividad⁶ en el tiempo y entre los sectores demandantes (renglones) de las MIP.

Una alternativa muy utilizada es el método de *doble deflactación*. Este método consiste en utilizar información de deflactores sectoriales del valor bruto de la producción para deflactar todos los elementos de la MIP. Por lo general, en la bibliografía, se utiliza esta metodología porque es más probable tener deflactores del valor bruto del sector y porque, en el momento de la concepción del método, el SCN usaba los índices de Laspeyres directos.

Cuando se considera el caso de series construidas con bases fijas, es decir, en las que los índices de precios se calculan mediante un índice directo de Laspeyres, es menos problemático utilizar la doble deflactación debido a que la canasta base sería la misma para todos los elementos de la serie. Sin embargo, cuando los datos están disponibles a partir de una media móvil, deflactar una serie por este método implicaría “ocultar” la no aditividad que presenta la suma de transacciones de las magnitudes de los sectores demandantes (que se registran en las columnas) y que hace posible determinar el valor agregado. Para obtener más detalles sobre este método hay que consultar Dietzenbacher y Hoen (1998) o Miller y Blair (2009). Una aplicación del método se encuentra en Murillo, Puchet y Fujii (2019) y críticas al método están tanto en Dietzenbacher y Hoen (ibíd.) como en Alves-Passoni (2019).

Otro método comúnmente utilizado en la bibliografía especializada es el que surge de un enfoque heurístico que utiliza el método RAS para estimar el consumo intermedio de vectores deflactados (Dietzenbacher y Hoen, ibíd.; Miller y Blair, 2009). En comparación con el método de doble deflactación, el método RAS requiere más información exógena

⁶ La aditividad, en el contexto de las cuentas nacionales, significa que el orden que elige el investigador para realizar las operaciones de deflactación y agregación debe ser intercambiable. O sea, si se deflactan los elementos adentro de la matriz utilizando un deflactor casilla a casilla y se suman todos estos elementos, el resultado tiene que ser igual a deflactar el total por su deflactor propio (Balk y Reich, 2008). Sin embargo, en el caso de una base móvil, existe esta pérdida de aditividad porque en cada año se tienen precios relativos diferentes.

para realizar el proceso correctamente, como los vectores deflactados del valor agregado y de importaciones por actividad. El propósito de esta metodología es “ajustar” las tablas que se obtuvieron de la doble deflatación a partir de la restricción impuesta por el valor agregado deflactado tal como está hecho en la aplicación de Murillo, Puchet y Fujii (ibíd.).

La alternativa más sencilla para deflactar una serie de MIP es utilizar un *deflactor único* para todos los elementos de la demanda intermedia, la demanda final y de la matriz de transacciones entre sectores productivos. Este proceso de deflatación es útil para dos situaciones: 1) cuando no hay deflatores de sector disponibles compatibles con los datos del SCN, o bien 2) cuando los datos del SCN se publican de forma vinculada. Para el primer caso, la elección se debe a la falta de opciones; el segundo se presenta cuando es necesario evitar el problema de la no aditividad que resulta del cambio en las canastas de producto usadas para calcular los deflatores. Una discusión en profundidad de este proceso se hace tanto en Alves-Passoni como en Balk y Reich (2008).

Finalmente, una posibilidad más compleja que involucra la disponibilidad de una gran cantidad de datos es el uso de *deflatores casilla por casilla*. A pesar de las numerosas limitaciones de las informaciones existentes para utilizar esta metodología, tiene la ventaja de que es posible calcular el cambio en términos de “volumen” para cada par de sectores demandante j y productor i . El volumen representa tanto el cambio en las cantidades como en las cualidades de lo que se produce. Sería lo más cercano a un modelo de “cantidades”, pero medido a partir de una matriz valorada en términos monetarios. Una discusión y aplicación teórica del tema está en Alves-Passoni (2019) y Neves (2013).

Efecto del cambio técnico multisectorial sobre el empleo de los subsectores manufactureros de México

La técnica de producción de los subsectores que conforman el aparato productivo de un país puede conocerse y analizarse utilizando las MIP. Diversos autores como Carter (1970) y Vaccara (1970) indican que el cambio técnico es un proceso gradual pero constante que influye significativamente sobre otras variables como el empleo. En ese sentido, en este apartado se presenta una propuesta metodológica para medir el efecto que el cambio técnico tiene sobre el empleo de los subsectores manufactureros. Para ello se utilizan las MIP totales que involucran tanto intercambios de

insumos de origen interno como importado. Este ejercicio se hace para las respectivas matrices de México de los años 2008 y 2012 por subsector y compiladas por el INEGI. La actividad manufacturera se desagrega en veintiún subsectores manufactureros; su clasificación según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) y su descripción pueden encontrarse en el anexo 1. En Murillo-Villanueva (2018) se presentan técnicas que complementan el análisis aquí planteado y que están relacionadas con el análisis del cambio en la matriz de coeficientes técnicos y con las características productivas de cada sector.

Análisis de descomposición estructural

El cambio en la técnica de producción sectorial se aprecia en los cambios por columna que experimenta la matriz A de coeficientes técnicos. Cada columna refleja los requerimientos de insumos del sector para llevar a cabo su producción, a medida que estos varían, la técnica de producción se ve alterada y como consecuencia también la demanda de empleo.

Se aplica el análisis de descomposición estructural a un modelo de empleo para identificar los cambios en el nivel de empleo que obedecen a variaciones en los componentes de la producción, en particular, al cambio técnico. La idea central del análisis de descomposición estructural es que los cambios de una variable pueden descomponerse, de forma aditiva, en sus factores determinantes (Schuschny, 2005). En este caso el nivel de empleo se determina por el coeficiente de uso del empleo respecto al nivel de producción:

$$l_t = \hat{\lambda}_t x_t \quad (1)$$

Así, l_t es el vector columna de empleos por subsector, $\hat{\lambda}_t$ es el vector diagonalizado de los coeficientes de uso del empleo y x_t es el vector columna de cantidades producidas. Por tanto, el cambio en el empleo sectorial puede descomponerse, de forma aditiva, en cambios en el coeficiente de uso de empleo y en cambios en la cantidad producida; considerando el modelo (1) para dos períodos, t y $t-1$ se tiene que:

$$\Delta l = l_t - l_{t-1} = \hat{\lambda}_t x_t - \hat{\lambda}_{t-1} x_{t-1} \quad (2)$$

Sumando cero ($\hat{\lambda}_t x_t - \hat{\lambda}_t x_t - \hat{\lambda}_{t-1} x_{t-1}$) al lado derecho de la ecuación (2) y agrupando términos:

$$\Delta l = l_t - l_{t-1} = \Delta \hat{\lambda} x_{t-1} + \hat{\lambda}_t \Delta x \quad (3)$$

Análogamente, sumando un cero ($\hat{\lambda}_t - \hat{\lambda}_t x_t - \hat{\lambda}_{t-1} x_t$) al lado derecho de la ecuación (2) y agrupando términos se obtiene una segunda descomposición del empleo:

$$\Delta l = l_t - l_{t-1} = \Delta \hat{\lambda} x_t + \hat{\lambda}_{t-1} \Delta x \quad (4)$$

Las ecuaciones (3) y (4) son las descomposiciones polares⁷ del empleo asociado al valor bruto de la producción a precios constantes e indican que el cambio en el empleo (Δl) es el resultado de dos efectos, el cambio en el coeficiente de empleo ($\Delta \hat{\lambda}$) y el cambio en la producción bruta a precios constantes (Δx), ponderados cada uno por $\hat{\lambda}$ o x en t y $t-1$.

Como se observa, la representación de la descomposición estructural no es única, el número de descomposiciones posibles crece con la cantidad de variables que participan en ella.⁸ No obstante, en diversos trabajos se ha demostrado que el promedio de todas las descomposiciones posibles se aproxima al promedio de las dos descomposiciones polares que se obtienen de intercambiar el tiempo en las variables que participan en la descomposición (Dietzenbacher y Los, 1998; De Haan, 2001). Entonces, el promedio de las descomposiciones (3) y (4) muestra la descomposición del cambio en el empleo asociado a variaciones en el coeficiente de empleo y en la producción (ver cuadro 1).

Cuadro 1. Descomposición del empleo asociado a la producción

$\Delta l =$	$\frac{1}{2}(\Delta \hat{\lambda} x_{t-1} + \Delta \hat{\lambda} x_t)$	Coficiente de empleo
	$+\frac{1}{2}(\hat{\lambda}_t \Delta x + \hat{\lambda}_{t-1} \Delta x)$	Producción

Fuente: elaboración propia

7 Son las descomposiciones que se obtienen de intercambiar entre sí el tiempo. La ecuación (3) pondera las variaciones en el coeficiente de empleo con el valor bruto de la producción del período $t-1$, mientras que la ecuación (4) las pondera con el valor bruto de la producción en t .

8 El número de posibles descomposiciones es: $n!$, el factorial n , en la que n es el número de variables del modelo (ver Dietzenbacher y Los, 1998).

Cuando el cambio en el coeficiente de empleo es negativo, el uso del trabajo se reduce. Si el cambio en la producción bruta es positivo el uso del trabajo aumenta. A su vez podemos descomponer las variaciones del coeficiente de empleo ($\Delta\hat{\lambda}$). Partiendo de la identidad del valor bruto de la producción por la oferta, tenemos:

$$x'_t = n'_t + t'_{1t} + w'_t + s'_t + t'_{2t} \quad (5)$$

En la que n'_t representa el vector fila de consumo de insumos intermedios internos e importados,⁹ t'_{1t} es el vector fila de impuestos indirectos netos de subsidios sobre bienes y servicios, w'_t representa el vector fila de las masas salariales de cada sector, s'_t es el vector fila de excedente bruto de operación y t'_{2t} el vector fila de impuestos directos sobre las remuneraciones a los factores de producción.

El consumo intermedio (n'_t) y los salarios (w'_t) pueden escribirse en función de los requerimientos directos de insumos y de la cantidad producida:

$$n'_t = t' A_t \hat{x}_t \quad (6)$$

$$w'_t = \omega' t'_t = \omega' \hat{\lambda}_t \hat{x}_t \quad (7)$$

Así, ω'_t es el vector fila de las tasas unitarias de salario por sector. Remplazando ambas expresiones en la identidad contable (5), renombrando $V'_t = t'_{1t} + s'_t + t'_{2t}$ y multiplicando ambos miembros por \hat{x}_t^{-1} llegamos a la ecuación (8) que representa los costos unitarios de producción de cada subsector. El cambio de notación en los últimos tres términos refleja el uso de variables unitarias.

$$x'_t = (t' A_t + \omega' \hat{\lambda}_t) \hat{x}_t + V'_t$$

$$t' = t' A_t + \omega' \hat{\lambda}_t + v'_t \quad (8)$$

La variación de la ecuación (8) es la siguiente, en la que $\Delta(\omega' \hat{\lambda}_t)$ se descompone de dos formas en (10) y (11).

$$0 = \Delta t' = t' \Delta A + \Delta(\omega' \hat{\lambda}_t) + \Delta v' \quad (9)$$

$$\Delta(\omega' \hat{\lambda}_t) = \Delta \omega' \hat{\lambda}_t -_1 + \omega'_t \Delta \hat{\lambda} \quad (10)$$

⁹ La matriz de insumo-producto de la economía total incluye en cada una de sus celdas las transacciones intersectoriales de bienes nacionales e importados. Por ello cn' representa el consumo de insumos intermedios internos e importados.

$$\Delta(\omega' \hat{\lambda}_t) = \Delta\omega' \hat{\lambda}_t + \omega_{t-1}' \Delta \hat{\lambda} \quad (11)$$

Esto significa que la variación total de la ecuación (9) se representa como en (12) y (13).

$$0 = \Delta t' = t' \Delta A + \Delta\omega' \hat{\lambda}_{t-1} + \omega_t' \Delta \hat{\lambda} + \Delta v' \quad (12)$$

$$0 = \Delta t' = t' \Delta A + \Delta\omega' \hat{\lambda}_t + \omega_{t-1}' \Delta \hat{\lambda} + \Delta v' \quad (13)$$

Despejando para $\Delta \hat{\lambda}$ encontramos las dos descomposiciones del coeficiente de empleo:

$$\Delta \lambda' = - t' \Delta A \hat{\omega}_{t-1}^{-1} - \Delta\omega' \hat{\lambda}_{t-1} \hat{\omega}_{t-1}^{-1} - \Delta v' \hat{\omega}_{t-1}^{-1} \quad (14)$$

$$\Delta \lambda' = - t' \Delta A \hat{\omega}_t^{-1} - t\omega' \hat{\lambda}_t - \Delta v' \hat{\omega}_t^{-1} \quad (15)$$

Nuevamente, considerando que una buena estimación de las posibles descomposiciones se obtiene del promedio de las dos descomposiciones polares (ecuaciones 14 y 15), en el cuadro 2 se muestra que las variaciones en el coeficiente de empleo obedecen a tres elementos, a la variación en los coeficientes técnicos por columna (ΔA), es decir, a los cambios en la técnica sectorial, a la variación del salario unitario ($\Delta\omega'$) y a la variación del excedente bruto de operación e impuestos a la producción ($\Delta v'$).

Cuadro 2. Descomposición del coeficiente de empleo

$\Delta \hat{\lambda}' =$	$-\frac{1}{2} \left(t' \Delta A \hat{\omega}_t^{-1} + t' \Delta A \hat{\omega}_{t-1}^{-1} \right)$	Coeficientes técnicos
	$-\frac{1}{2} \left(\Delta\omega' \hat{\lambda}_{t-1} \hat{\omega}_{t-1}^{-1} + t\omega' \hat{\lambda}_t \right)$	Salario unitario
	$-\frac{1}{2} \left(\Delta v' \hat{\omega}_t^{-1} + \Delta v' \hat{\omega}_{t-1}^{-1} \right)$	Excedente bruto de operación unitario

Fuente: elaboración propia

El cuadro 2 deja ver la intensidad con la que se utiliza cada uno de los factores productivos y demuestra que estos pueden ser sustituibles

entre sí, ya que para que el coeficiente de uso de empleo aumente, el uso de algún otro factor debe disminuir y viceversa.

Por lo tanto, sustituyendo la descomposición del coeficiente de empleo (cuadro 2) en la del empleo (cuadro 1), es posible conocer el efecto que el cambio técnico multisectorial tiene sobre el nivel de empleo de los subsectores manufactureros (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Descomposición del empleo

$\Delta l =$	$-\frac{1}{4} \left[\left(\hat{i} \Delta A \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_{t-1} + \left(\hat{i} \Delta A \overset{\wedge}{\omega}_{t-1} \right) x_{t-1} + \left(\hat{i} \Delta A \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_t + \left(\hat{i} \Delta A \overset{\wedge}{\omega}_{t-1} \right) x_t \right]$	Coeficientes técnicos (2)
	$-\frac{1}{4} \left[\left(\Delta \omega \overset{\wedge}{\lambda}_{t-1} \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_{t-1} + \left(tc(\omega) \overset{\wedge}{\lambda}_t \right) x_{t-1} + \left(\Delta \omega \overset{\wedge}{\lambda}_{t-1} \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_t + \left(tc(\omega) \overset{\wedge}{\lambda}_t \right) x_t \right]$	Salario unitario (3)
	$-\frac{1}{4} \left[\left(\overset{\wedge}{\Delta} v' \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_{t-1} + \left(\overset{\wedge}{\Delta} v' \overset{\wedge}{\omega}_{t-1} \right) x_{t-1} + \left(\overset{\wedge}{\Delta} v' \overset{\wedge}{\omega}_t \right) x_t + \left(\overset{\wedge}{\Delta} v' \overset{\wedge}{\omega}_{t-1} \right) x_t \right]$	Excedente bruto de operación unitario (4)
	$+\frac{1}{2} \left(\overset{\wedge}{\lambda}_t \Delta x + \overset{\wedge}{\lambda}_{t-1} \Delta x \right)$	Producción (5)

Fuente: elaboración propia

El cuadro 3 desglosa el cambio en el empleo según las variaciones en la producción y en los determinantes del coeficiente de empleo. El primer término indica que cuando el consumo de insumos intermedios de cada sector aumenta, el uso del empleo tiende a disminuir, esto indicaría un cambio en la técnica de producción en detrimento del uso del trabajo. El tercer término señala que cada vez que el salario aumenta, el uso del empleo tiende a disminuir. El último sugiere que cuando la producción o demanda final incrementa, el empleo también. Como se puede observar en el cuadro 3, la influencia de cada variable en el empleo se obtiene del promedio de los términos obtenidos en las descomposiciones; la diferencia entre ellos reside en el período del ponderador.

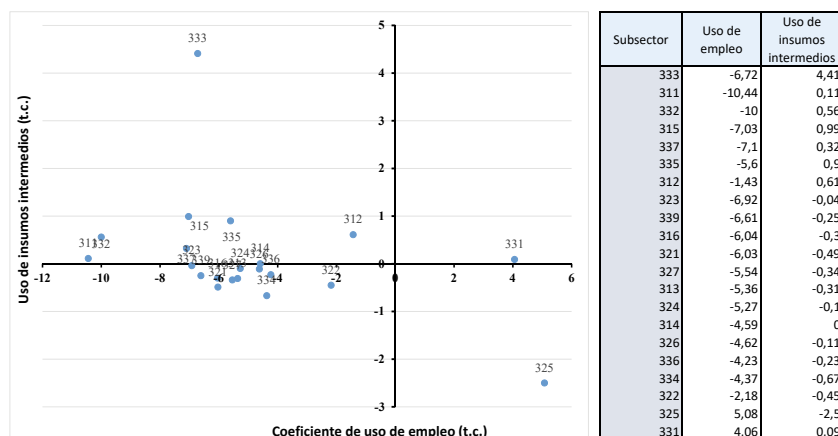
Evidencia para los subsectores manufactureros mexicanos, 2008-2012

Para la aplicación de la metodología planteada se utilizan las matrices de insumo-producto totales de 2008 y 2012. Se utilizan las matrices totales y no las internas ya que las primeras registran además de los insumos internos necesarios para la producción sectorial, los insumos intermedios importados, es decir, muestra la técnica de producción total que es

la que registra efectivamente los requerimientos de insumos. Por otro lado, las matrices de 2008 y 2012 se encuentran valuadas ambas a precios de 2008, hecho que permite hacer una comparación en términos reales sobre los efectos que el cambio en la técnica de producción ha tenido sobre el nivel de empleo de los subsectores manufactureros.

El tipo de cambio técnico aplicado por los subsectores manufactureros entre 2008 y 2012 se puede conocer comparando los cambios observados tanto en el coeficiente de uso de empleo como en el coeficiente de uso de insumos intermedios. En el gráfico 1 se muestra esta comparación, cada punto representa un subsector y cada cuadrante brinda información sobre el tipo de cambio técnico aplicado. Para cada sector se calcula la tasa de crecimiento promedio anual (t.c.) de cada coeficiente de uso.¹⁰

Gráfico 1. Tasas de crecimiento promedio anual del coeficiente de uso de empleo y del uso de insumos intermedios, 2008-2012



Fuente: elaboración propia con datos de las MIP de 2008 y 2012

En el cuadrante 1 tenemos el cambio técnico en el que tanto el uso de empleo como de insumos intermedios aumentó, esta situación debe verse compensada por una reducción en el coeficiente de uso de capital fijo. En

¹⁰ t.c.(tasa de crecimiento promedio anual)= $\frac{\text{coeficiente}_f - \text{coeficiente}_i}{t}$, en la que coeficiente_f es el valor del coeficiente en el período final; coeficiente_i es el valor del coeficiente en el período inicial y t es el número de años entre el período inicial y el final.

el cuadrante 2 se ubican los subsectores con cambio técnico ahorrador de empleo, pero intensivo en insumos intermedios. El tercer cuadrante contiene las actividades en las que se redujeron tanto el uso del empleo como el de insumos intermedios, y que debieron acompañarse por un aumento en el uso del capital fijo. El cuadrante 4 muestra el cambio técnico intensivo en empleo y ahorrador de insumos intermedios. Para el período 2008-2012 se observa que la mayoría de los subsectores se ubican en los cuadrantes 2 y 3, esto quiere decir que en general hay una tendencia a economizar empleo por unidad de producción.

El cambio técnico identificado en el gráfico 1 tiene efectos relevantes sobre la generación de empleo. El cuadro 4 muestra los resultados de la descomposición estructural del empleo en miles de empleos; los subsectores se agrupan según el tipo de cambio técnico experimentado y cada columna muestra el efecto sobre el empleo de cada componente del cuadro 3.

Cuadro 4. Descomposición estructural del empleo, 2008-2012 (miles de empleos)

	SCIAN	Cambio en el empleo (1)	Cambio en coeficientes técnicos (2)	Cambio en el salario unitario (3)	Cambio en el excedente de operación (4)	Cambio en la producción (5)
Cuadrante 1	331	29,3	-9,2	13,4	10,4	14,7
Cuadrante 2	311	-319,8	-85,8	-799,6	53,3	512,3
	312	27	-39	-15,3	41,9	39,4
	315	-29,4	-57	-109,2	63,3	73,5
	332	-93,9	-52,3	-114	8,2	64,2
	333	90	-241,5	-19	202,5	148
	335	20	-72,2	-40,9	60,7	72,4
	337	-29,2	-8,7	-41,5	-3,8	24,8
Cuadrante 3	313	-4,3	6,9	-20,5	-7,7	17
	314	2,8	0,1	-16	3,2	15,5
	316	4	8	-35,7	-13,5	45,2
	321	7,1	11,8	-41,3	-11,9	48,5
	322	7,8	19,8	-12	-17,7	17,7
	323	-16,8	0,7	-30,1	-2	14,6
	324	2,4	6	-8	-6,4	10,8
	326	19,3	8,9	-36,3	-19	65,7
	327	-34,2	22,7	-70,7	-35,9	49,7
	334	-43,6	140,9	-131,1	-73,4	20
336	127,6	66,9	-50,8	-118,2	229,7	
339	-14,3	13,9	-10	-75,2	57	
Cuadrante 4	325	28,5	297,9	-5,5	-244,9	-19

Fuente: elaboración propia

Durante el período analizado, doce subsectores se encontraron en el cuadrante 3, siete en el cuadrante 2, uno en el cuadrante 1 y otro en el 4. Se

observa únicamente en los subsectores de los cuadrantes 1 y 2 que el cambio técnico, el generado en los coeficientes técnicos, tuvo un efecto empleo negativo, es decir, solo en ocho de los veintinueve fue ahorrador de empleo. En estos casos, un mayor uso de insumos intermedios ocasionó una disminución en los requerimientos de empleo (columna 2). Por el contrario, el efecto sobre el empleo del cambio técnico fue positivo en los subsectores de los cuadrantes 3 y 4, lo que sugiere el uso de técnicas intensivas en el trabajo.

Por el alto número de empleos perdidos a causa del cambio técnico, destacan los subsectores de fabricación de maquinaria y equipo (333), industria alimentaria (311) y fabricación de accesorios, aparatos eléctricos, etc. (335) con 241.500, 85.800 y 72.200 empleos perdidos respectivamente. En cambio, la industria química (325) y la de equipo de computación, comunicación, etc. (334) crearon 297.900 y 140.900 empleos respectivamente.

La descomposición estructural del empleo sugiere que los cambios que contribuyeron en mayor medida a la reducción en los niveles de empleo entre 2008 y 2012 fueron los relacionados con la contratación de insumos para la producción, como lo son los coeficientes técnicos, el salario y el excedente de operación unitarios. Esta metodología también puede utilizarse para desagregar y analizar con mayor detalle el efecto sobre el empleo de los componentes del valor agregado por el lado de la demanda (consumo, inversión, gasto gubernamental, exportaciones e importaciones) o para plantear modelos de oferta de factores, de repercusiones de los gases de efecto invernadero u otros.

Consideraciones sobre los resultados

La metodología de descomposición estructural para computar el efecto del cambio técnico sobre el empleo sectorial muestra que las variaciones en el empleo se deben a cambios en el coeficiente de uso de empleo y en el valor bruto de la producción. Para ubicar el efecto del cambio técnico se obtuvo la descomposición del coeficiente de uso de empleo para sustituirla en la descomposición total del empleo.

Mediante el análisis de la evolución de los coeficientes de uso de empleo y de uso de insumos intermedios, pudimos observar el cambio en la técnica de producción de cada subsector y estos cambios se clasificaron en cuatro tipos según sus distintos efectos sobre el nivel de empleo. El cambio técnico de los tipos uno y dos genera un efecto negativo sobre el empleo contrario a los del tipo tres y cuatro.

Valor agregado interno en las exportaciones clasificadas por contenido tecnológico

El proceso de producción de exportaciones genera valor agregado y contribuye al PIB de los países; sin embargo, no todas las exportaciones incorporan valor agregado producido de forma interna. El estudio de cadenas globales de valor (CGV) muestra cómo los países, a través de sus empresas, participan en la secuencia de actividades necesarias para que un bien o servicio sea producido, desde su concepción hasta el marketing y las ventas. Se analiza cada una de las etapas de la cadena en la que se puede agregar valor al producto o servicio; esta está integrada por tareas como el diseño, la producción y transformación, el ensamblaje, el empaquetado la transportación, la distribución, la comercialización y los servicios posventa (Bamber y Fernández-Stark, 2015).

No obstante, la importancia creciente de las CGV en la economía mundial no puede observarse directamente en las estadísticas de comercio tradicionales. Estas últimas simplemente cuantifican el valor de los bienes y servicios, en los cuales se duplica el valor de los insumos intermedios en las estadísticas. De ahí que uno de los avances más significativos en términos del análisis de CGV tiene que ver con la disponibilidad de información que distingue los flujos comerciales en términos de valor agregado. La compilación de MIP globales combinada con las aplicaciones de la matriz inversa de Leontief (1936), ha permitido desagregar el valor agregado interno del externo contenido en las exportaciones. Sin embargo, a raíz de la falta de la información necesaria, en el caso de la región latinoamericana, pocos países forman parte de estos proyectos de bases de datos.

Varios autores han propuesto metodologías para este análisis de los componentes del valor agregado por las exportaciones (Hummels, Ishii y Yi, 2001; Johnson y Noguera, 2012; Stehrer, 2012; Koopman, Shang-Jin y Zhi, 2014; Arto *et al.*, 2015). En este estudio, seguimos la contribución de Wang, Wei y Zhu (2013), con una descomposición del valor de las exportaciones a nivel bilateral y sectorial en cuatro categorías: 1) valor agregado interno generado en las exportaciones (VAIX), 2) valor agregado externo contenido en las exportaciones (VAEX), 3) valor agregado reexportado al país de origen (RDV) y 4) términos de doble contabilidad (PDC). De estas cuatro categorías nos interesa particularmente la subsecuente desagregación del VAIX en función del uso que hace el país importador del bien o servicio exportado.

Un tema relevante en la discusión respecto a las CGV está relacionado con los posibles efectos positivos hacia una economía que participe con mayor intensidad en este tipo de comercio; las características del valor agregado interno que se generan por la exportación de bienes es un asunto de importancia. En ese sentido, el análisis tradicional de la contribución de las exportaciones al crecimiento económico, es decir, la cantidad de tecnología o de innovaciones contenida en los bienes y servicios exportados, es uno de los factores que se han identificado como determinantes para que las exportaciones generen crecimiento económico (Dosi, Pavitt y Soete, 1990; Lall, 2000; Lall, Weiss y Zhang, 2005; Hausmann, Hwang y Rodrik, 2007). Para economías como las de Latinoamérica, este es un tema primordial pues, en muchos casos, el fomento a las exportaciones ha sido la estrategia de desarrollo adoptada.

El objetivo este apartado es proporcionar un ejemplo del cálculo del VAIX para economías latinoamericanas según la metodología señalada y, a la vez, identificando los sectores por contenido tecnológico. Este abordaje cuestiona el hecho de que no solamente es importante aumentar las exportaciones de mayor contenido tecnológico o más innovadoras para apuntalar el crecimiento, sino que también hay que procurar exportar bienes que generen más VAIX. Para medir esa variable se usa la recién publicada matriz global de insumo-producto compilada por la Comisión Económica y Social para Asia y el Pacífico (ESCAP), el Banco Asiático de Desarrollo (ADB) y Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL, 2020). Esta matriz (en lo subsecuente ADB-MRIO-LAC) incluye setenta y ocho economías (entre ellas dieciocho de la región latinoamericana) más el resto del mundo y abarca treinta y ocho sectores económicos para el año 2011.

En la primera sección se abordarán las ventajas y desventajas de la metodología propuesta haciendo una comparación con algunos de los métodos mencionados. En la segunda sección, se hará una breve presentación de las clasificaciones sectoriales por contenido tecnológico disponibles en la literatura, así como los principales desafíos para su utilización con la información disponible en las MIP. Finalmente se presentan consideraciones sobre los resultados presentados.

¿Cómo se calcula el VAIX?

La necesidad de contar con elementos de medición más certeros respecto a una CGV ha implicado, en la bibliografía, el continuo desarrollo de

indicadores que puedan evaluar con mayor exactitud este fenómeno; en particular, la forma en la que los países participan en fragmentación productiva. Una de las formas más sencillas de analizar la inserción de un país en una CGV es a través de la idea de que se compra o vende valor agregado. El VAEX mide la participación de un país como demandante de valor agregado contenido en insumos intermedios para poder exportar bienes y servicios, es decir, como importador. Por otro lado, el papel como oferente de valor agregado en sus exportaciones se mide a través del VAIX, y revela qué tanto necesitan otras economías el valor que genera una nación en sus exportaciones, esto puede ser como exportador directo o también de forma indirecta, ya que el valor agregado de un país puede estar contenido en las exportaciones de un tercer país.

El cálculo de estos indicadores básicos se puede obtener mediante la aplicación de la matriz inversa de Leontief. A partir de los elementos de la matriz $T = V(I - A)^{-1}E$ se puede estimar el origen del valor agregado (interno y externo) a nivel de un país-industria. De este planteamiento se derivan indicadores como el de especialización vertical de Hummels, Ishii y Yi (2001), o el VAX ratio de Johnson y Noguera (2012). Sin embargo, esta descomposición no precisa el valor que se contabiliza de forma doble, ni los usos a los que se dedica el valor agregado interno.

Stehrer (2012, 2013) presenta un índice que considera en su metodología de manera simultánea el papel de las exportaciones e importaciones en estos indicadores de comercio internacional para un país específico, considerado como una referencia fija o ancla del análisis, respecto al cual se van a calcular los flujos de comercio (importaciones y exportaciones) en valor agregado. De su contribución, se puede identificar además del VAIX y VAEX, aquel valor que se reimporta o reexporta de forma directa (valor agregado bilateral) e indirecta (valor agregado multilateral). Esto implica una mejora en la precisión respecto a los indicadores obtenidos a través de la aplicación directa de la matriz de Leontief, no obstante, este cálculo se debe realizar necesariamente respecto a un país ancla y no se cuantifica el valor que se contabiliza en repetidas ocasiones.

En esa línea, el trabajo de Wang, Wei y Zhu (2013) es la generalización del análisis de Koopman, Shang-Jin y Zhi (2014) que realiza una descomposición de las exportaciones brutas en diversas fuentes de valor agregado y puede implementar la descomposición de forma bilateral por sector-país. Esta perspectiva permite una mirada mucho más detallada de las estructuras de producción internacional entre todos los países a diferencia de la propuesta del índice de Stehrer, como lo es el análisis de la red global de

intercambio de valor y las respectivas posiciones de los países e industrias dentro de ellas en un mismo marco contable.¹¹ De particular interés es el hecho de que se presentan dieciséis componentes distintos del valor bruto de las exportaciones (ver la tabla “The Definition of the 16 Terms in Equation (18) of the Main Text” en Wang Wei y Zhu, 2013: 61), entre los cuales se puede distinguir las cuatro grandes definiciones planteadas, VAIX, VAEX, RDV y PDC, y que a su vez pueden desagregarse entre bienes finales e intermedios, el uso que se les da en el país destino y si se trata de un importador directo o indirecto. Esto es posible a través del uso de dos matrices de Leontief diferenciadas, una definida como $B = (I-A)^{-1}$ que es una matriz inversa global, dado que A representa la matriz de coeficientes técnicos global que incluye, tanto las transacciones de la economía interna de cada país como aquellas que constituyen las importaciones y exportaciones que realiza. Se presenta además una matriz inversa de Leontief interna $L = (I-A^{ss})^{-1}$, en la que A^{ss} representa únicamente la matriz de transacciones realizadas dentro del país s . En el cuadro 5 se presentan las definiciones asociadas al VAIX que se pueden calcular con esta metodología.

Cuadro 5. Descomposición del valor de las exportaciones

Ecuación	Definición	
1. $(V^s B^{ss})^T \circ Y^{st}$	Valor agregado interno en exportaciones de bienes finales (DVA_FIN)	VAIX (DVA)
2. $(V^s L^{ss})^T \circ A^{st} B^{tt} Y^{tt}$	Valor agregado interno en exportaciones de insumos intermedios, el importador directo los utiliza para producir bienes finales (DVA_INT)	
3. $(V^s L^{ss})^T \circ A^{st} B^{tt} Y^{tt}$	Valor agregado interno en exportaciones de insumos intermedios, el importador directo los utiliza para exportar a un tercer país bienes intermedios, que son utilizados para bienes finales en este último (DVA_INT3_I)	
4. $(V^s L^{ss})^T \circ A^{st} B^{tt} Y^{tt}$	Valor agregado interno en exportaciones de bienes intermedios usados por el importador directo para exportar bienes finales a otros países (DVA_INT3_F)	
5. $(V^s L^{ss})^T \circ A^{st} B^{tt} Y^{tt}$	Valor agregado interno en exportaciones de bienes intermedios usados por el importador directo para producir exportaciones de insumos intermedios a terceros países (DVA_INT3_I2)	

Nota: El símbolo (\circ) indica multiplicación uno a uno. Las siglas entre paréntesis son retomadas del artículo de Wang, Wei y Zhu (2013) y sirven para identificar los resultados del cálculo en R.

Fuente: elaboración propia sobre la base de Wang, Wei y Zhu (2013)

¹¹ En su marco contable también se pueden encontrar además de la descomposición de flujos de comercio, indicadores de producción en la CGV y de posición o longitud (Wang et al., 2017, 2017a).

Esto permite identificar el valor agregado generado por las exportaciones de bienes finales o de comercio tradicional, exportaciones de bienes intermedios (relacionadas con la fragmentación productiva) que adicionalmente pueden separarse entre el uso que le da el importador directo: si es para producir y reexportar de nueva cuenta bienes intermedios (en cuyo caso estaríamos en presencia de cadenas complejas) o para producir bienes finales (cadena simple). Una ventaja adicional de esta metodología es que los autores han calculado y publicado los indicadores para las matrices globales de insumo producto más utilizadas, aunque no está incluida la correspondiente a la matriz ADB-MRIO-LAC por su reciente publicación.¹² Aun así existe una función del programa R, mediante la cual se pueden calcular dieciséis de los conceptos señalados utilizando la matriz global de elección. Se trata del paquete “decompr” desarrollado por Quast y Kummritz (2015). En el anexo 2 se presentan los pasos necesarios para obtener la descomposición e integrar los resultados según la clasificación sectorial adoptada.

Esta matriz se eligió para este ejercicio debido a que contiene dieciocho países latinoamericanos integrados en la matriz global de insumo producto; estos son: la Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Ecuador, México, Perú, Paraguay, Uruguay, Venezuela y la región del resto de Latinoamérica (ROLAC), que agrega a Costa Rica, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Panamá y República Dominicana, para el año 2011. En el caso de otras matrices interpaíses, como la World Input-Output Database (WIOD), solo se incluye a México y Brasil, o en las tablas Inter-Country Input-Output (ICIO), proporcionadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico, únicamente se incorpora a la Argentina, Brasil, Chile, Costa Rica, México y Perú, de ahí que la publicación de la ADB-MRIO-LAC sea un gran avance para el análisis de este fenómeno en la región, en particular por el número de sectores disponibles, aunque la disponibilidad de años sigue siendo limitada, en este caso solo hay información para 2011.

¹² Ver: University of International Business and Economics (UIBE) (14 de octubre de 2021). “UIBE GVC Indicators”. China: UIBE. Disponible en: rigvc.uibe.edu.cn/english/D_E/database_database/index.htm.

Clasificación sectorial por contenido tecnológico

Un trabajo seminal dentro del rubro de clasificación de las exportaciones es el de Lall (2000). En este artículo, Lall explica las implicaciones para el crecimiento económico y el desarrollo industrial interno de países emergentes que tiene la estructura exportadora en función del contenido tecnológico. En ese sentido, plantea que las estructuras con mayor intensidad tecnológica tienen mejores posibilidades de crecimiento económico dado que el tipo de productos que se exportan suelen ser más dinámicos, con una mayor elasticidad ingreso y con mayor grado de sustitución de productos obsoletos o viejos. También, son importantes porque suelen incorporar una mayor cantidad de aprendizaje y posibilidad de implementar nuevos cambios tecnológicos y esparcir efectos de este tipo al resto de la economía. Esta clasificación fue realizada a nivel de producto y, de hecho, en la actualidad sigue siendo frecuentemente utilizada para clasificar datos de comercio.

Sin embargo, dado que las matrices interpaíses están construidas bajo una clasificación sectorial (en nuestro caso CIIU revisión 3.1), el nivel de desagregación normalmente es el principal problema que se enfrenta en términos de una clasificación de contenido tecnológico, tanto para construir la clasificación como para aplicarla a un caso concreto. En términos de la construcción en un sector o industria se pueden encontrar diversos productos que incorporen distintos niveles de tecnología e innovación, además, es muy probable que el proceso de producción en distintas ubicaciones geográficas –o países como es nuestro caso– no necesariamente involucre el mismo nivel de tecnología. Por otro lado, dependiendo del número de sectores en cada matriz es que se podrá utilizar, de forma directa o no, una clasificación particular.

Adicionalmente, se debe considerar que el nivel de agregación no es la única dificultad. Seleccionar los criterios para identificar el contenido tecnológico no es sencillo. La innovación es un concepto mucho más amplio que solo el gasto en I+D, por ello la proporción de dicho gasto en el producto o en el valor agregado, criterio comúnmente utilizado en este tipo de clasificaciones debido a las limitaciones de información, no es lo más adecuado. La falta de datos particularmente se agudiza en el caso de economías en desarrollo, de hecho, la clasificación sectorial por contenido tecnológico de la OCDE (2011) la clasificación más común involucra únicamente economías avanzadas y el sector de manufactura. Solo hasta la actualización de 2016 para la CIIU revisión 4 (Galindo-Rueda y

Verger, 2016) se incorpora a México en ese cálculo y se adicionan sectores de servicios.

Para el presente análisis, adoptamos la clasificación de la OCDE correspondiente al CIIU revisión 3 que se presenta en el cuadro 6.

Cuadro 6. Sectores de la matriz ADB-MRIO-LAC, según el contenido tecnológico

Contenido tecnológico	Sectores en ADB-MRIO-LAC	
Baja tecnología	c3, c4, c5, c6, c7, c16	Alimentos, bebidas y tabaco; textiles, confecciones y calzado; madera, celulosa y papel e impresiones; otras manufacturas
Media-baja tecnología	c8, c10, c11, c12.1, c12.2	Petroquímica y combustibles; caucho y plásticos; minerales no metálicos; metales básicos; productos de metal
Media-alta tecnología	c9, c13, c14.2, c15.1, c15.2	Química y farmacia; maquinaria y equipo, maquinaria eléctrica y otros aparatos; automotores y sus piezas, otro equipo de transporte
Alta	c14.1	Productos de informática, electrónica y óptica

En el análisis de insumo-producto se debe realizar el cálculo de indicadores considerando la máxima desagregación posible y, una vez realizados, se puede realizar otra agrupación de los datos de acuerdo con la clasificación deseada. En caso contrario, los resultados de la metodología se verían afectados dado que las matrices *B* y *L* de Leontief serían distintas si se trabaja con menos o más sectores para el cálculo de los indicadores.

Resultados y discusión

Se calculó el VAIX, RDV, VAEX y PDC para los países de Latinoamérica disponibles en la matriz ADB-MRIO-LAC. Se presentan los resultados para las exportaciones manufactureras en el cuadro 7. En general, los países tienen un bajo coeficiente de VAEX menor al 25%, excepto para México y el ROLAC, esto indica que el nivel de participación en CGV de las economías latinoamericanas es relativamente bajo. En contraste, las economías de la región presentan un alto VAIX, resalta el caso de Venezuela que es cercano a un 86%, particularmente en el caso del VAIX relativo a cadenas simples –el cual es mayor que el de cadenas complejas–, lo que indicaría entonces que, si bien sí participan en la

fragmentación productiva, lo hacen a través de insumos intermedios de bajo procesamiento.

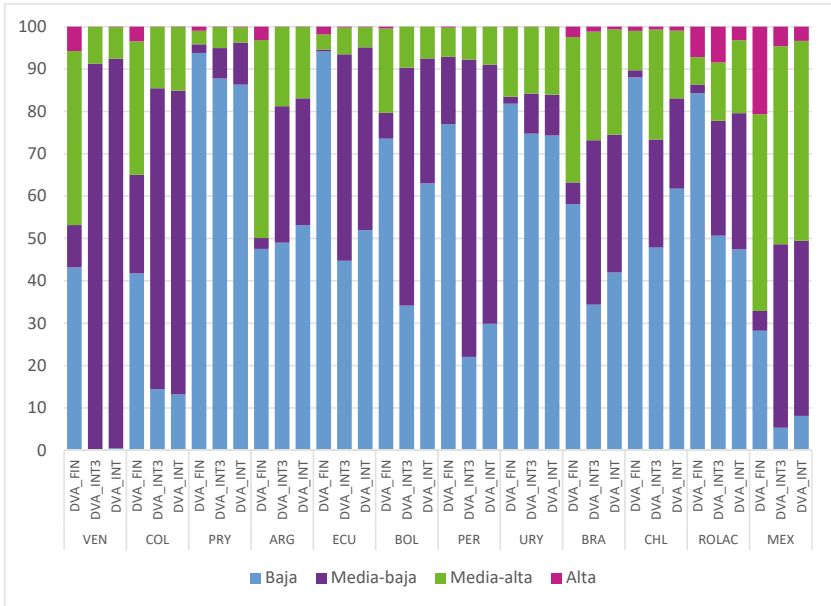
Cuadro 7. Descomposición del valor de las exportaciones manufactureras 2011 (% de las exportaciones)

País	VAEX	VAIX				RVD	PDC
		Total	VAIX bienes finales (DVA_FIN)	VAIX intermedios complejas (DVA_INT3)	VAIX intermedios simples (DVA_INT)		
VEN	9,14	85,89	1,89	28,74	55,26	0,2	4,76
COL	12,83	84,05	32,25	15,59	36,21	0,16	2,97
PRY	13,53	82,92	33,2	15,4	34,32	0,04	3,51
ARG	13,97	82,85	28,63	17,03	37,19	0,3	2,87
ECU	15,64	82,32	56,66	5,52	20,14	0,04	2,01
BOL	12,88	81,06	11,18	21,05	48,83	0,04	6,03
PER	14,72	81,02	30,53	17,62	32,87	0,08	4,17
URY	19,11	76,77	37,46	11,02	28,29	0,04	4,08
BRA	20,84	71,64	26,56	16,01	29,07	1,01	6,51
CHL	24,12	69,2	31,82	11,64	25,73	0,09	6,59
ROLAC	28,07	67,36	40,37	7,9	19,08	0,11	4,47
MÉX	37,48	57,66	30,43	7	20,23	0,38	4,48

Fuente: elaboración propia con base en Quast y Kummritz (2015) y CEPAL (2020)

Por otro lado, respecto al análisis del VAIX por contenido tecnológico, en el gráfico 2 se presenta el relativo a bienes finales, bienes intermedios de cadenas complejas y cadenas simples para la manufactura. El primer hecho que destaca es que en general el valor interno que se genera pertenece a la categoría de medio y medio bajo contenido tecnológico, salvo en el caso de México, en Venezuela, la Argentina y Brasil, para bienes finales, estas categorías representan arriba del 70% del total generado. Por ende, la porción relativa a media-alta y alta incorporación de tecnología es pequeña en la mayoría de los casos. De nueva cuenta la situación de México difiere al contar con una proporción de VAIX en sus tres categorías de más de 40% para la tecnología media-alta y en el caso de bienes finales el 20% corresponde a tecnología alta, mientras que en el resto de las economías es casi inexistente.

Gráfico 2. Clasificación del VAIX de las manufacturas, según el contenido tecnológico, 2011



Fuente: elaboración propia con base en Quast y Kummritz (2015) y CEPAL (2020)

El análisis de la inserción de los países que integran Latinoamérica con información obtenida a partir de la nueva matriz global ADB-MRIO-LAC permite evaluar el avance de este fenómeno en nuestras economías. Particularmente, es importante, dado que frecuentemente se recomienda intensificar esta vía de comercio, en el entendido que permitiría ampliar la sofisticación de las exportaciones, vincular las economías a través de los sectores más dinámicos y potenciar la transferencia de tecnología. Sin embargo, de los indicadores calculados, en específico, de aquellos relacionados con la generación de VAIX en los sectores de alta y media-alta tecnología, se observa una baja participación de la región en estos sectores. De ahí que los esfuerzos por contar con matrices de insumo producto actualizadas pueda incidir directamente en las decisiones relacionadas con política pública, en este caso sobre el potencial de generar crecimiento de las exportaciones según sectores clasificados por su contenido tecnológico.

Recomendaciones sobre el uso de esta metodología

El enfoque de IP y su metodología tienen una base contable. Toda aplicación parte de una porción del SCN de un país o interpaíses. La base de datos que se usará tendrá esa fuente. La revisión acuciosa de definiciones de las variables del SCN pertinente y las formas de compilar y tratar la información contable para medirlas es imprescindible.

La especificación del modelo de IP se basa en conceptos, postulados y teoremas del álgebra matricial y, en sus aplicaciones más refinadas, del conjunto del álgebra lineal. No se requieren conocimientos refinados de dichas matemáticas para hacer aplicaciones. Sin embargo, no sobran algunas nociones básicas de dichas ramas.

Las preguntas sobre el papel de la CTI en los procesos que representa el modelo de IP tienen un enorme potencial de respuestas mediante la metodología que de él emana. Las revistas especializadas, en primer término, *Economic Systems Research*, la revista trimestral de la International Input-Output Association, lo atestiguan. También hay que destacar las revistas *Journal of Economic Structures* y *Structural Change and Economic Dynamics*. Cuando el planteo está relacionado con las actividades de CTI, conviene iniciar las búsquedas concernientes a las aplicaciones mediante técnicas de IP en dichas publicaciones.

Las técnicas que comprende la metodología están fuertemente vinculadas con la contabilidad nacional y social, la estadística económica de los índices de precios y de cantidades, las teorías de grafos y de redes y las aplicaciones económicas de las ciencias de la complejidad. Por ello, también es importante, cuando se planea aplicar alguna técnica de IP, no perder de vista las relaciones con estas otras ramas de las ciencias contables, matemáticas e interdisciplinarias.

Bibliografía

- Abdal, A.; Torres-Freire, C. E. y Callil, V. (2016). "Rethinking sectoral typologies: A classification of activity according to knowledge and technological intensity". *RAI Revista de Administração e Inovação*, vol. 13, n° 4, pp. 232-241.
- Alves-Passoni, P. (2019). *Deindustrialization and regressive specialization in the Brazilian economy between 2000 and 2014: a critical assessment*

based on the input-output analysis. Tesis de doctorado. Instituto de Economía, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. DOI: 10.13140/RG.2.2.19286.06725.

- Aroche-Reyes, F. (1996). "Important coefficients and structural change: a multi-layer approach". *Economic Systems Research*, vol. 8, n° 3, pp. 235-246.
- _____. (2003). "A qualitative input output method to find basic economic structures". *Papers in Regional Science*, vol. 82, n° 4, pp. 581-590.
- Arto Olaizola, I.; Rueda Cantuche, J.; Amores, A.; Dietzenbacher, E.; Sousa, N.; Markandya, A. y Montinari, L. (2015). *EU Exports to the World: Effects on Employment and Income*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- Balk, B. M. y Reich, U. P. (2008). "Additivity of national accounts reconsidered". *Journal of Economic and Social Measurement*, vol. 33, n° 2-3, pp. 165-178.
- Bamber, P. y Fernandez-Stark, K. (2015). "Inclusive value chain interventions in the high-value agrifood sector in Latin America". En Hernández, R., Martínez-Piva, J. M. y Mulder, N. (eds.), *Global Value Chains and World Trade*, pp.137-162. Santiago de Chile: Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC).
- Blancas Neria, A. y Márquez Mendoza, M. A. (2018). "Spreading High-tech Industry Innovations in Colombia and Mexico. A Qualitative Input-Output Analysis". *Revista de Relaciones Internacionales, Estrategia y Seguridad*, vol. 13, n° 2, pp. 273-296.
- Bon, R. (1989). "Qualitative input-output analysis". En Miller, R. E., Polenske, K. R. y Rose, A. Z. (eds.), *Frontiers in Input-Output Analysis*, pp. 222-231. Oxford: Oxford University Press.
- Brachert, M., Brautzsch, H. U. y Titze, M. (2016). "Mapping potentials for input-output-based innovation flows in industrial clusters - an application to Germany". *Economic Systems Research*, vol. 28, n° 4, pp. 450-466.
- Carter, A. (1970). *Structural Change in the American Economy*. Cambridge, MA: Harvard University Press.

- Cassini, L. y Robert, V. (2017). “Oportunidad versus complejidad en los procesos de aprendizaje: criterios para clasificación de sectores según los atributos de los regímenes sectoriales de innovación”. En CEPAL, *La Encuesta Nacional de Dinámica de Empleo e Innovación (ENDEI) como herramienta de análisis*, pp. 119-144. Santiago de Chile: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2020). “Matriz global de insumo producto ADB-MRIO-LAC”. Santiago de Chile: CELAC.
- De Haan, M. (2001). “A Structural Decomposition Analysis of Pollution in the Netherlands”. *Economic System Research*, vol. 13, n° 2, pp. 181-196.
- de Mesnard, L. (1995). “A note on qualitative input-output analysis”. *Economic Systems Research*, vol. 7, n° 4, pp. 439-448.
- Dietzenbacher, E. y Hoen, A. R. (1998). “Deflation of input output tables from the user’s point of view: A heuristic approach”. *Review of Income and Wealth*, vol. 44, n° 1, pp. 111-122.
- Dietzenbacher, E. y Los, B. (1998). “Structural decomposition techniques: sense and sensitivity”. *Economic Systems Research*, vol. 10, n° 4, pp. 307-324.
- _____ (2002). “Externalities of R&D expenditures”. *Economic Systems Research*, vol. 14, n° 4, pp. 407-425.
- Dosi, G., Pavitt, K. y Soete, L. (1990). *The Economics of Technical Change and International Trade*. New York: New York University Press.
- Dosi, G., Riccio, F. y Virgillito, M. E. (2021). “Varieties of deindustrialization and patterns of diversification: why microchips are not potato chips”. *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 57, pp. 182-202.
- Durand, C. y Milberg, W. (2020). “Intellectual monopoly in global value chains”. *Review of International Political Economy*, vol. 27, n° 2, pp. 404-429.
- Düring, A. y Schnabel, H. (2000). “Imputed interindustry technology flows-a comparative SMFA analysis”. *Economic Systems Research*, vol. 12, n° 3, pp. 363-375.

- Galindo-Rueda, F. y Verger, F. (2016). "OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity". *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, n° 2016/04. París: OECD Publications. DOI: <https://doi.org/10.1787/5jlv73sqqp8r-en>.
- Gonçalves, E. y Borges Ferreira Neto, A. (2016). "Flujos intersectoriales de conocimientos tecnológicos en países emergentes: un análisis de insumo-producto". *Revista CEPAL*, n° 118, pp. 147-164.
- Hatzichronoglou, T. (1996). "Globalisation and Competitiveness: Relevant Indicators". *OECD Science, Technology and Industry Working Papers*, n° 1996/05. París: OECD Publishing. DOI: <https://doi.org/10.1787/885511061376>.
- Hausmann, R., Hwang, J. y Rodrik, D. (2007). "What you export matters". *Journal of Economic Growth*, vol. 12, pp. 1-25.
- Hirschman, A. O. (1958). *The strategy of economic development*. New Haven: Yale University Press.
- Holub, H. W. y Schnabl, H. (1979). "Qualitative und quantitative Aspekte der Input-Output Analyse". *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, n° 135, pp. 657-678.
- _____ (1985). "Qualitative input-output analysis and structural information". *Economic Modelling*, vol. 2, n° 1, pp. 67-73.
- Hummels, D., Ishii, J. y Yi, K.-M. (2001). "The nature and growth of vertical specialization in world trade". *Journal of International Economics*, vol. 54, n° 1, pp. 75-96.
- Johnson, D. y Evenson, R. E. (1997). "Innovation and invention in Canada". *Economic Systems Research*, vol. 9, n° 2, pp. 177-192.
- Johnson, R. C. y Noguera, G. (2012). "Accounting for Intermediates: Production Sharing and Trade in Value Added". *Journal of International Economics*, vol. 86, n° 2, pp. 224-236.
- Keller, W. (1997). "Technology Flows Between Industries: Identification and Productivity Effects". *Economic Systems Research*, vol. 9, n° 2, pp. 213-219, DOI: 10.1080/09535319700000015.
- Koopman, R., Shang-Jin, W. y Zhi, W. (2014). "Tracing Value-Added and Double Counting in Gross Exports". *American Economic Review*, vol. 104, n° 2, pp. 459-94.

- Kupfer, D. (1998). *Um referencial para a análise da reestruturação da Indústria brasileira. Trajetórias de reestruturação da indústria brasileira após a abertura e a estabilização*. Tesis de doctorado. Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.
- Lábaj, M. (2011). “Qualitative input-output analysis and national innovation system in Slovakia”. *International Journal of Transitions and Innovation Systems*, vol. 1, n° 2, pp. 105-116.
- Lall, S. (2000). “The Technological Structure and Performance of Developing Country Manufactured Exports, 1985-98”. *Oxford Development Studies*, vol. 28, n° 3.
- _____. (2001). “Competitiveness indices and developing countries: an economic evaluation of the global competitiveness report”. *World Development*, vol. 29, n° 9, pp. 1501-1525.
- Lall, S., Weiss, J. y Zhang, J. (2005). “The ‘Sophistication’ of Exports: A New Measure of Product Characteristics”. *QEH Working Paper Series*, n° 123. Oxford: University of Oxford.
- Leiponen, A. y Drejer, I. (2007). “What exactly are technological regimes? Intra-industry heterogeneity in the organization of innovation activities”. *Research Policy*, vol. 36, n° 8, pp. 1221-1238.
- Leontief, W. (1936). “Quantitative Input and Output Relations in the Economic System of the United States”. *The Review of Economic and Statistics*, vol. 18, pp. 105-125.
- _____. (1941). *The Structure of American Economy 1919-1939*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- _____. (1985). “Input-output analysis”. *Input-output economics*. Oxford: Oxford University Press.
- Malerba, F. (2004). *Sectoral Systems of Innovation: Concepts, Issues and Analyses of Six Major Sectors in Europe*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Mansfield, E. (1971). *Technological Change. An Introduction to a Vital Area of Modern Economics*. Nueva York: W.W. Norton & Company, Inc.
- Marín, A. y Petralia, S. (2018). “Sources and contexts of inter-industry differences in technological opportunities: the cases of Argentina and Brazil”. *Innovation and Development*, vol. 8, n° 1, pp. 29-57.

- Miller, R. E. y Blair, P. D. (2009). *Input-output analysis: foundations and extensions*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Muñiz, A. S. G.; Raya, A. M. y Carvajal, C. R. (2010). "Spanish and European innovation diffusion: a structural hole approach in the input-output field". *The Annals of Regional Science*, vol. 44, n° 1, pp. 147-165.
- Murillo, B; Puchet, M. y Fujii, G. (2019). "Actualización de la matriz total de insumo-producto de México del 2003. Aplicación de los métodos de doble deflación y RAS". *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, vol. 10, n° 3, pp. 60-79.
- Murillo-Villanueva, B. (2018). *El desempleo tecnológico en la industria manufacturera en México, 2003-2012: el efecto del cambio técnico en el empleo*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Disponible: <https://repositorio.unam.mx/contenidos/95080>.
- Neves, J. P. (2013). *Mudança Estrutural na Economia Brasileira entre os anos 2000 e 2008: uma Análise de Decomposição Estrutural*. Tesis de maestría. Instituto de Economía, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Río de Janeiro. Disponible en: <http://objdig.ufrj.br/43/dissert/Jos%C3%A9PedroBastosNeves.pdf>.
- Nomaler, Ö. y Verspagen, B. (2008). "Knowledge flows, patent citations and the impact of science on technology". *Economic Systems Research*, vol. 20, n° 4, pp. 339-366.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2011). "ISIC Rev. 3 technology intensity definition. Classification of manufacturing industries into categories based on R&D intensities". París: OECD Publishing. Disponible en <https://www.oecd.org/sti/ind/48350231.pdf>.
- Pavitt, K. (1984). "Sectoral patterns of technical change: towards a taxonomy and a theory". *Research policy*, vol. 13, n° 6, pp. 343-373.
- Quast, B. A. y Kummritz, V. (2015). "Decompr: Global Value Chain Decomposition In R^a". *CTEI Working Papers series*. Ginebra: Centre for Trade and Economic Integration (CTEI).
- Queiroz Silva, F. (2018). *Fluxo de tecnologia intersetorial e produtividade no Brasil*. Tesis de doctorado. Instituto de Economía, Universidade

Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. Disponible en: <http://objdig.ufrj.br/43/teses/FelipeQueirozSilva.pdf>.

- Scherer, F. M. (1982). "Inter-industry technology flows and productivity growth". *The Review of Economics and Statistics*, vol. 64, n° 4, pp. 627-634.
- Schnabl, H. (1994). "The evolution of production structures, analyzed by a multi-layer procedure". *Economic Systems Research*, vol. 6, n° 1, pp. 51-68.
- Schnabl, H. y Holub, H. W. (1979). "Qualitative und quantitative Aspekte der Input-Output Analyse". *Zeitschrift für die gesamte Staatswissenschaft*, no 135, pp. 657-678.
- Schuschny, A. R. (2005). *Tópicos sobre el modelo de insumo-producto: teoría y aplicaciones*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Srholec, M. y Verspagen, B. (2012). "The Voyage of the Beagle into innovation: Explorations on heterogeneity, selection, and sectors". *Industrial and Corporate Change*, vol. 21, n° 5, pp. 1221-1253. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dts026>.
- Stehrer, R. (2012). "Trade in value added and the value added in trade". *wiiw Working Papers*, n° 81. Viena: wiiw.
- _____ (2013). "Accounting Relations in Bilateral Value-Added Trade". *wiiw Working Papers*, n° 101. Viena: Wiener Institut für Internationale Wirtschaftsvergleiche (wiiw).
- United Nations Statistical Commission (2009). *System of National Accounts 2008*. New York: UN Publications. Disponible en: <https://unsstats.un.org/unsd/nationalaccount/docs/SNA2008.pdf>.
- Vaccara, B. (1970). "Changes over time in input-output coefficients for the United States". En Bródy, A. y Carter, A. P. (eds.), *Applications of input-output analysis*, pp. 238-260. Países Bajos: North-Holland.
- Verspagen, B. (1997). "Estimating international technology spillovers using technology flow matrices". *Review of World Economics*, vol. 133, n° 2, pp. 226-248.
- Wang, Z., Wei, S.-J. y Zhu, K. (2013). "Quantifying international production sharing at the bilateral and sector levels". *NBER Working Paper 19677*. Cambridge, MA: National Bureau of Economic Research (NBER).

Wang, Z., Wei, S.-J., Yu, X. y Zhu, K. (2017). “Measures of Participation in Global Value Chains and Global Business Cycles”. *NBER Working Paper 23222*. Cambridge, MA: NBER.

_____ (2017a). “Characterizing Global Value Chains: Production Length and Upstreamness”. *NBER Working Paper 23261*. Cambridge, MA: NBER.

Anexo 1. Correspondencia entre subsectores manufactureros y clasificación del SCIAN

Número	SCIAN	Descripción
14	311	Industria alimentaria
15	312	Industria de las bebidas y del tabaco
16	313	Fabricación de insumos textiles y acabado de textiles
17	314	Fabricación de productos textiles, excepto prendas de vestir
18	315	Fabricación de prendas de vestir
19	316	Fabricación de productos de cuero, piel y materiales sucedáneos
20	321	Industria de la madera
21	322	Industria del papel
22	323	Impresión e industrias conexas
23	324	Fabricación de productos derivados del petróleo y del carbón
24	325	Industria química
25	326	Industria del plástico y del hule
26	327	Fabricación de productos a base de minerales no metálicos
27	331	Industrias metálicas básicas
28	332	Fabricación de productos metálicos
29	333	Fabricación de maquinaria y equipo
30	334	Fabricación de equipo de computación, comunicación, medición y otros
31	335	Fabricación de accesorios, aparatos eléctricos y de generación eléctrica
32	336	Fabricación de equipo de transporte
33	337	Fabricación de muebles, colchones y persianas
34	339	Otras industrias manufactureras

Fuente: elaboración propia

Anexo 2. Uso de la rutina *decompr* para análisis de descomposición del VAX

Se debe instalar el paquete y activarlo.

`library(decompr)`

Se carga el archivo que contenga la matriz global insumo producto ADB-ECLAC 2011.

```
LAC<-read.csv("LAC 2011.csv")
```

Antes de usar la función se deben crear los objetos “x” = la matriz de transacciones intermedias, “y” = el vector de demanda final, “i” = el vector que indique las industrias o sectores, “k” = los nombres de los países incluidos, “o” = el vector de producción bruta, “V” = el vector de valor añadido.

```
x<- as.matrix (LAC[1:2774,4:2777])
y<-as.matrix(LAC[1:2774,2778:3142] )
i <-c("c1" "c2" "c3" "c4" "c5" "c6" "c7" "c8" "c9" "c10" "c11" "c12" "c13" "c14"
      "c15" "c16" "c17" "c18" "c19" "c20" "c21" "c22" "c23" "c24" "c25" "c26"
      "c27" "c28" "c29" "c30" "c31" "c32" "c33" "c34" "c35" "c36" "c37" "c38")
k <-c("AUS","AUT","BEL","BGR","BRA","CAN","SWI","PRC","CYP","C
      ZE","GER","DEN","SPA",
      "EST","FIN","FRA","UKG","GRC","HRV","HUN","INO","IND","IRE","IT
      A","JPN","KOR","LTU","LUX","LVA","MEX","MLT","NET","NOR","PO
      L","POR","ROM","RUS","SVK","SVN","SWE","TUR","TAP","USA","BA
      N","MAL","PHI","THA","VIE","KAZ","MON","SRI","PAK","FIJ","LAO
      ","BRU","BHU","KGZ","CAM","MLD","NEP","SIN","HKG","ARG","BO
      L","CHL","COL","ECU","PAR","PER","URY","VEN","RoLAC","RoW")
o<-LAC[1:2774,3143:3143]
V <-LAC[2780:2780,4:2777]
decompLAC <- decomp(x = x, y = y, k = k, i = i, o = o, V = V, method =
      "wwz", verbose = TRUE)
```

Capítulo 9

Cointegración para el estudio de la evolución de los sistemas de innovación

José Miguel Natera, José Ignacio Ponce

Introducción

Existe una dimensión crucial que revela cómo los países han utilizado el conocimiento en su camino hacia el desarrollo: el *tiempo*. El desarrollo solo puede entenderse considerando el efecto del tiempo en el proceso evolutivo de las sociedades. Esta es la principal motivación para presentar este capítulo en el que se abordará un método que utiliza el tiempo como una dimensión estructural de los sistemas de innovación: la cointegración.

La literatura sobre innovación y desarrollo económico es extensa. En el caso de la aplicación del método de cointegración dos corrientes han tenido una gran influencia. Primero, el marco de los sistemas de innovación (Freeman, 1995; Lundvall *et al.*, 2002) ha servido como el enfoque principal para estudiar la relación entre innovación y desarrollo. Al aplicar una perspectiva sistémica a la innovación, hemos podido incluir gran parte de la complejidad que caracteriza al desarrollo económico. La otra ha sido el enfoque de capacidades, introducido principalmente por Abramovitz (1986) y Lall (1992). Ambas ramas son los hitos que han guiado estos análisis empíricos, en los que se aplica un enfoque multidimensional, se consideran las condiciones institucionales y se evalúa el proceso acumulativo de construcción de capacidades en el tiempo.

La innovación siempre se ha caracterizado como un proceso no estacionario (Schumpeter, 1934; Dosi, 1982; Pérez, 1983; Metcalfe y Ramlogan,

2008). Sin embargo, los estudios empíricos no siempre han acompañado completamente este argumento. Gran parte del trabajo aplicado presenta análisis comparativos estáticos que pueden ser miopes de patrones y cambios estructurales. El objetivo de este capítulo es contribuir a la literatura cerrando esta brecha entre la teoría y las aplicaciones empíricas cuantitativas: se utilizan series de tiempo y distintas versiones del método de cointegración para evaluar la dinámica de la innovación y sus vínculos con el crecimiento y el desarrollo económicos.

El método de cointegración se enfoca en analizar las relaciones entre series de tiempo no estacionarias, observando tanto su relación de equilibrio a largo plazo como el proceso de ajuste a corto plazo (Engle y Granger, 1987). Más precisamente, si dos o más variables están integradas en el mismo orden (por ejemplo, ambas son series $I(1)$), podría existir una combinación lineal de ellas cuyos residuos son estacionarios; en otras palabras, las dos series no son estacionarias, pero existe una (o más) combinación lineal de ellas que sí tiene características estacionarias. El hecho de que la combinación de variables sea estacionaria es evidencia de que hay un movimiento conjunto de las variables, que se mueven compartiendo procesos que las vinculan, es decir, que están cointegradas. Si las variables tienen una tendencia temporal común, es razonable investigar la hipótesis de coevolución en el tiempo, dada su posible vinculación por alguna relación estructural a largo plazo.

En este capítulo se ofrece una visión panorámica de las posibilidades de aplicación del método de cointegración para el análisis de la evolución de los sistemas nacionales de innovación (SNI). En el segundo apartado de este capítulo se hace una descripción del método, detallando los pasos generales a seguir para su aplicación. En el tercer apartado se presenta una reflexión sobre los datos necesarios y plantea una solución alternativa para generar datos completos y continuos (necesarios en el análisis de procesos en el tiempo). En el cuarto apartado se detallan tres posibles versiones de aplicación del método: análisis de regresiones de cointegración, cointegración en series temporales y cointegración en panel. Finalmente, en el quinto apartado se presenta una serie de reflexiones finales sobre su uso y posibles extensiones para otros análisis vinculados con los procesos de evolución de los SNI.

Descripción del método: características principales y pasos a seguir

Durante las últimas dos décadas, ha aumentado el número de análisis econométricos que investigan cuestiones evolutivas. Una de las razones es la disponibilidad de datos: el paso del tiempo ha permitido la recopilación de datos sobre dimensiones clave (como el gasto en actividades de I+D, la producción científica o el personal dedicado a la CTI, por ejemplo), permitiendo el uso de series de tiempo y la econometría de panel. Además, se han desarrollado nuevos métodos para incluir el efecto de eventos precedentes como determinantes de las estructuras y patrones que definen los sistemas económicos. La cointegración es un caso específico de estos métodos: desarrollada principalmente por Johansen (1991, 1995), es útil para descubrir las relaciones entre variables que coevolucionan en el tiempo, como un sistema. Si se confirma la cointegración en un grupo de variables, significa que estas se mueven juntas y contienen una raíz unitaria y que es posible distinguir diferentes relaciones. Por un lado, las relaciones de largo plazo, que son el núcleo del sistema, y, por otro lado, la estructura de corto plazo, que representa cómo reacciona el sistema a los cambios (Hendry y Juselius, 2000; Juselius, 2006). Además, esta metodología no impone fuertes restricciones: está orientada a utilizar la información contenida en los datos para arrojar luz sobre las relaciones sistémicas. Es una alternativa a los enfoques de prueba de modelos rígidos en los que las teorías se confirman o rechazan, y tiene como objetivo iluminar hechos empíricos que podrían ayudar a mejorar los esfuerzos de teorización (Hoover, Johansen y Juselius, 2008; Frydman y Goldberg, 2008; Colander *et al.*, 2009).

Se podría argumentar que el método de cointegración de Johansen plantea la aproximación más completa a la investigación de los procesos de cointegración. Basado en una especificación econométrica de corrección de errores vectoriales (VEC, por sus siglas en inglés), el enfoque ayuda a distinguir entre estructuras de largo y corto plazo. Si especificamos un modelo VEC que incluya variables Y :

$$\Delta Y_t = \Pi Y_{t-1} + (\Gamma_j \Delta Y_{t-j} + v + \eta t + \epsilon_t) \quad t = 1, 2 \dots T \quad (1)$$

En el que Y_t es el vector que contiene las variables del modelo (representando las diferentes esferas del sistema de innovación), es decir, las variables de cada categoría de análisis:

- Π es la matriz que contiene el término de corrección de errores¹ (ECT).
- Γ_i son las matrices relacionadas con los efectos transitorios (parte de la estructura de corto plazo).
- p es el orden de retardo.
- v y ηt son los componentes determinísticos que reflejan si hay efectos permanentes sobre la serie estudiada.
- ε_t son errores distribuidos de forma independiente e idéntica (i.i.d.) con media cero y una varianza finita σ^2 .

El término ECT dentro de la matriz Π comprende toda la información sobre la estructura a largo plazo del sistema. La matriz de Π puede expresarse como:

$$\Pi = \alpha\beta' \quad (2)$$

En la que:

- β es una matriz con las relaciones de cointegración (relaciones de equilibrio a largo plazo).
- α representa el conjunto de efectos de causalidad de Granger a largo plazo, midiendo cómo reaccionan las variables a las desviaciones de la senda de equilibrio a largo plazo (Granger, 1981).

Entonces, el modelo VEC, se trata de un sistema de m ecuaciones, cada una de las cuales modela una determinada variable de serie temporal Y en función de los valores retardados de todas las variables del vector Y , y del término de la perturbación.

Una vez que se ha descrito el modelo de cointegración, a continuación, se describe el proceso para llevar a cabo el análisis de cointegración: en primera instancia, dado que el análisis de cointegración solo puede usarse para estudiar las relaciones entre variables de series de tiempo que tienen el mismo orden de integración, se debe llevar a cabo una batería de *pruebas de raíz unitaria* (las más comunes son Dickey-Fuller

¹ Mide la velocidad de ajuste hacia el equilibrio a largo plazo.

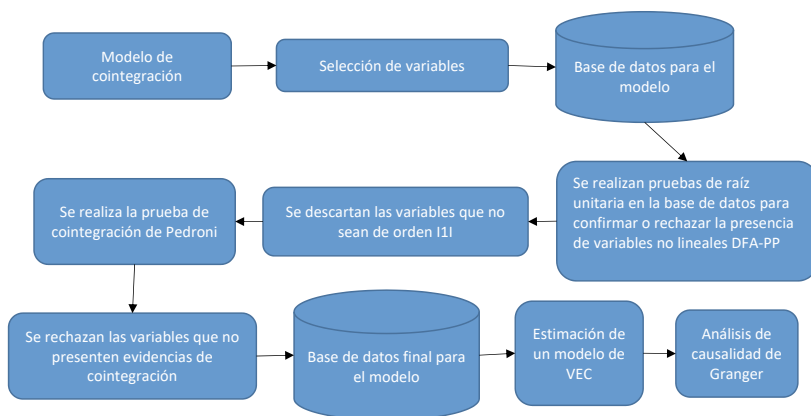
aumentada (ADF) y Phillips-Perroni (PP)), para verificar que las variables a utilizar son estacionarias después de eliminar la tendencia temporal por primeras diferencias, es decir, determinar si son de orden $I(1)$.

En segundo lugar, se investiga la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables por medio de la *prueba de cointegración*, teniendo opciones para series temporales (ADF y PP) y para datos en panel (ADF, PP y Pedroni). Si los resultados de la prueba de cointegración son significativos, esto significa que existe una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables. La naturaleza, la fuerza y la dirección de esta relación a largo plazo se investigan luego en el tercer y cuarto pasos, que representan la fase crucial de nuestro análisis empírico.

El tercer paso es la *estimación del modelo* VEC. Este paso depende de la versión del método que se quiera aplicar, como se describe en el tercer apartado de este capítulo.

El último paso es investigar la *dirección de la causalidad*, es decir, analizar si la relación de largo plazo identificada por el modelo VEC entre cada par de variables Y_t y X_t es un tipo de causalidad unidireccional o bidireccional. Esto se hace utilizando el análisis de causalidad de Granger.

Diagrama 1. Proceso para realizar el análisis de cointegración



Fuente: elaboración propia

Discusión de la información/datos requeridos para la aplicación del método en CTIS

En los estudios a largo plazo, como es el caso del análisis de cointegración, suele presentarse una limitante que reduce los tamaños de las muestras (en este caso países). En la mayoría de las economías en desarrollo e incluso en algunas naciones desarrolladas las bases de datos oficiales presentan faltantes de datos en años anteriores a la década de 1990, principalmente en variables relacionadas con la innovación, lo que limita que los estudios sean comparativos entre los llamados países desarrollados y los que están en vías de serlo (Castellacci y Natera, 2013).

Los investigadores interesados en los análisis empíricos de CTI a menudo han tenido que enfrentarse al compromiso de elegir un grupo seleccionado de países normalmente países de la OCDE y países de ingresos medios y aplicar técnicas de series de tiempo o, alternativamente, aumentar el número de países de la muestra y aplicar métodos cruzados (econometría seccional (estática)). Castellacci y Natera (ibíd.) plantean utilizar el método de imputación múltiple (MIM) de Honaker y King (2010) como una salida a este problema construyendo (estimando) bases de datos específicas para los estudios de CTI.

Actualización de la base de datos CANA al 2015

Castellacci y Natera (2011) elaboraron una base de datos robusta que cumplía con las características necesarias para llevar a cabo el análisis de cointegración para los años 1970-2008 (llamado *cross-country analyses of national systems, growth and development* (CANA)), luego se realizó una actualización al año 2015. La base de datos incluye 234 variables para una muestra de doscientos cuatro países, para construirla se utilizaron bases de datos oficiales como el Banco Mundial, OCDE, UNESCO, UNCTAD, USPTO, ONU, CEPAL, etc.

Con los datos obtenidos de las distintas fuentes, se construye una matriz de datos X , compuesta de p variables dependientes y explicativas (columnas) que se utilizarán en análisis posteriores y n observaciones (filas). Cada elemento de esta matriz, X_{ij} , representa el valor del país i para

la variable j en el tiempo t . La matriz de datos está compuesta de valores observados y valores faltantes u omitidos: $X = \{X_{OBS}; X_{OMI}\}^2$.

El MIM fue realizado por medio del software Amelia II, el software asume que los datos completos, es decir, tanto los observados como los faltantes, son normales multivariados: $X \sim N(\mu; S)$, en la que μ y S representan los parámetros media y varianza. La distribución normal multivariada es a menudo una aproximación rigurosa a la distribución real de los datos. La implicación útil de asumir una distribución normal es que cada variable puede ser descrita como una función lineal de las otras (Castellacci y Natera, 2013).

Con X , se construye una matriz de indicadores de datos faltantes M , de las mismas dimensiones que X , de forma que cada uno de sus elementos m_{ij} tome el valor 1 si es un dato faltante y 0 si es un valor observado. En resumen, M es una matriz que indica si faltan o no datos en una celda (Castellacci y Natera, *ibíd.*).

Dado lo anterior, se analizan las distribuciones de todas las variables de la matriz X para identificar que su distribución fuera normal, en caso contrario se realizaron diferentes transformaciones (aplicar logaritmos, exponenciales o agregar o restar 0,5 a las variables) antes del proceso de imputación múltiple.

De acuerdo con la metodología de Honaker y King (2010), se estiman cinco conjuntos de datos completos para cada una de las dimensiones,³ posteriormente se promediaron estos en uno solo, lo que dio como resultado el conjunto de datos completo o estimado. Se trata de una matriz que contiene información sobre todas las variables pertinentes para todos los países durante el período 1970-2015.

Se realiza una evaluación de cada una de las variables con el fin de analizar la calidad de los datos imputados y para valorar en qué medida la nueva base de datos completa puede considerarse una extensión fiable de las fuentes de datos originales.

2 Para crear una matriz rectangular con el conjunto de datos, se definió una matriz de datos faltantes u omitidos M , de tal manera que cada uno de sus elementos toma el valor 1 si falta y 0 si es un valor observado. Luego aplicamos la transformación simple de la matriz: $X = X * (1 - M)$, de modo que el conjunto de datos de la matriz contendrá ahora 0 en lugar de los valores omitidos (Honaker y King, 2010: 576).

3 La bibliografía sobre imputación múltiple indica la existencia de una relación proporcional entre la eficiencia del método y el número de conjuntos de datos imputados (m) para cualquier proporción dada de datos que falten. Normalmente se recomienda establecer $m = 5$ (como mínimo) para alcanzar un nivel de eficiencia cercano al 90%.

El proceso de evaluación para aceptar o desechar una variable en la nueva serie de datos, consiste en tres criterios:

1. Inspección de los gráficos de densidad en los que se comparan las distribuciones estadísticas (densidades del núcleo) de los conjuntos de datos observados y estimados de todas las variables. Entre más parecidas sean ambas distribuciones, el método de imputación será más fiable.
2. Analizar la confiabilidad de la estimación de datos; esta se basa en la comparación de los coeficientes de correlación para cada una de las variables. En esta evaluación se busca que el conjunto de datos reales y estimados (completo) presenten coeficientes de correlación similares⁴ a los de las fuentes de datos originales.
3. Método de β -convergencia, en el que se realiza una regresión simple para cada indicador X , en el que la variable dependiente es el crecimiento promedio anual de dicho indicador durante el período 1970-2015, mientras que el nivel del mismo indicador al comienzo del período es el único regresor, además de una constante. El modelo de regresión entre países es:

$$(\Delta X_i)/X_i = \tau_A + \beta_A X_{(i,0)} + \varepsilon_i \quad (3)$$

$\Delta X_i/X_i$ es el crecimiento de cada indicador para el país i durante el período, y $X_{(i,0)}$ el registro de su nivel al comienzo del período. El parámetro de interés en estas regresiones es β , que mide la convergencia, o divergencia, para ese indicador (Castellacci y Natera, 2015).

Si la convergencia entre los datos observados y los estimados es similar (en lo referente a la dirección), además del nivel de significancia, ello indica robustez en la calidad de los datos estimados. Si por el contrario la convergencia resulta negativa además de ser significativos indicaría que los datos estimados van en la dirección contraria a los observados.

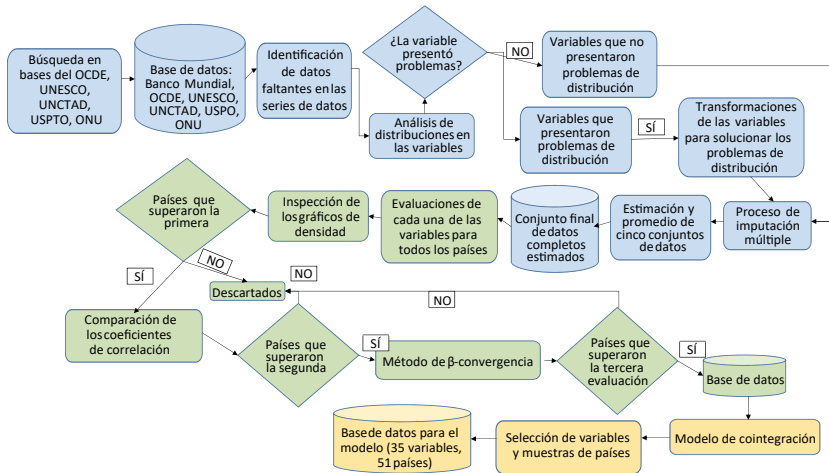
Al final la base de datos CANA consta con ciento cincuenta y cinco variables⁵ aprobadas para la muestra de ciento treinta y cuatro países.

⁴ Se estableció un límite del 15% (en tamaño), además de analizar el signo de acuerdo con los criterios utilizados por Castellacci y Natera (2013).

⁵ Las variables se encuentran divididas en las siguientes categorías: Competitividad económica, Sistema educativo, Crecimiento y desarrollo, Infraestructura, Estructura productiva,

En el diagrama 2 se muestra todo el proceso para elaborar una base de datos con imputación múltiple y realizar el análisis de cointegración.

Diagrama 2. Proceso para método de imputación múltiple



Fuente: Ponce (2020)

Distintas alternativas para aplicar el método de cointegración

Debido a los beneficios que presenta, la metodología de cointegración se ha encontrado muy adecuada para los análisis empíricos de los sistemas de innovación y el desarrollo económico. Ofrece la flexibilidad que necesitan los sistemas de innovación, reconoce la historia como la principal fuente de información y evalúa las relaciones como resultado de efectos mutuos entre diferentes dimensiones. Presentaremos tres enfoques de cointegración: regresiones de cointegración, cointegración en series de tiempo y cointegración en panel.

Regresiones de cointegración: exploración de relaciones de largo plazo

En el modelo de cointegración se pueden identificar dos partes que describen el largo plazo: el vector β , que representa las relaciones estables de largo plazo, y la matriz α , en la que están las reacciones del sistema. En este apartado presentamos la posibilidad de realizar el análisis a la parte estable a largo plazo del modelo (β), utilizando ecuaciones de cointegración. Si bien en esta versión se pierde la posibilidad de realizar el análisis de causalidad, la principal ventaja de implementar esta versión es la posibilidad de incluir un mayor número de variables que podrían representar la complejidad de cada dimensión que constituye el desarrollo del sistema a largo plazo.

El trabajo que utilizaremos como ilustración fue realizado por Ponce (2020), el cual estudia la evolución de los sistemas nacionales de innovación de América Latina y la OCDE para valorar la viabilidad de una estrategia como la bioeconomía basada en conocimiento (BBC) en la región como alternativa de crecimiento económico. Para realizar esto, propone un conjunto de indicadores (treinta y cinco en seis dimensiones de análisis) asociados a la bioeconomía desde la aproximación de los sistemas nacionales de innovación que sean representativos del planteamiento de la BBC para identificar los patrones de crecimiento en los países de América Latina y la OCDE (cincuenta y dos países en la muestra). El modelo analítico para probar la pertinencia de la BBC considera seis categorías de análisis: a) Tecnología, b) Economía, c) Política, d) Social, e) Base de activos naturales y f) Productividad de los recursos ambientales. Al decidir analizar solo las relaciones estables, se relajan las restricciones de grados de libertad que implican la estimación del modelo completo y es posible ampliar la complejidad del modelo, incluyendo los distintos indicadores que describen esas dimensiones e, incluso, combinación de estos. Tomemos, como ejemplo, el caso de la dimensión base de activos naturales (el resto de las especificaciones de los modelos para cada una de las categorías restantes puede ser vista en Ponce (2020)) dos de los modelos a probar serían los siguientes:

$$PIB_t = \beta_i AGRLN_t + v + \eta t + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$PIB_t = \beta_i AGRLN_t + \beta_j AQUPR_t + \beta_k ARLND_t + \beta_l FOARP_t + \beta_m REH2O_t + v + \eta t + \epsilon_t \quad (31)^6$$

Para el conjunto de ecuaciones anteriores, la relación de largo plazo puede probarse de diversas maneras. En primer lugar, para el modelo 1, si $\beta_i \neq 0$, existe una relación estable entre la variable del modelo a largo plazo y el PIB *per cápita*, en caso de ser $\beta_i = 0$, esa variable no presenta cointegración. En segundo lugar, para el modelo (31), si alguna(s) de la(s) $\beta_i = 0$, esa variable(s) no presenta(n) cointegración en esa combinación específica de variables con el PIB *per cápita*.

El análisis de la cointegración, como se ha mencionado, tiene un enfoque sistémico y dado que analizamos solo una parte de ella (las relaciones a largo plazo), para describir el espacio de una manera más detallada, se probaron todos los modelos posibles que se pueden especificar utilizando la combinación de las diferentes variables. Con más precisión, probamos modelos $2^n - 1$ por esfera (en los que n es el número de variables incluidas en cada dimensión), para cada uno de ellos se programaron al menos seis configuraciones diferentes de variables *dummies* para caracterizar los diferentes cambios en la estructura temporal, buscando una mejor estabilidad de estos modelos. En el ejemplo, cada país tuvo, por tanto, 3420 modelos. Se evaluaron todos los modelos, pero no todos generaron resultados consistentes (no fueron significativos al menos al 90% o no presentaron evidencia de cointegración). Sin embargo, a partir de los resultados estadísticamente significativos, se pudo identificar cuál era el patrón más estable para cada variable y seleccionar modelos representativos de ese patrón. De la selección que proviene del total de 174.420 modelos probados, se presentaron resultados para caracterizar el perfil de los países de América Latina y la OCDE.

Los resultados se analizan en tres niveles (ver diagrama 3):

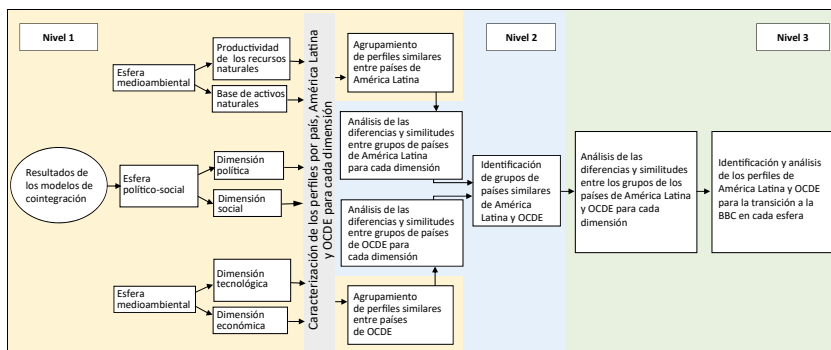
1. En el primer nivel se elaboraron los perfiles de los países, analizando los resultados de los modelos de todas las posibles combinaciones de las variables de cada categoría y considerando únicamente los modelos que fueron significativos (al menos al 90% de confiabilidad) y que presentaron evidencia de cointegración, es decir que cada perfil incluye todas las posibles combinaciones de variables

⁶Superficie forestal (BIFOARP), Superficie agrícola (BIAGRLN), Producción acuícola (BIAQU-PR), Tierra cultivable (BIARLND), Población urbana (BIURPOP).

que presentaron cointegración en cada país de la muestra en un período de cuarenta y cinco años, y cómo estas han influido en el crecimiento económico, medido por el PIB *per cápita*. Este primer nivel de análisis permite identificar perfiles iguales o similares para posteriormente agruparlos y así facilitar el análisis.

2. En un segundo nivel se compararon los diferentes grupos de países que surgen del modelo dentro de cada esfera para identificar las principales diferencias de cada grupo. Este segundo nivel de análisis permite comparar cada grupo de países dentro de cada categoría, la principal diferencia entre ambos niveles es que en el primero el análisis prácticamente es específico para cada país y en el segundo es por el agregado de los perfiles similares en cada categoría.
3. En el tercer nivel de análisis la comparación se realizó entre los dos conjuntos de países en cada categoría y es en el que se pueden identificar y analizar de mejor manera las fortalezas y debilidades de América Latina, en contraste con las de los países de la OCDE.

Diagrama 3. Proceso de análisis de resultados



Fuente. Ponce (2020)

El modelo de cointegración, desarrollado en este ejemplo, indica si durante cuarenta y cinco años las variables seleccionadas presentan cointegración (coevolución) con el PIB *per cápita*, es decir, si las variables que integran cada categoría se mueven de manera coordinada con

el PIB *per cápita* en el período analizado. Esto se logra al analizar todas las posibles combinaciones de las variables y permitir la elaboración de perfiles de países que incluyan los diferentes efectos que pueden tener las variables, ya sea de forma individual o en combinación con las otras variables que integran cada categoría.

Los coeficientes de cada variable en los diferentes perfiles de países pueden presentar cuatro posibles tendencias:

4. Todos los resultados significativos son positivos. Es decir que, durante todo el período, la variable ayudó a que el PIB *per cápita* creciera.
5. Todos los resultados significativos son negativos. Estos resultados indican que la variable no coadyuvó al crecimiento del PIB *per cápita*.
6. Resultados mixtos en su mayoría positivos. Estos resultados indican que la variable, en la mayoría de los modelos que fueron significativos, ayudó a que el PIB *per cápita* creciera.
7. Resultados mixtos en su mayoría negativos. Estos resultados indican que la variable, en la mayoría de los modelos, no coadyuvó al crecimiento del PIB *per cápita*, sino que lo frenó o contuvo.

La elaboración de los perfiles, como ya se ha mencionado, se realizó considerando los resultados de los modelos que presentaron evidencia de cointegración (incluyendo los resultados de la configuración de variables *dummies*). Dado que cada país podía presentar 1524 modelos de la esfera tecnoeconómica (ETE), 180 de la esfera político-social (EPS) y 1716 de la esfera medio ambiental (EMA), se revisaron todos los modelos significativos y se determinó el tipo de perfil para cada variable para cada país, así se puede identificar con qué combinación de variables fueron positivas, negativas o mixtas. Para simplificar el análisis se construyeron perfiles como el presentado en el cuadro 1 seleccionando de tres a cuatro modelos que representen el conjunto total de resultados del país, buscando siempre utilizar los modelos más complejos (mayor número posible de variables con coeficientes de cointegración) para representar el enfoque sistémico del ejercicio realizado.

En el cuadro 1 se muestran los resultados de este proceso, utilizando el caso de Perú,⁷ en el que observamos el resultado de este análisis para las cinco variables de interés. En la última fila del cuadro, se observa el resultado del ejercicio, en el que se encuentran cuatro efectos positivos y uno negativo.

Cuadro 1. Perfil de Perú, dimensión base de activos naturales. Esfera medioambiental

Pais	Modelo	Tierra agrícola	Producción acuicultura	Tierra arable	Área forestal	Agua renovable	Dummies
Perú	12	-	-	3234046**	-	2518357*	D1974
							D1985
							D1991
							D2000
	6	-	0.043713***	1017761**	-	-	D1979
							D1992
							D2001
							D1974
	11	1098.887*	-	-	-	-	D1985
							D1991
							D2000
							D1974
	13	-	-	-	4911.71***	-	D1985
							D1991
							D2000
							D2000
-	P	P	P	N	P		

Notas: (P): Todos los modelos significativos fueron positivos; (N): todos los modelos significativos fueron negativos; (MP): la mayoría de los modelos significativos fueron positivos y (MN): la mayoría de los modelos significativos fueron negativos.

Niveles de significancia al (*)10%, (**) 5% y (***) 1%.

Fuente: Ponce (2020)

Al realizar este ejercicio de forma reiterativa y sistemática, se puede generar un análisis similar para los países de interés, incluso aumentando el nivel de agregación en una estrategia apegada al diagrama 3. El mapa 1 presenta una comparativa de los países de América Latina y la OCDE para las dimensiones Base de Activos Naturales y Productividad de los Recursos Ambientales, de acuerdo con los resultados analizados⁸ en el modelo de cointegración.

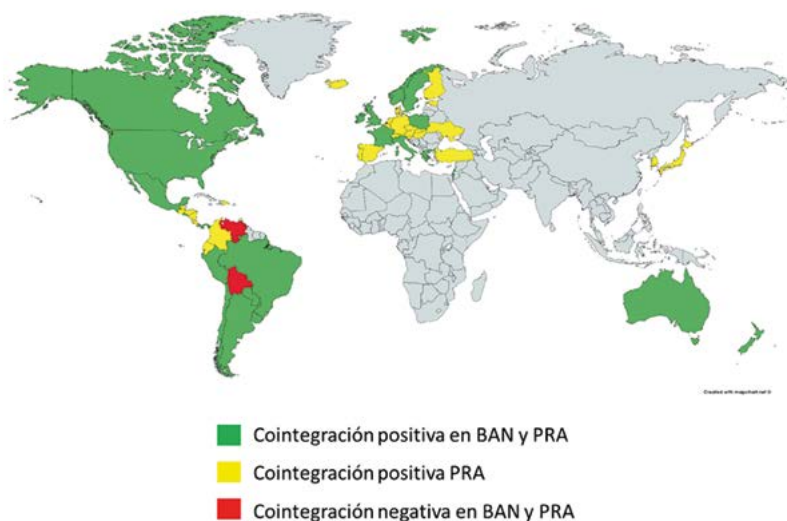
La evidencia generada pone de manifiesto que no en todos los casos las economías ricas en recursos generan crecimiento económico. Economías como la de Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador o Venezuela, con abundancia en recursos naturales, no han experimentado un crecimiento

⁷ El resto de los perfiles se puede ver en el anexo 3 de Ponce (2020).

⁸ Un análisis más detallado de los perfiles de los grupos de cada región se puede ver en las tablas 28 y 29 del anexo 4 en Ponce (2020).

económico sostenible, o aquellas como Grecia, Israel o Irlanda, que con escasez de recursos naturales han experimentado niveles de crecimiento en diferente medida, son ejemplos de esta condición. En este sentido, el aumento de la complejidad en los modelos que se han logrado al restringir el análisis al vector β , ha permitido que se evalúen un número mayor de variables y su relación con el proceso de largo plazo.

Mapa 1. Comparación resultados América Latina y OCDE, Esfera Medio Ambiental



Fuente: Ponce (2020)

Cointegración en series de tiempo: investigando relaciones causales en los cambios de los países

En este apartado se presenta el uso completo del método de cointegración para evaluar relaciones causales, como siempre, evidenciadas en el tiempo, tomando el nivel nacional como unidad de observación. Esta versión del método de cointegración en la que se evalúan los datos de un solo país durante un período determinado es adecuada para considerar el nivel más alto de heterogeneidad en los datos: la evaluación individual permite identificar eventos específicos en cada país (Hendry y Juselius,

2000). Además, este enfoque permite analizar la estructura temporal en un nivel más profundo: una vez que se han establecido las relaciones entre las variables, es posible investigar la capacidad de respuesta del sistema (Juselius, 2006).

Conviene recordar la estructura central del modelo de cointegración, expresada por el término de corrección del error (ECT, por sus siglas en inglés) que comprende toda la información sobre la estructura a largo plazo del sistema. La matriz Π de la ecuación (4) se puede expresar como:

$$\Pi = \alpha\beta' \quad (4)$$

En la que β es una matriz con las relaciones de cointegración (explorada en la sección anterior) que representan las relaciones de equilibrio de largo plazo, mientras que α representa el conjunto de efectos de causalidad de Granger a largo plazo, midiendo cómo reaccionan las variables a las desviaciones de la trayectoria de equilibrio de largo plazo (Granger, 1969). Específicamente, el enfoque de Johansen nos permite determinar dos tipos distintos de causalidad. Por un lado, podemos analizar la causalidad a corto plazo utilizando las matrices Γ_i (ver ecuación 2) para investigar cómo reaccionan las variables a los choques externos a corto plazo (es decir, el efecto de un cambio de variable sobre otro cambio de variable). Por otro lado, para este estudio es más interesante investigar patrones de causalidad a largo plazo, es decir, cómo reaccionan las variables a las desviaciones del equilibrio de largo plazo β . Por lo tanto, nos centraremos en los resultados de la estimación para la matriz α , que representa la forma en que reaccionan las variables cuando un choque exógeno (por ejemplo, un cambio de política) tiende a sacar el sistema de su trayectoria de equilibrio a largo plazo.

Como ilustración de esto, Castellacci y Natera (2016) realizaron un estudio sobre las sendas de desarrollo en América Latina en el período 1970-2010, utilizando un modelo que incluye el PIB *per cápita*; la entrada de inversión extranjera directa (IDE), como medida de *apertura*; la estructura industrial (considerando servicios, manufactura y uso de recursos naturales), como medida de *capacidad de absorción*; y patentes, como proxy de *innovación*. Cuando se operacionaliza este modelo, resulta un sistema de cuatro ecuaciones, en las que el cambio en cada variable es expresado en los siguientes términos: 1) valores autorregresivos (es decir, valores retrasados de la variable de respuesta), 2) valores retrasados de las otras variables, 3) cambios en el tiempo tanto de la variable de respuesta como de las otras variables, 4) caracterizaciones de la estructura temporal (variables *dummies* que representan

cambios transitorios o permanentes en el tiempo) y 5) el error del modelo. En este caso, tomemos la tasa de crecimiento, es decir, el cambio en la variable PIB, la ecuación quedaría expresada de la siguiente manera:

$$\Delta K_t = \alpha_1(K_{t-1} - \theta_1 \varphi_{t-1}) + \alpha_2(K_{t-1} - \theta_2 \delta_{t-1}) + \alpha_3(K_{t-1} - \theta_3 I_{t-1}) + \sum_j (X\Delta\varphi_{t-j}) + \sum_j (W\Delta\delta_{t-j}) + \sum_j (Z\Delta I_{t-j}) + v + \eta t + \varepsilon_t$$

En la que la tasa de crecimiento de un país (ΔK_t) es una función de las tres principales variables del modelo: apertura (φ), capacidad de absorción (δ) e innovación (I_t). El vector [θ_1 ; θ_2 ; θ_3] representa las relaciones de cointegración (equilibrio) a largo plazo y el vector [α_1 ; α_2 ; α_3] concentra la causalidad de largo plazo, pues proporciona una medida del grado en que la tasa de crecimiento de la economía responde a un cambio (de nivel) en la apertura, la estructura industrial o la actividad de innovación (por ejemplo, debido a un cambio de política).

El modelo teórico postula una relación positiva entre cada una de estas variables, por un lado, y la tasa de crecimiento de un país en proceso de recuperación a lo largo de su proceso de dinámica de transición. Al observar el signo y la importancia de los tres coeficientes α_1 , α_2 y α_3 , se puede identificar la estrategia de política específica y la trayectoria de crecimiento seguida por cada economía latinoamericana durante el período 1970-2010. Específicamente, un valor positivo para el coeficiente estimado α_1 (o α_2 , o α_3) para el país i indicaría que un cambio del 1% en la apertura de ese país (o en su estructura industrial, o actividad de innovación) tiene una influencia permanente sobre la tasa de crecimiento de su PIB *per cápita* durante este período de cuatro décadas de su dinámica de transición. Por el contrario, un valor negativo del coeficiente α_1 (o α_2 , o α_3) implicaría que los cambios en la apertura del país (estructura industrial o actividad de innovación) han tenido un efecto corrector del equilibrio, pero no un impacto permanente en la tasa de crecimiento de la economía, a lo largo de su camino de transición.

Tal como se señala en ese trabajo, hay dos aspectos metodológicos más a considerar. Durante el período de análisis, las economías latinoamericanas han experimentado importantes transformaciones económicas y políticas, en una eterna danza entre crisis y estabilidad. Estas rupturas estructurales tienen efectos importantes sobre la dinámica de las series temporales agregadas y, por lo tanto, deben considerarse en el análisis econométrico. La inclusión de variables *dummies* para representar cambios permanentes (choques externos de larga duración) y temporales (choques de menor efecto), con ello se permite controlar la presencia de estos eventos exógenos en el ejercicio

empírico. Con base en esta metodología econométrica, se especificaron tres modelos (uno para cada uno de los tres indicadores de Estructura industrial) para cada país de América Latina. En total, se evaluaron y compararon en ese trabajo cincuenta y cuatro especificaciones de modelos diferentes y seleccionado aquellos que exhiben el patrón más claro.

La metodología empírica sigue los tres pasos necesarios para implementar este método.

Paso 1: Prueba de presencia de raíces unitarias en las variables

Aplicaron pruebas ADF y PP (incluyendo constantes y tendencias en las regresiones) y encontraron que los procesos I(1) están presentes en la serie temporal de las economías latinoamericanas en el período 1970-2010. Los cuadros 2 y 3 informan los resultados de estas pruebas de raíz unitaria.

Cuadro 2. Prueba aumentada Dickey-Fuller de raíces unitarias

País	Datos en nivel				Datos en primera diferencia			
	GDP	Innovación	Estructura industrial	Inversión extranjera directa	GDP	Innovación	Estructura industrial	Inversión extranjera directa
Argentina	-0.59	-2.424	-3.824**	-4.397***	-3.382*	-4.575***	-2.059	-1.78
Bolivia	-1.672	-	-2.063	-2.273	-2.002	-2.345	-2.495	-3.46*
Brasil	-3.878**	-3.895**	-2.049	-1.934	-5.4***	-7.749***	-4.907***	-6.764***
Colombia	-3.166	-4.686***	-3.59**	-4.161**	-2.702	-	-6.392***	-6.943***
Costa Rica	-0.892	-5.552***	-3.839**	-2.933	-2.868	-9.346***	-5.921***	-5.484***
Cuba	-1.664	-3.911**	-2.218	-4.636***	-4.29***	-6.535***	-3.235*	-6.513***
Chile	-3.12	-4.697***	-4.148**	-4.225***	-5.874***	-7.722***	-5.186***	-6.847***
República Dominicana	-1.449	-5.877***	-2.03	-3.755*	-3.622**	-7.085***	-5.092***	-4.027**
Ecuador	-2.894	-5.926***	-3.599**	-3.139	-4.979***	-7.769***	-5.425***	-8.198***
El Salvador	-2.198	-4.657***	-5.456***	-4.753***	-4.829***	-9.54***	-10.211***	-7.421***
Honduras	-2.647	-5.683***	-3.471*	-1905	-4.964***	-9.759***	-5.159***	-4.936***
Guatemala	-2.279	-6.208***	-3.539**	-5.45***	-2786	-6.33***	-6.307***	-6.96***
México	-2.513	-2.101	-2962	-2909	-6.049**	-7.782***	-4.94***	-7.298***
Nicaragua	-1.605	-	-3.493*	-2424	-2994	-9.7***	-6.345***	-7.011***
Panamá	-2.022	-6.115***	-2.791	-3.543**	-4.983***	-10.792***	-6.453***	-7.596***
Perú	-2.097	-6.241***	-2.412	-3.532**	-1.676	-	-5.723***	-7.346***
Trinidad y Tobago	-1.029	-2.993	-2.333	-2.711	-2.729	-3.915**	-9.182***	-6.882***
Venezuela	-0.213	-5.03***	-9.414***	-3.631**	-3.844**	-5.007***	-5.335***	-8.455***

Notas: Se reportan las estadísticas de ADF. La prueba incluye constantes y tendencias en la regresión. Niveles de significancia para el rechazo de la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria al (*) 10%, (**) 5%, (***) 1%.

Fuente: Castellacci y Natera (2016)

Cuadro 3. Prueba de raíz unitaria de Phillips-Perron

País	Datos en nivel				Datos en primera diferencia			
	GDP	Innovación	GDP	Innovación	GDP	Innovación	GDP	Innovación
Argentina	-0,754	-2,364	-3,745**	-4,411***	-1,951	-4,55***	-2,029	-1,851
Bolivia	-1,236	-	-2,31	-2,273	-2,186	-2,401	-2,633	-3,454*
Brasil	-3,679**	-3,861**	-2,051	-2,203	-5,372***	-7,885***	-4,812***	-12,063***
Colombia	-2,501	-4,617***	-1,861	-4,015**	-2,624	-	-6,409***	-6,903***
Costa Rica	-0,844	-5,565***	-3,604**	-2,881	-4,316***	-10,063***	-5,972***	-5,489***
Cuba	-1,643	-3,689**	-1,817	-7,918***	-4,303***	-16,836***	-6,442***	-9,94***
Chile	-2,289	-4,817***	-4,158**	-4,205**	-3,58**	-12,251***	-10,647***	-7,829***
República Dominicana	-1,449	-5,902***	-3,477*	-3,727**	-3,676**	-17,428***	-5,031***	-18,072***
Ecuador	-2,863	-6,045***	-3,853**	-2,879	-4,991***	-22,533***	-5,497***	-15,391***
El Salvador	-1,421	-4,669***	-3,737**	-4,743***	-4,555***	-17,006***	-10,08***	-9,181***
Honduras	-2,698	-5,708***	-2,81	-2,884	-5,055***	-28,395***	-5,201***	-8,712***
Guatemala	-2,129	-6,272***	-3,518*	-5,428***	-2,773	-13,71***	-7,339***	-14,293***
México	-2,513	-2,101	-2,962	-2,909	-6,048***	-13,672***	-5,695***	-7,796***
Nicaragua	-1,581	-	-2,239	-2,325	-2,447	-23,972***	-9,121***	-20,145***
Panamá	-1,831	-6,167***	-1,746	-3,462*	-4,983***	-10,792***	-6,453***	-7,596***
Perú	-2,098	-5,571***	-2,411	-3,522*	-6,609***	-	-8,989***	-8,078***
Trinidad y Tobago	-0,469	-5,439***	-2,357	-2,771	-4,8***	-16,352***	-11,121***	-15,551***
Venezuela	-0,832	-5,07***	-7,431***	-2,624	-3,844**	-18,733***	-5,269***	-9,133***

Notas: Se informan las estadísticas de PP. La prueba incluye constantes y tendencias en la regresión.

Niveles de significancia para el rechazo de la hipótesis nula de presencia de raíz unitaria al (*) 10%, (**) 5%, (***) 1%.

Fuente: Castellacci y Natera (2016)

Paso 2: pruebas de cointegración

Se aplican las pruebas de rango de Johansen, en las que también se consideran la caracterización de los cambios en el tiempo agregando variables *dummies* anuales. En el cuadro 4 se muestran estos resultados.

Cuadro 4. Pruebas de rango de cointegración

País	Rango de cointegración	Eigenvalor	Estadístico	Valor crítico
Argentina	4	0,646515	40,55666*	44,4972
Bolivia	2	0,744867	53,27286*	56,70519
Brasil	4	0,578314	33,67626*	37,16359
Colombia	5	0,635025	39,30917*	43,41977
Costa Rica	4	0,608973	102,4784**	107,3466
Cuba	4	0,556854	31,7404*	38,33101
Chile	3	0,629525	114,6433**	117,7082
República Dominicana	5	0,4912	26,35228*	38,33101
Ecuador	3	0,705373	47,65971**	49,58633
El Salvador	3	0,661082	42,19788**	43,41977
Honduras	4	0,472108	56,22696*	63,8761
Guatemala	4	0,613895	37,11423**	38,33101
México	4	0,659618	42,02976*	50,59985
Nicaragua	3	0,59102	34,86947**	37,16359
Panamá	5	0,542737	87,24515*	107,3466
Perú	3	0,654095	106,9985**	107,3466
Trinidad y Tobago	3	0,546955	78,79105**	79,34145
Venezuela	3	0,587682	100,0661*	117,7082

Nota: Niveles de significancia para el rechazo de la hipótesis nula de encontrar otra relación de cointegración al (*) 10%, (**) 5%, (***) 1%.

Fuente: Castellacci y Natera (2016)

Paso 3. Estimación del modelo de cointegración

Para tener modelos comparables entre países, los autores impusieron restricciones al vector β , en el que el PIB *per cápita* es la principal referencia (variable dependiente) y el comportamiento de las otras variables se adapta en consecuencia. Este proceso de identificación del vector β se

realiza a través de imposición de restricciones: es importante recordar que el modelo de cointegración genera un espacio vectorial, el cual puede ser parametrizado desde distintos ángulos. El proceso de identificación consiste en fijar ciertos valores de las variables del sistema que sirven como referencia, permitiendo que los otros valores se ajusten en consecuencia para describir el mismo espacio vectorial. La ventaja de realizar este paso es que nos permite estructurar el análisis sobre el espacio de cointegración de una manera más ordenada, lo cual es todavía más útil cuando este método se emplea para comparar sendas de desarrollo de distintos países.

Una vez identificado el vector β , se puede proceder con el análisis de la matriz α , que contiene los parámetros de interés que miden el efecto de los cambios en la capacidad de absorción y la innovación sobre la tasa de crecimiento del PIB *per cápita*. El cuadro 5 muestra los resultados de las estimaciones de VEC para algunos modelos seleccionados, reportando los coeficientes α_i para cada país junto con sus niveles de significancia (entre paréntesis).

Los valores en **negrita** en el cuadro 5 representan las variables en las que se encuentra evidencia de una relación causal positiva y significativa y, por lo tanto, se consideran como la orientación de que esa dimensión ha sido importante para promover las sendas de desarrollo en los países analizados. Esta es una de las principales aportaciones que puede hacer esta versión del método: identifica las variables que tienen un efecto permanente y claro en la promoción del proceso bajo estudio, basado en una consideración temporal de los mecanismos de causalidad.

A pesar de las bondades y el mayor nivel de especificidad que tiene esta versión del método, hay una restricción que es difícil salvar: hay un compromiso entre la cantidad de variables que pueden ser incluidas en el modelo y la longitud de la serie temporal que se dispone. La cantidad de parámetros que se requiere estimar para especificar el modelo presenta una restricción en los grados de libertad disponible; en el caso de los sistemas de innovación de América Latina (y no solo de la región), las series más largas a nivel país que hasta ahora se pueden construir están alrededor de los cuarenta y cinco años. Esto implica que generar modelos en los que se puedan considerar más de cinco dimensiones simultáneamente es complicado (en el mejor de los casos). Es por ello que se requiere de otra alternativa cuando se pretende explorar modelos que utilicen un marco analítico más complejo, por ejemplo, pensar en la versión de panel.

Cuadro 5. Causalidad de largo plazo (modelos seleccionados)

País	Especificación	Estructura industrial	Inversión extranjera directa	Innovación
Argentina	Recursos Naturales	0,121665*** [7,982994]	-0,210448*** [17,79498]	-0,094763 [1,781303]
Bolivia	Servicios	0,021519 [0,224313]	-0,016766*** [8,894036]	-
Brasil	Manufactura	0,538939** [5,532527]	0,09898* [3,419471]	0,015187* [3,224582]
Chile	Servicios	-3,889594*** [8,873596]	-0,037285 [1,034816]	3,280536*** [7,358538]
Colombia	Manufactura	0,235119*** [15,9551]	-0,214947** [5,546374]	0,049839 [1,06647]
Costa Rica	Servicios	0,018769* [3,45078]	0,727968*** [17,04856]	0,065426** [6,14068]
Cuba	Manufactura	0,9324** [5,703126]	-0,013005 [0,006341]	0,035388 [1,259175]
República Dominicana	Servicios	0,955652 [1,039793]	-1,237764 [0,510991]	4,103316*** [11,46506]
Ecuador	Recursos Naturales	-1,533394*** [17,41643]	0,975586*** [9,052073]	0,113227 [1,096077]
El Salvador	Servicios	0,020798*** [8,987157]	-0,263562*** [6,907432]	-0,13116* [2,749086]
Guatemala	Recursos Naturales	0,255708*** [24,21908]	-0,013453** [5,131703]	-0,795252*** [39,01117]
Honduras	Recursos Naturales	0,035163 [0,243395]	-0,147183* [3,18726]	-0,041747* [3,505973]
México	Recursos Naturales	1,417296*** [25,52489]	-0,004168 [0,010498]	0,092259* [2,925049]
Nicaragua	Recursos Naturales	-0,61709*** [10,01845]	1,291423*** [62,43663]	-
Panamá	Recursos Naturales	-0,414099** [4,423823]	-0,971683*** [11,30999]	0,077899** [6,253894]
Perú	Manufactura	-0,349571 [2,069322]	0,722861** [5,595606]	-0,525339** [5,350308]
Trinidad y Tobago	Manufactura	0,141095 [2,126461]	0,0118 [0,280168]	0,054081*** [16,68752]
Venezuela	Recursos Naturales	0,245535* [3,41117]	0,296107*** [6,755397]	-0,405049** [5,587171]

Nota: Niveles de significancia para el rechazo de la hipótesis nula de encontrar otra relación de cointegración al (*) 10%, (**) 5%, (***) 1%.

Fuente: Castellacci y Natera (2016)

Cointegración de panel: aumentando la complejidad de los modelos analíticos

La versión del método de cointegración en panel combina información de series de tiempo con la estructura de sección transversal de los datos. Ampliando el tamaño de los datos se puede plantear un ejercicio mucho más complejo: se pueden incluir un mayor número de variables gracias al aumento de los grados de libertad disponibles (Breitung y Pesaran, 2008). La heterogeneidad, sin embargo, no se pudo caracterizar en su nivel más alto (Pedroni, 2001; Persyn y Westerlund, 2008), este es el principal compromiso que los y las investigadoras deben asumir al momento de seleccionar esta versión del método. Una manera paliativa, no absolutamente satisfactoria, es realizar ejercicios de clúster como una ayuda para abordar este problema. En la experiencia con el uso del método para el análisis de la evolución de los sistemas nacionales de innovación se ha experimentado con varias alternativas para determinar la mejor forma de agrupación de países: PIB, PIB *per cápita*, tasa de crecimiento del PIB, niveles de productividad, entre otros. Sin embargo, los resultados de estos ejercicios de clúster han sido poco fructíferos pues no permiten expresar las características de las distintas fases del proceso de desarrollo, por ello recomendamos agrupar los países según sus similitudes en términos de antecedentes institucionales y proximidad geográfica, pues tienden a generar resultados que son más cercanos a sus procesos históricos.

El análisis de cointegración de panel es un campo reciente en econometría que extiende el análisis de cointegración de series de tiempo a un entorno de datos de panel. El enfoque ha encontrado recientemente un número creciente de aplicaciones en diferentes campos de la economía, aunque todavía se ha utiliza poco dentro del campo de la innovación y el desarrollo económico. La extensión de este enfoque de series de tiempo a un contexto de datos de panel es relativamente reciente (ver descripción general en Breitung y Pesaran, *ibíd.*). El uso de conjuntos de datos de panel, al aumentar sustancialmente el número de observaciones en la muestra, permite fortalecer el poder de las pruebas de cointegración.

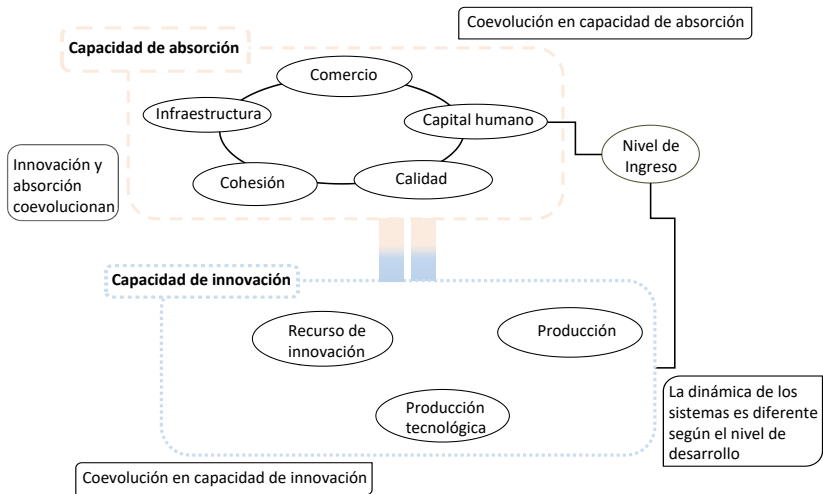
Como ilustración de este caso, se utiliza el artículo de Castellacci y Natera (2013) en el que se hace una evaluación de las dinámicas de los sistemas nacionales de innovación, considerando una muestra de ochenta y siete países en el período 1980-2007. En ese trabajo se propone un modelo en el que se representan tres subsistemas. En el primero se encuentran las capacidades innovadoras: los recursos para la innovación (el esfuerzo

y la inversión en I+D y en las actividades relacionadas), la producción científica (resultados de las actividades de investigación e innovación del sistema público de ciencia y tecnología) y la producción tecnológica (la producción total de las actividades tecnológicas y de innovación llevada a cabo por empresas privadas). En el segundo subsistema está la capacidad de absorción, muy diversa en su composición, pues incluye: el comercio internacional (apertura del sistema nacional), capital humano (educación y habilidades de la población), infraestructuras (red de transporte, distribución, etc.), la calidad de las instituciones y la gobernanza sistema (eficiencia del sistema de gobierno), la cohesión social y la desigualdad económica (efectos de la igualdad en la confianza y el intercambio de conocimientos entre las personas). Finalmente, en el tercer subsistema está el nivel de ingresos (PIB *per cápita*) como componente final del modelo: es un indicador del desempeño global de los países y –en el contexto de las interacciones sistémicas– de su nivel de desarrollo. Como se puede observar, este modelo implica un mayor nivel de complejidad, el cual sería imposible de incluir si se utilizara la versión del método de cointegración en series temporales: aquí está la principal bondad de utilizar un modelo de panel en este caso.

La configuración propuesta de los sistemas nacionales de innovación nos lleva a cuatro proposiciones (Castellacci y Natera, 2013), tal como se muestra en la figura 1.

- La dinámica de la capacidad de innovación es impulsada por la coevolución de los tres factores que la definen: recursos para la innovación, producción científica y producción tecnológica.
- La dinámica de la capacidad de absorción es impulsada por la coevolución de las cinco dimensiones que la definen.
- La capacidad de innovación y la capacidad de absorción coevolucionan con el tiempo, es decir, estas dos dimensiones están unidas entre sí por un sistema de dos vías de relaciones dinámicas.
- La dinámica de la capacidad de innovación y la capacidad de absorción y la coevolución entre ellos difieren entre los grupos de países que se caracterizan por diferentes niveles de desarrollo.

Figura 1. Modelo conceptual y proposiciones analizadas para el estudio de los SNI (1980-2007)



Fuente: adaptación de Castellacci y Natera (2013)

Los pasos a seguir para la aplicación del método son los mismos descritos en la sección general, sin embargo, encontraremos pruebas específicas para el caso de datos de panel. A continuación, se detalla cada una de las actividades que deben ser realizadas.

Paso 1. Pruebas de raíz unitaria para datos de panel

Tal como en el caso anterior, se comienza por llevar a cabo una batería de pruebas de raíz unitaria de panel (Levin, Lin y Chu; Breitung; Im, Pesaran y Shin; Dickey-Fuller aumentado; Phillips-Perron), para asegurarse de que las variables sean estacionarias, después de eliminar la tendencia temporal por primera diferenciación (es decir, son series $I(1)$). El cuadro 6 muestra los resultados del ejercicio que estamos tomando como ejemplo, tal como se observa, al realizar las pruebas sobre los datos en primera diferencia las variables se vuelven estacionarias (por tanto, son integradas de primer orden).

Cuadro 6. Pruebas de raíces unitarias para datos de panel (datos en primera diferencia)

Tests	LLC	Breit	IPS	ADF	PP
Producción tecnológica (patentes <i>per cápita</i>)	-28,7022***	-9,33763***	-41,2368***	1757,5***	11298,8***
Producción científica (artículos científicos)	-38,9816***	-15,5619***	-44,4981***	1789,77***	6371,34***
Insumos para investigación y desarrollo (gasto en I+D como %)	-29,0885***	-8,41635***	-40,0511***	1773,1***	6026,4***
Recursos humanos (matrícula universitaria)	-39,3175***	-20,6934***	-45,6103***	1830,74***	6094,23***
Infraestructura (consumo eléctrico <i>per cápita</i>)	-11,0755***	884,453	-23,39 ***	929,127***	1402,72***
Comercio internacional (exportaciones e importaciones)	-33,238***	-17,8781***	-34,1429***	1242,39***	2257,17***
Cohesión social (índice GINI)	-41,3525***	-24,1482***	-49,0434***	2065,67***	10527 ***
Calidad de las instituciones (percepción de corrupción)	-28,0696***	-9,59712***	-36,7005***	1364,07***	3259,69***
Nivel de ingreso (PIB <i>per cápita</i>)	-15,3902***	-4,01633***	-14,0725***	567,38***	565,105***

Notas: Detalle de la descripción de los indicadores utilizados: (LLC): Levin, Lin y Chut; (Breit): Breitung t-stat, (IPS): Im, Pesaran y Shin W-stat.

Niveles de significatividad: (*) 10%, (**) 5%, (***) 1%.

Fuente: Castellacci y Natera (2013)

Paso 2. Prueba de cointegración para datos de panel

Hay una diferencia crucial en la consideración del espacio de cointegración cuando se utilizan datos de panel. El método de cointegración explora un espacio vectorial generado por la combinación estacionaria de variables de primer orden de integración. En el caso de las series temporales, el espacio se configura entre las variables de un mismo país. Ahora bien, cuando se juntan en un mismo conjunto de datos una serie de países y sus variables, las relaciones de cointegración pueden extenderse y aparecer también entre los distintos países incluidos. Es por ello que al realizar las pruebas de cointegración en panel se explora la existencia de una relación de equilibrio a largo plazo entre las variables de interés por medio de la prueba de cointegración de Pedroni, que adopta especificaciones similares a ADF y PP (de las series temporales) y las extiende a un conjunto de datos de panel al observar tanto el interior de los países (dimensión *within*, en inglés) y entre los países (dimensión *between*, en inglés). Si los resultados de la prueba de Pedroni son significativos, esto

significa que existe una (o más) combinación(es) lineal(es) de las variables (de primer orden de integración) que sí tienen residuos estacionarios, o en términos más simples, que existe una relación de equilibrio de largo plazo entre las variables. En el cuadro 7 se muestran los resultados para dos tipos de tests, ADF y Pedroni, en el caso ilustrativo.

Cuadro 7. Pruebas de cointegración en panel

	Máximo retraso	Panel ¹	Grupo ²
ADF tests	5	-10,98558***	-21,0046***
PP tests	5	-12,72758***	-40,89562***

Notas: (1): hipótesis alternativa: coeficientes AR comunes (dimensión *within*), (2): hipótesis alternativa: coeficientes AR individuales (dimensión *between*).

Niveles de significancia: (*) 10%; (**) 5%; (***) 1%.

Paso 3. Estimación del modelo de cointegración en panel

La adaptación para los modelos de paneles en la estimación está en la manera en que se consideran las posibilidades de cointegración en las dimensiones *within* y *between*. Los avances en términos de las posibilidades de realizar una estimación completa de ambas dimensiones aún están en curso, por lo que nuevamente se requiere asumir una serie de compromisos cuando se utiliza esta versión del método. Una alternativa para la estimación en panel es la que plantean Costantini y Martini (2010), en la que realizan una operacionalización en dos pasos: 1) estimando las relaciones de largo plazo, para lograr determinar el vector β y 2) introduciendo los residuos de esa regresión como el ETC y así determinar el vector α . Otra alternativa es la que está operacionalizada en el software E-Views, que consiste en crear una larga serie de tiempo apilando los datos de los países *como si* se tratase de una línea continua para cada variable (*stack series*, en inglés) e investigando posteriormente las relaciones entre las variables. Como resulta claro, en esta última alternativa, la dimensión *between* no puede ser evaluada, pues se pierde en la forma de estimación. La ventaja operativa que se gana al momento de tener mayor cantidad de datos disponibles para el análisis de modelos complejos viene con una pérdida en la especificidad de los países (y sus relaciones) que están bajo análisis. De lo anterior es que resulta tan crucial utilizar métodos de

agrupación de países que den cuenta de sus similitudes, particularmente desde el punto de vista institucional.

Cuadro 8. Resultados de la estimación del modelo de corrección de errores de vector de panel (VECM, especificación de cinco retrasos)

	Ecuación de cointegración de largo plazo (vector β)	R ²
Producción tecnológica	1	0,20306
Producción científica	386541,1 (119074000) [3,24624]***	0,22112
Insumos para innovación	-65,9453 (34354) [-1,91957]*	0,09114
Recursos humanos	-4,76499 (1117) [-4,26781]***	0,09089
Infraestructura	-0,013706 (0,005) [-2,50704]**	0,18925
Comercio internacional	-129,5993 (36459) [-3,55468]***	0,07938
Ingreso <i>per cápita</i>	-0,031801 (0,005) [-6,95572]***	0,55615

Notas: Variables exógenas: cohesión social; calidad de las instituciones. Retrasos incluidos: 5. Observaciones: 1914.

Estadísticas T entre paréntesis: (*) 10% sig. nivel; (**) 5% sig. nivel; (***) 1% sig. nivel.

Fuente: Castellacci y Natera (2013)

En este punto conviene discutir dos asuntos. El primero es directamente de la aplicación del método: como se observa, la identificación del modelo se realizó utilizando la variable de producción tecnológica como base, esta es una decisión metodológica que los autores adoptaron dado su foco en la caracterización de los SNI. El segundo punto tiene que ver con la exclusión de las dimensiones Cohesión social y calidad de las instituciones de las variables endógenas del modelo y su reubicación como variables exógenas; lo anterior no significa necesariamente exogeneidad de estas variables, sino la existencia de dinámicas distintas, es decir, se trata de una evidencia más de las diferentes dinámicas temporales entre el subsistema socioinstitucional y el subsistema tecnoeconómico que se ha discutido en la literatura. En este sentido, el método de cointegración se ha mostrado como una herramienta útil para explorar los cambios y las reacciones de los distintos componentes de los SNI, según su naturaleza.

Paso 4. Determinación de la dirección de la causalidad

En el caso de las series temporales, siendo modelos más sencillos, la determinación de causalidad se puede observar de manera más directa. Cuando los modelos se analizan desde una configuración más compleja, es necesario organizar con más detenimiento el orden de la causalidad, es decir, analizar para cada par de variables incluidas en el modelo VECM, si están relacionadas mediante un tipo de causalidad unidireccional ($Y_t \rightarrow X_t$, o $Y_t \leftarrow X_t$) o por relaciones bidireccionales ($Y_t \leftrightarrow X_t$). En el último caso, concluimos que existe una coevolución de las dos variables a lo largo del tiempo.

Para organizar lo anterior se emplean las pruebas de exogeneidad en bloque, también llamados casualidad de Granger, una prueba de causalidad temporal que se basa en los resultados del modelo VECM discutidos anteriormente. El análisis consiste en investigar la significancia de los coeficientes del vector α , de manera que, del sistema de ecuaciones generado, se puedan realizar pruebas por pares de variables.

Cuadro 9. Análisis de causalidad por pares de variables para las dimensiones de análisis

	Relaciones causales	Causalidad de Granger
1. Las dinámicas internas de la capacidad de innovación	Insumos para la innovación → Producción tecnológica	37,01912***
	Producción tecnológica → insumos para la innovación	15,47013***
	Insumos para la innovación → Producción científica	9,281638*
	Producción científica → Insumos para la innovación	763.818
	Producción científica → Producción tecnológica	33,77283***
	Producción tecnológica → Producción científica	105,9351***
2. Las dinámicas internas de la capacidad de absorción	Infraestructura → Recursos humanos	18,53966***
	Recursos humanos → Infraestructura	4.476.804
	Comercio internacional → Recursos humanos	4.974.863
	Recursos humanos → Comercio internacional	5.969.001
	Comercio internacional → Infraestructura	9,544925*
	Infraestructura → Comercio internacional	30,3896***
3. La coevolución entre la capacidad de innovación y la capacidad de absorción	Recursos humanos → Producción tecnológica	5.729.322
	Producción tecnológica → Recursos humanos	6.151.916
	Infraestructura → Producción tecnológica	8.777.307
	Producción tecnológica → Infraestructura	45,89948***
	Comercio internacional → Producción tecnológica	2.451.047
	Producción tecnológica → Comercio internacional	3.322.556
	Recursos humanos → Producción científica	6.077.008
	Producción científica → Recursos humanos	12,15303**
	Infraestructura → Producción científica	16,37265***
	Producción científica → Infraestructura	38,71275***
	Comercio internacional → Producción científica	6.935.538
	Producción científica → Comercio internacional	10,44513*
	Recursos humanos → Insumos para la innovación	5023983
	Insumos para la innovación → Recursos humanos	504.275
Infraestructura → Insumos para la innovación	20,91794***	
Insumos para la innovación → Infraestructura	14,34713**	
Comercio internacional → Insumos para la innovación	13,55485**	
Insumos para la innovación → Comercio internacional	7590382	
4. La coevolución entre la capacidad de innovación, la capacidad de absorción y el nivel de ingreso	Nivel de ingreso → Producción tecnológica	38,28156***
	Producción tecnológica → Nivel de ingreso	866.107
	Nivel de ingreso → Producción científica	59,03562***
	Producción científica → Nivel de ingreso	6.651.817
	Nivel de ingreso → Insumos para la innovación	12,80222**
	Insumos para la innovación → Nivel de ingreso	11,07349**
	Nivel de ingreso → Recursos humanos	5.821.298
	Recursos humanos → Nivel de ingreso	8.882.979
	Nivel de ingreso → Infraestructura	35,38122***
	Infraestructura → Nivel de ingreso	23,15759***
	Nivel de ingreso → Comercio internacional	26,91603***
	Comercio internacional → Nivel de ingreso	11,70891**

Notas: Variables exógenas: cohesión social; calidad de las instituciones. Retrasos incluidos: 5. Observaciones: 1914.

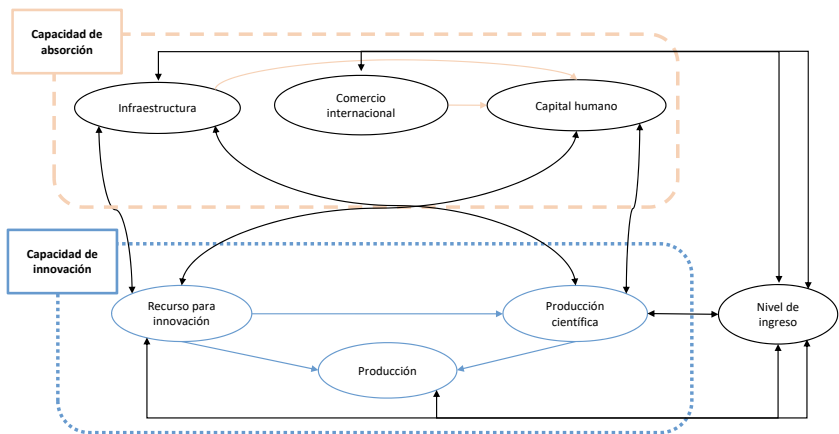
Estadísticas T entre paréntesis: (*) 10% sig. nivel; (**) 5% sig. nivel; (***) 1% sig. nivel.

Fuente: Castellacci y Natera (2013)

En pocas palabras, un gran resumen de los resultados empíricos del ejercicio de Castellacci y Natera (2013) indica que, con el tiempo, los factores de capacidad innovadora y capacidad de absorción están vinculados por un conjunto de relaciones estructurales a largo plazo. Específicamente, en el panel de países para el período 1980-2007, la dinámica de los sistemas nacionales de innovación está impulsada por la coevolución de las variables de capacidad innovadora, por un lado, y las variables de capacidad de absorción, por otro.

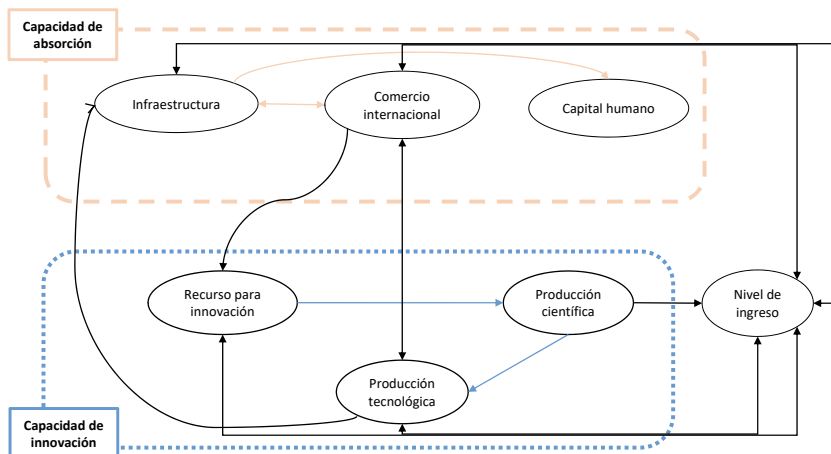
Dada la necesidad de considerar la heterogeneidad estructural de los diferentes países y atendiendo el compromiso entre especificidad (que se logra mejor con las series temporales) y complejidad del modelo (que es una ventaja de la versión de panel), el ejercicio ilustrativo configuró distintos grupos de países: avanzados (OCDE), de ingresos medios (Asia Oriental, América Latina, Eurasia) y menos desarrollados (África y Asia Meridional). Para proporcionar una presentación más intuitiva y accesible de los resultados de la causalidad de Granger para cada uno de estos grupos, se muestran los principales resultados de este análisis de causalidad en forma de diagrama, en el que un conjunto de flechas muestra la relación causal que une cada par de variables. Solo a manera ilustrativa, se muestran a continuación las representaciones de los países OCDE (figura 2) y los de América Latina (figura 3), en las que resulta muy clara la diferencia en la densidad de las relaciones causales.

Figura 2. Relaciones causales en los SNI de los países OCDE



Fuente: Castellacci y Natera (2013)

Figura 3. Relaciones causales en los SNI de los países de América Latina. Resultados del modelo América Latina (países de renta media)



Fuente: Castellaci y Natera (2013)

Reflexiones finales y recomendaciones para futuras aplicaciones

Hoy en día, los análisis empíricos dinámicos podrían acercarse un poco más a las expectativas de los fundamentos teóricos de la relación entre innovación y el desarrollo económico. Solo para empezar, los datos no son tan problemáticos como lo eran en el pasado. Los métodos de imputación múltiple permiten la explotación de los datos disponibles a nivel de país (Castellacci y Natera, 2011): no obliga a las estimaciones a responder a un modelo en particular, sino que considera la heterogeneidad de los procesos y las interacciones entre las variables en la estimación de datos. Además, hay métodos robustos para evaluar la fiabilidad de las estimaciones. En la situación ideal, por supuesto, se utilizarían únicamente datos observados construidos de acuerdo con estrategias metodológicas iguales en todos los países (Smith, 2005). Es imposible no reconocer que existen algunos riesgos cuando se usan datos a nivel de país y que estos se vuelven más importantes cuando estimamos datos faltantes. La imputación múltiple no es una solución perfecta para todos los casos (Abayomi, Gelman y Levy, 2008), ni es un remedio universal, pero es un facilitador de información importante: brinda la oportunidad de investigar

la estructura revelada entre innovación y desarrollo, una puerta abierta para aplicar metodologías econométricas verdaderamente dinámicas.

La metodología de cointegración es quizás una de las herramientas econométricas más adecuadas para llevar a cabo los análisis empíricos sobre desarrollo e innovación desde un enfoque sistémico. En primer lugar, considera cómo las variables se mueven juntas y reaccionan cuando se produce un cambio: determina la dinámica de los efectos no lineales entre las diferentes relaciones. Por otra parte, la metodología de cointegración tiene la ventaja de diferenciar la estructura de largo plazo de la de corto plazo. Dado el gran reto de los procesos de desarrollo de investigación, toda posibilidad de distinguir entre efectos a largo plazo y los transitorios es útil para la interpretación de los resultados y su transformación en recomendaciones de política.

La aplicación de esta metodología puede proporcionar nuevos conocimientos sobre las relaciones entre innovación y desarrollo. Se ha ofrecido una nueva visión de las estructuras reveladas en el tiempo. En los dos ejercicios diferentes (regresiones de cointegración, panel y series temporales), los vínculos entre las distintas capacidades se han descrito en función a sus efectos unidireccionales o recíprocos, lo cual ha dado como resultado la creación de una red de causalidades. Este es un paso adelante en la incorporación de la historia en la econometría de la innovación: el presente, el pasado y los cambios en las variables se consideran al mismo tiempo para extraer los patrones de sus interacciones (Hoover, Johansen y Juselius, 2008).

Hay distintas posibilidades en las que se puede expandir el uso de esta herramienta. Una primera es en la configuración de distintos modelos analíticos, en los que se haga énfasis en los distintos procesos vinculados a la evolución de los SIN. Por ejemplo, se podría aplicar este método para estudiar patrones de internacionalización de los procesos de ciencia, tecnología e innovación. Otra posibilidad es complejizar el análisis con métodos complementarios. En este sentido, hay dos propuestas que se pueden explorar:

1. Desarrollar metaanálisis sobre resultados de modelos de cointegración, de esta manera se puede configurar un escenario mucho más complejo, en el que distintas formas de operacionalizar un modelo sean sistematizadas para encontrar patrones generales de comportamiento del sistema, salvando, por ejemplo, los efectos de elección de un indicador particular. Natera y Castellacci (2021)

presentan un ejemplo de cómo esto puede ser logrado, al explorar setenta y dos configuraciones distintas para ciento treinta dos países en un período de análisis entre 1970 y 2015.

2. Los análisis de funciones de impulso-respuestas permiten conocer los tiempos de estabilidad y los niveles que alcanzan las distintas variables que se relacionan en el tiempo. Considerando distintos niveles de variación (o choques, en el lenguaje econométrico), es posible observar cómo las variables se ajustan a una nueva posición. Este análisis se puede realizar como un paso siguiente a la estimación de un modelo de cointegración y muestra de forma clara cómo se propagan los efectos en el tiempo.

Otras alternativas pueden incluir la interacción con modelos de simulación y la integración como métodos de prospectiva que permitan integrar, de una manera más compleja, los resultados de los análisis temporales. Como es evidente, las oportunidades de uso son amplias e invitan a una combinación creativa que permita dar luz sobre la evolución de los SNI en la región.

Bibliografía

- Abayomi, K., Gelman, A. y Levy, M. (2008). “Diagnostics for multivariate imputations”. *Journal of the Royal Statistical Society Series C Applied Statistics*, vol. 57, n° 3, pp. 273-291.
- Abramovitz, M. (1986). “Catching Up, Forging Ahead, and Falling Behind”. *The Journal of Economic History*, vol. 46, n° 2, pp. 385-406.
- Breitung, J. y Pesaran, M. H. (2008). “Unit roots and cointegration in panels”. En Mátyás, L. y Sevestre, P. (eds.), *The Econometrics of Panel Data*. Berlín: Springer-Verlag
- Castellacci, F. y Natera, J. M. (2011). “A new panel dataset for cross-country analyses of national systems, growth and development (CANA)”. *Innovation and Development*, vol. 1, n° 2, pp. 205-226. DOI: <https://doi.org/10.1080/2157930X.2011.605871>.
- Castellacci, F., & Natera, J. M. (2013). The dynamics of national innovation systems: A panel cointegration analysis of the coevolution bet-

ween innovative capability and absorptive capacity. *Research Policy*, 42(3), 579-594.

- _____ (2015). "The convergence paradox: the global evolution of national innovation systems". En Archibugi, D. y Filippetti, A. (eds.), *The Handbook of Global Science, Technology, and Innovation*, pp. 15-45. Sussex, UK: Wiley-Blackwell.
- _____ (2016). "Innovation, absorptive capacity and growth heterogeneity: Development paths in Latin America 1970-2010". *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 37, pp. 27-42.
- Natera, J. M. y Castellacci, F. (2021). "Transformational complexity, systemic complexity and economic development". *Research Policy*, vol. 50, n° 7.
- Colander, D., Goldberg, M., Haas, A., Juselius, K., Kirman, A., Lux, T. y Sloth, B. (2009). "The Financial Crisis and the Systemic Failure of the Economics Profession". *Critical Review*, vol. 21, n° 2-3, pp. 249-267.
- Costantini, V. y Martini, C. (2010). "The causality between energy consumption and economic growth: A multi-sectoral analysis using non-stationary cointegrated panel data". *Energy Economics*, vol. 32, n° 3, pp. 591-603.
- Dosi, G. (1982). "Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change". *Research Policy*, vol. 11, n° 3, pp. 147-162.
- Durlauf, S. N. y Johnson, P. A. (1995). "Multiple Regimes and Cross-Country Growth Behaviour". *Journal of Applied Econometrics*, vol. 10, n° 4, pp. 365-384.
- Engle, R. F. y Granger, C. W. (1987). "Co-integration and error correction: representation, estimation, and testing". *Econometrica*, vol. 55, n° 2, pp. 251-276.
- _____ (1995). "The 'National System of Innovation' in historical perspective". *Cambridge Journal of Economics*, vol. 19, n° 1, pp. 5-24.
- Frydman, R. y Goldberg, M. D. (2008). "Macroeconomic Theory for a World of Imperfect Knowledge". *Capitalism and Society*, vol. 3, n° 3.

- Granger, C. W. (1969). "Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods". *Econometrica*, vol. 37, n° 3, pp. 424-438.
- _____ (1981). "Some properties of time series data and their use in econometric model specification". *Journal of econometrics*, vol. 16, n° 1, pp. 121-130.
- Hendry, D. F. y Juselius, K. (2000). "Explaining Cointegration Analysis: Part 1". *The Energy Journal*, vol. 21, n° 1, pp. 1-42.
- Honaker, J. y King, G. (2010). "What to do About Missing Values in Time Series Cross-Section Data". *American Journal of Political Science*, vol. 54, n° 3, pp. 561-581.
- Hoover, K. D., Johansen, S. y Juselius, K. (2008). "Allowing the Data to Speak Freely: The Macroeconometrics of the Cointegrated Vector Autoregression". *American Economic Review*, vol. 98, n° 2, pp. 251-255.
- Johansen, S. (1991). "Estimation and Hypothesis Testing of Cointegration Vectors in Gaussian Vector Autoregressive Models". *Econometrica*, vol. 59, n° 6, pp. 1551-1580.
- _____ (1995). "Identifying restrictions of linear equations with applications to simultaneous equations and cointegration". *Journal of Econometrics*, vol. 69, n° 1, pp. 111-132.
- Juselius, K. (2006). *The Cointegrated VAR Model: Methodology and Applications*. Oxford: Oxford University Press.
- Lall, S. (1992). "Technological capabilities and industrialization". *World Development*, vol. 20, n° 2, pp. 165-186.
- Lundvall, B.-Å.; Johnson, B.; Sloth Andersen, E. y Dalum, B. (2002). "National systems of production, innovation and competence building". *Research Policy*, vol. 31, n° 2, pp. 213-231.
- Metcalf, S. y Ramlogan, R. (2008). "Innovation systems and the competitive process in developing economies". *The Quarterly Review of Economics and Finance*, vol. 48, n° 2, pp. 433-446.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2006). *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. París: OECD Publishing.

- Pedroni, P. (2001). "Fully modified OLS for heterogeneous cointegrated panels". En Baltagi, B. H., Carter Hill, R. y Fomby, T. B. (ed.), *Nonstationary Panels, Panel Cointegration, and Dynamic Panels*, pp. 93-130. Bingley: Emerald Group.
- Pérez, C. (1983). "Structural change and assimilation of new technologies in the economic and social systems". *Futures*, vol. 15, n° 5, pp. 357-375.
- Persyn, D. y Westerlund, J. (2008). "Error-correction-based cointegration tests for panel data". *The Stata Journal*, vol. 8, n° 2, pp. 232-241.
- Ponce, J. (2020). *Análisis de la viabilidad de una estrategia de bioeconomía basada en conocimiento en América Latina y la OCDE a través de la evolución de los Sistemas Nacionales de Innovación*. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco, México.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The Theory of Economic Development: An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*. Nueva Jersey: Transaction Publishers.
- Smith, K. (2005). "Measuring Innovation". En Fagerberg, I., Mowery, D. y Nelson R. (eds.), *The Oxford handbook of innovation*, pp. 148-177. Oxford: Oxford University Press.

Capítulo 10

Análisis multinivel: retos y oportunidades para el estudio de los procesos de innovación en América Latina

Guillermo Orjuela-Ramírez, Julio César Zuluaga

Introducción

La evolución de largo plazo de América Latina es una historia de vaivenes, en el plano de la volatilidad del crecimiento económico, con sus períodos de progreso económico y social sucedidos por otros de relativo estancamiento o retroceso, acompañado de fases de inestabilidad institucional y de cambios en los modelos de desarrollo. En la búsqueda de crear y mantener niveles de crecimiento similares a los de los países desarrollados, han sido centrales los esfuerzos por estimular procesos de cambio tecnológico a través de la ciencia, la tecnología y la innovación. El surgimiento a inicios del siglo XXI de una economía basada en el aprendizaje y el conocimiento presenta nuevas oportunidades y desafíos para América Latina, tanto en el campo del diseño de políticas públicas como en el de desarrollo de marcos analíticos y metodológicos que permitan una mejor comprensión de los determinantes de los procesos de innovación.

En relación con lo anterior, Lastres y Cassiolato (2005) señalaron varios retos. El primero es que varios desajustes han resultado de la confrontación entre el surgimiento de una nueva realidad política y económica en la región y el intento de comprenderla y orientarla utilizando viejos modelos conceptuales analíticos y normativos. El segundo se refiere a la necesidad de nuevos marcos teóricos, analíticos y normativos para hacer frente a esta nueva realidad. El tercero se refiere a las dificultades de

estimular y motivar los procesos de creación, uso y difusión del conocimiento y la innovación en condiciones de desarrollo. Por último, todavía es poco el conocimiento sobre la estructura y funcionamiento de los sistemas de innovación locales. Estos problemas nos animan a escribir este capítulo con el objetivo de ofrecer herramientas analíticas y metodológicas para comprender mejor las particularidades de la innovación y el cambio tecnológico en América Latina.

Teoría y regresión multinivel

Desde la década de 1970, la perspectiva de sistema abierto (Scott, 2003) ha desarrollado la premisa de que las organizaciones desarrollan una relación interdependiente con su entorno (Lawrence y Lorsch, 1967). Perspectivas recientes del campo de los estudios de CTI, como los sistemas de innovación (Lundvall, 1992), el modelo de triple hélice, el paradigma de la innovación abierta o la economía evolucionista, plantean que los procesos de innovación no ocurren en el vacío; por el contrario, la estructura de mercado y el contexto institucional en el que empresas, universidades, institutos y centros de investigación interactúan son fundamentales para entender la heterogeneidad en el desempeño innovador entre empresas, regiones, sectores y países. En este sentido, la innovación es un fenómeno que involucra diferentes niveles, como los actores (individuos, equipos, divisiones, organizaciones y redes de organizaciones) y los contextos dentro de los cuales estos actores están inmersos (Gupta, Tesluk y Taylor, 2007).

La investigación empírica sobre los problemas de ciencia, tecnología e innovación (CTI) en América Latina enfrenta desafíos teóricos y metodológicos únicos porque los procesos relacionados con la innovación y el cambio tecnológico tienen lugar en diferentes niveles de agregación y análisis. Aunque los modelos multinivel se han utilizado durante mucho tiempo en diversos campos de la ciencia, como la sociología, la biología o la geografía (Rabe-Hesketh y Skrondal, 2008), su uso en estudios de innovación es muy reciente y poco frecuente (Gupta, Tesluk y Taylor, 2007). De hecho, la innovación, como resultado de las capacidades a nivel de empresa, las oportunidades tecnológicas, la estructura del mercado y el entorno sectorial, regional y nacional, es un área en el que la teoría y los modelos de regresión multinivel son particularmente útiles (Srholec, 2010, 2011).

Los estudios en innovación han empleado principalmente un enfoque de influencias contextuales, en el cual el contexto (regional o sectorial) influencia las actividades de innovación de las empresas, bien como obstáculo o como estímulo para los procesos de innovación. Esto permite reconocer que las actividades de innovación en las empresas son influenciadas por estructuras sectoriales y regionales. Algunos ejemplos en los que estos estudios se han aplicado son la moderación del entorno institucional en la relación entre los recursos de la empresa y la innovación (Barasa *et al.*, 2017), el efecto del nivel de especialización de la industria sobre los resultados de innovación de las empresas (Aarstad, Kvitastein y Jakobsen, 2016). Integrando tres niveles de análisis también se ha estudiado cómo el grado de involucramiento con el entorno global, los derrames de conocimiento y la estructura de mercado influyen sobre la innovación de producto de las empresas (Lederman, 2010). Entre los retos y oportunidades de la aplicación de la teoría y modelos de regresión multinivel en América Latina se encuentran la disponibilidad de encuestas de innovación, así como la definición conceptual sobre cómo los procesos de innovación de las empresas son influenciados por el entorno (regional o sectorial), lo que permitiría determinar con mayor precisión qué factores del contexto en el que se encuentra la empresa pueden obstaculizar o estimular procesos de construcciones de capacidades y cambio tecnológico.

A pesar de estos estudios, sorprende que la mayoría de la investigación en CTI ha tendido a concentrarse en un solo nivel de análisis. Los estudios empíricos que abordan y combinan explícitamente diferentes niveles de análisis son escasos.¹ Los estudios empíricos sobre los procesos de CTI han proporcionado poca evidencia sobre las formas en que las variables de un nivel afectan la innovación en otros niveles. La investigación empírica dirigida a explicar las formas en que las variables de un nivel interactúan con diferentes niveles y las formas en que determinan los resultados de CTI también es escasa (Gupta, Tesluk y Taylor, 2007).

Con la teoría multinivel es posible entender cómo los fenómenos y procesos en un nivel de análisis están relacionados o anidados con los de otros niveles (Rousseau, 1985; Klein, Dansereau y Hall, 1994). En ese sentido, la teoría multinivel ofrece una perspectiva potencialmente más

¹ "... solo el 10% de todos los artículos sobre innovación publicados durante 1990-2006 en cinco revistas top de gestión realizaron algún tipo de análisis empírico multinivel" (Gupta, Tesluk y Taylor, 2007: 885).

compleja, completa y comprensiva sobre los procesos de CTI (Shrolec, 2010). Existen numerosas ventajas de usar un modelo de análisis multinivel en el estudio de la CTI (Srholec, 2010, 2011; Srholec y Verspagen, 2012; Goedhuys y Srholec, 2015; Heck y Thomas, 2015; Hox, Moerbeek y van de Schoot, 2018).

El primer beneficio es que los modelos multinivel son modelos jerárquicos que permiten combinar diferentes niveles de análisis en un solo modelo teórico y empírico de manera explícita. A este respecto, el modelo de análisis multinivel permite evaluar cómo y en qué medida aspectos del contexto regional, sectorial o nacional son importantes para determinar el desempeño de la empresa. Como señalan Corrado y Fingleton:

Los modelos jerárquicos están casi completamente ausentes de la literatura de econometría espacial (...) pero los modelos jerárquicos representan una forma alternativa importante de capturar el efecto del contexto, centrándose en los aspectos multinivel de la causalidad que son una realidad de muchos procesos espaciales. El reconocimiento de las diferentes formas de interacción entre las variables que afectan a cada unidad individual (empresa) del sistema y los grupos a los que pertenecen tiene importantes implicaciones empíricas. (2012: 29)

Por lo tanto, los modelos multinivel ofrecen una forma natural de evaluar la influencia del contexto en los procesos de CTI. La aplicación del análisis multinivel al trabajo empírico sobre efectos del contexto comienza con la simple observación de que las empresas que comparten el mismo contexto regional o sectorial son más similares en sus características y desempeño que las empresas que no comparten el mismo contexto.

Además de probar hipótesis en diferentes niveles, en particular, los efectos del contexto sobre los procesos de innovación de las organizaciones; los modelos multinivel también producen una descomposición de la variación de la innovación de la empresa y, por lo tanto, proporcionan información estadística muy útil sobre cuánta heterogeneidad de los resultados de la innovación explican los factores de nivel contextual y cuánta los factores de nivel individual. También, en comparación con los modelos analíticos estándar, los modelos de regresión multinivel aprovechan las estructuras anidadas de los datos y abordan adecuadamente el problema de la correlación de errores entre, por ejemplo, las empresas que se localizan o pertenecen a una misma región o sector. Otra ventaja es que los modelos multinivel escapan a los problemas que surgen de

la falacias ecológica y atomística, porque tienen en cuenta los niveles de organizaciones, sectores y regionales simultáneamente. Finalmente, ofrecen la posibilidad de identificar causalmente diferentes fuentes de heterogeneidad en la innovación a partir de variables contextuales.

Los nuevos métodos para modelar diferentes niveles de análisis son prometedores en comparación con el viejo pensamiento en la literatura de CTI y economía de la innovación (Srholec, 2011). Por ejemplo, la nueva geografía económica ha colocado las economías de aglomeración, los derrames de conocimiento y el contexto geográfico en el centro de su análisis (Feldman, 1994). Feldman (ibíd: 373) muestra la importancia de la dimensión regional para indicar que “el concepto de ubicación se define como una unidad geográfica que facilita la interacción y la comunicación, la búsqueda de conocimiento y las tareas de coordinación.”

Srholec (2010) y, recientemente, Acosta, Coronado y Martínez (2012), han estado desarrollando el enfoque multinivel para los estudios de innovación, y señalan que, aparte de las consecuencias estadísticas, un reconocimiento adecuado de las jerarquías de datos permite examinar nuevas líneas de preguntas de investigación. Por ejemplo, Srholec afirma que, utilizando el ejemplo de las empresas localizadas en regiones, el enfoque multinivel permite al investigador explorar adecuadamente hasta qué punto las diferencias específicas en innovación entre regiones son responsables de los resultados a nivel de empresa. También es posible investigar los mecanismos por los cuales factores sectoriales o regionales operan a nivel de empresa y la medida en que estos efectos difieren para los diferentes tipos de empresa (Acosta, Coronado y Martínez, ibíd.). Por ejemplo, uno podría analizar si las diferencias en la calidad de los sistemas de innovación entre los sectores o regiones son más importantes para las empresas más pequeñas que para las más grandes (ídem). Dichas preguntas de investigación se pueden examinar directamente mediante el modelado multinivel, pero no se pueden examinar de manera fácil, ni adecuada, mediante los métodos estadísticos estándar.

Una práctica común en los estudios empíricos es ignorar la variabilidad aleatoria asociada con los factores de nivel contextual e incluir un conjunto de variables *dummy* de “efecto fijo” (por lo general *dummies* de sector o región) en una regresión de un solo nivel (Shrolec, 2011). Como demuestra Shrolec, el uso de *dummies* podría ser una solución rápida y útil para controlar el contexto, si se está interesado en las relaciones de un solo nivel. Sin embargo, es de poca ayuda si el interés principal está en analizar los efectos e interacciones de factores específicos de diferentes

niveles. El problema con el uso de variables *dummy* para controlar los efectos de otros niveles es que es una variable “general” despojada del contexto, para la que solo se puede especular qué es lo que realmente representa (Shrolec, *ibíd.*). En conclusión, aunque las variables *dummies* mejoran significativamente el poder predictivo de un modelo, lo que de hecho es el caso en muchos estudios empíricos, es mejor probar hipótesis que involucran diferentes niveles de análisis con el modelo multinivel.

Razones metodológicas para aplicar la regresión multinivel

Otras razones para usar el modelado multinivel son metodológicas. Una suposición importante de los modelos de regresión de un solo nivel es que las observaciones (y, por lo tanto, los residuos) son independientes entre sí. Si el fenómeno bajo análisis presenta una estructura anidada de datos, las observaciones que pertenecen al mismo grupo tienden a tener residuos correlacionados, por lo que es probable que se viole o no se cumpla este supuesto. Al relajar el supuesto de independencia, el modelado multinivel proporciona estimaciones estadísticamente más eficientes de los coeficientes de regresión y errores estándar más conservadores que los que ignoran la naturaleza jerárquica de los datos (Goldstein, 2003). Esto significa que las relaciones estadísticamente significativas, la magnitud de estas relaciones y el signo de los coeficientes que se han encontrado y demostrado en la literatura mediante el uso de métodos estándar de regresión pueden ser diferentes si se usa un método multinivel (ver, por ejemplo, Srholec, 2010).

Otra razón importante es que, como señala Srholec, los estudios que utilizan exclusivamente microdatos para explicar los efectos del contexto sectorial o regional en las empresas a menudo sufren problemas de endogeneidad. Un buen ejemplo es el conjunto de variables sobre obstáculos a la innovación de la Community Innovation Survey (CIS) que Srholec utiliza en su estudio de empresas europeas. Él mostró convincentemente que, aunque la mayoría de estos obstáculos, como la regulación excesiva o la falta de interés del cliente, se refieren a factores externos a la empresa, no logran medir los efectos contextuales, porque las empresas más innovadoras reportan sistemáticamente obstáculos más severos a la innovación y porque son más conscientes de lo que está obstaculizando sus esfuerzos innovadores. Por lo tanto, el resultado inevitable de un análisis de un solo nivel es la correlación positiva entre la innovación y

estos obstáculos externos a la innovación (Evangelista *et al.*, 2002; Mohnen y Röller, 2005) porque estas variables, más que cualquier otra cosa, miden las percepciones de las empresas sobre el mercado o el contexto institucional o sectorial.

Otro ejemplo proviene de la literatura sobre derrames de conocimiento (Jaffe, 1986; Trajtenberg, Henderson y Jaffe, 1993; Feldman, 1994; Audretsch y Feldman, 1996; Greunz, 2003) que investiga los efectos de los derrames de conocimiento sectorial y regional sobre el comportamiento innovador de las empresas mediante regresiones de mínimos cuadrados ordinarios (en inglés, OLS). Estos trabajos estiman los efectos del contexto y las características de la empresa utilizando una variable dependiente medida a nivel individual y variables independientes medidas a nivel sectorial o regional; es decir, en una regresión combinan variables de diferentes niveles de agregación. El problema con este enfoque es que la regresión de OLS supone que las observaciones de datos, en este caso las empresas, son independientes (Snijders y Bosker, 1999; Austin, Goel y van Walraven, 2001). La aplicación de este método al problema mencionado ignora la dependencia que existe entre empresas que pertenecen al mismo sector o región. Los modelos de regresión de OLS no son apropiados para abordar hipótesis que vinculan variables medidas a diferentes niveles (Bosker y Snijders, *ibíd.*). Estos modelos tratan las variables sectoriales o regionales como si fueran variables a nivel de empresa en una sola ecuación de regresión, lo que da como resultado un término de error correlacionado (Austin, Goel y van Walraven, *ibíd.*) para las empresas que operan en el mismo sector. En consecuencia, la dependencia entre las observaciones de datos (empresas) de un grupo (sector-región) produce coeficientes de regresión ineficientes y errores estándar sesgados (Raudenbush y Bryk, 1992).

Para abordar estos problemas existen algunas técnicas como el modelado lineal jerárquico (Snijders y Bosker, *ibíd.*). Este es un modelo estadístico que separa los efectos a nivel individual del nivel sectorial, de acuerdo con el supuesto de que los datos u observaciones están estructurados jerárquicamente. Para superar estos problemas, es recomendable emplear un modelo de regresión multinivel para diferenciar el efecto de las variables de contexto sectorial-regional y las de la organización en la explicación de los resultados de innovación.

El modelo multinivel extiende las técnicas estadísticas tradicionales al modelar explícitamente el contexto sectorial-regional. Esto introduce un grado de realismo a menudo ausente de los modelos de un solo nivel

(Austin, Goel y van Walraven, 2001), como la regresión OLS. La regresión multinivel ofrece errores estándar insesgados (ídem), minimizando la probabilidad de cometer el error de rechazar la hipótesis nula cuando es correcta (error Tipo I), al mismo tiempo que estima la variabilidad contextual (entre sectores-regiones) de los coeficientes de regresión (ídem).

Los modelos multinivel ofrecen ventajas en comparación con los modelos de regresión tradicionales cuando se trata de probar hipótesis sobre las relaciones entre variables de diferentes niveles (Austin, Goel y van Walraven, 2001; Rabe-Hesketh y Skrondal, 2008; Snijders y Bosker, 1999). Una ventaja es que reduce los problemas conceptuales relacionados con el nivel de análisis en el que se deducen los resultados y las conclusiones. Entre los más conocidos (Snijders y Bosker, *ibíd.*) se encuentran el problema de la falacia ecológica (Robinson, 1950), que consiste en deducir hipótesis a nivel individual utilizando datos agregados derivados de un nivel general. Esto es importante en términos de diseño metodológico, porque los análisis tradicionales no están diseñados para modelar datos agrupados; su aplicación requiere tomar una decisión sobre si el análisis debe basarse en datos de nivel individual, ignorando el agrupamiento, o en medidas agregadas para cada grupo, eliminando los puntajes individuales. En otras palabras, la pregunta sobre qué unidad de análisis debería emplearse: la empresa, el sector o la región. Si se eligiera la empresa como unidad de análisis, el análisis procedería como si los datos no estuvieran agrupados y las variables a nivel de región fueran, de hecho, variables a nivel individual. Sin embargo, cuando el estadístico de correlación intraclase (ICC, *intraclass correlation*) es positivo frecuente en datos agrupados, los errores correlacionados entre los individuos dentro de una clase o grupo violan el supuesto de observaciones independientes de la estimación de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), lo que resulta en estimaciones de error estándar sesgadas hacia abajo, estadísticas de prueba demasiado grandes y errores de estimación Tipo I. Si el análisis se llevara a cabo a nivel de sector-región, todos los datos a nivel de empresa se agregarían a los medios grupales, y los sectores-regiones, no las empresas, se tratarían como las observaciones en el análisis (véase, por ejemplo, Krull y MacKinnon, 2001). Aunque esto elimina la correlación entre los términos de error individuales, este enfoque no es ideal por varias razones (ídem). En primer lugar, el poder de las pruebas estadísticas se reduce porque el número de observaciones se limita al número de grupos (sectores-regiones), en lugar del número de individuos, y los grados

de libertad para el análisis se reducen correspondientemente. Segundo, este procedimiento descarta la variabilidad individual en los puntajes, que puede comprender la mayoría de la variabilidad presente en los datos. Además, cuando el interés de la investigación es analizar el nivel individual de las empresas, las estimaciones a nivel sectorial-regional de análisis agregado no necesariamente son iguales a los efectos a nivel individual, haciendo que las inferencias sobre el comportamiento individual sean potencialmente engañosas (Robinson, 1950). De este modo, realizar un análisis de datos agrupados agregando toda la información de nivel individual al grupo de nivel superior como el sector o la región no es una solución óptima para el problema de errores correlacionados.

Precisamente, el modelado multinivel se desarrolló en respuesta al desafío de analizar adecuadamente los datos agrupados. Esta técnica conserva la estructura de datos original (es decir, las variables de nivel de empresa no necesitan agregarse a las medias del sector o región) mientras modela explícitamente la homogeneidad de errores dentro del sector-región al permitir la estimación de términos de error correlacionados tanto para la empresa como para el grupo (Austin, Goel y van Walraven, 2001). Debido a la compleja estructura de datos medidos en diferentes niveles y la naturaleza de los términos de error, los modelos multinivel se estiman utilizando técnicas iterativas de Bayes o de máxima verosimilitud, en lugar de los métodos OLS típicamente empleados para estimar los parámetros de los modelos de un solo nivel (Rabe-Hesketh y Skrondal, 2008).

La investigación sobre la relación entre contextos sectoriales-regionales y resultados de innovación empresarial sugiere que el error más común es ignorar las características agrupadas y jerárquicas de los datos (Gordon y McCann, 2005; Beugelsdijk, 2007); por lo tanto, si no se tiene en cuenta la naturaleza multinivel y los métodos empleados no son adecuados para la naturaleza de los datos disponibles, los resultados podrían estar sesgados.

La regresión multinivel es capaz de incorporar variables que se miden en diferentes niveles y examinar las interacciones entre niveles (Austin, Goel y van Walraven, 2001 y Rabe-Hesketh y Skrondal, 2008). Permite examinar cómo las intersecciones de las líneas de regresión varían dentro de los sectores-regiones y estimar las causas de esta variación (Rabe-Hesketh y Skrondal, *ibíd.*). Además, el empleo de un modelo de coeficiente aleatorio (*ídem*) permite que se ajuste un modelo separado para las empresas de cada sector-región, relacionando el número de innovaciones

a nivel de empresa y sector-región, permitiendo que los coeficientes de pendiente de la regresión varíen dentro de los sectores-regiones. Esto a su vez permite los efectos diferenciales de las variables de la empresa según el sector-región a la que pertenecen. Aunque no se exploran todas las ventajas de la regresión multinivel en comparación con las técnicas estadísticas tradicionales en este capítulo, la técnica de regresión multinivel se utiliza para analizar los efectos del contexto sectorial-regional en el desempeño de las empresas.

Estas consideraciones son importantes porque las relaciones estadísticamente significativas y la magnitud y el signo de los coeficientes que se han establecido en la literatura mediante el uso de métodos estándar pueden resultar diferentes en el análisis de regresión multinivel. Mucho de lo que se ha aprendido empíricamente sobre el vínculo entre contexto sectorial-regional y el desempeño de la empresa (productividad o innovación), a partir de datos tratados como de un solo nivel, podría resultar diferente en el marco de varios niveles.

Razones teóricas para emplear la regresión multinivel

Finalmente, la razón fundamental para utilizar el modelado multinivel para estudiar la innovación es teórica. En el núcleo del concepto de sistemas de innovación, tanto en su vertiente sectorial como regional, está la idea de que la concentración o pertenencia a grupos de los actores es relevante, además de sus interacciones y de los factores contextuales que conducen al aprendizaje, porque determinan la propensión de las empresas a generar innovaciones, dependiendo de sus características individuales, recursos y capacidades (Asheim y Coenen, 2005; Doloreux y Parto, 2005; Iammarino, 2005). De esto se deduce que esta literatura predice una estructura anidada de microdatos y considera los múltiples niveles involucrados en el proceso de innovación. En términos estadísticos, la suposición básica de los modelos estándar de regresión múltiple de residuos independientes se viola desde el principio. Cada vez que un investigador pretende probar hipótesis que operan a diferentes niveles, es apropiado un modelo estadístico multinivel (Rousseau, 1985; Klein, Dansereau y Hall, 1994; Snijders y Bosker, 1999; Austin, Goel y van Walraven, 2001; Srholec, 2011; Acosta, Coronado y Martínez, 2012). Por lo tanto, el modelado multinivel tiene mucho que ofrecer, porque el método está

diseñado para probar predicciones de las teorías contextuales de innovación en un diseño econométrico.

Por lo tanto, el potencial del modelado multinivel no se ha realizado en la investigación sobre innovación, excepto quizás recientemente por algunos estudios pioneros (Acosta, Coronado y Martínez, *ibíd.*; Srholec, *ibíd.*). La adopción de un modelo multinivel para analizar efectos que provienen de dos niveles jerárquicos anidados tiene varias ventajas para evitar posibles problemas de endogeneidad en modelos de regresión transversal simples causados por la omisión de variables y correlaciones intraclase (Acosta, Coronado y Martínez, *ibíd.*). Siguiendo a Acosta, Coronado y Martínez, las ventajas son varias. Primero, el modelo multinivel tiene en cuenta factores no observados que afectan los resultados de innovación de las empresas a nivel sectorial-regional (por ejemplo, tamaño y estructura del mercado, capital, estructura institucional, cultura, capital social, niveles de emprendimiento, demanda de tecnología, entre otros). En segundo lugar, puede haber influencias relacionadas con el sector o región en el que se produce la innovación. Por ejemplo, las innovaciones producidas en un mismo sector-región pueden verse influenciadas por incentivos idénticos, flujos de conocimiento, características de la empresa, etc. (es decir, la posibilidad de una correlación intragrupo entre observaciones para el mismo sector-región). En consecuencia, la decisión de utilizar el análisis multinivel tiene dos objetivos principales (Acosta, Coronado y Martínez, 2001; Srholec, 2011): 1) evaluar el efecto de la heterogeneidad sectorial-regional en el desempeño de la innovación de las empresas y 2) estimar correctamente los intervalos de confianza para los coeficientes estimados después de considerar los efectos aleatorios que surgen de la agregación de resultados de innovación por sector-región. Es importante destacar que no tener en cuenta la agrupación de datos podría dar lugar a sesgos graves cuando se estiman los efectos de las variables explicativas agregadas en las variables de dependientes individuales (ver, por ejemplo, Moulton, 1990; Wooldridge, 2003).

Modelo multinivel con datos de una encuesta de innovación de América Latina

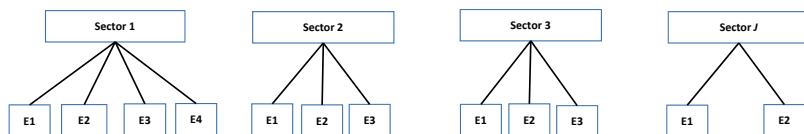
Como vimos en la sección anterior, los modelos multinivel nos permiten abordar preguntas de investigación cuyo fenómeno comprende diferentes

niveles de análisis, es decir, fenómenos con una estructura jerárquica (Sears y Baba, 2011). Esto implica que las unidades de observación de un nivel inferior por ejemplo, las empresas se agrupan en un nivel superior, por ejemplo, regiones o sectores. Las empresas agrupadas en regiones son un ejemplo de una estructura jerárquica de dos niveles de análisis, aunque hay estructuras jerárquicas de dos o más niveles, por ejemplo, empresas agrupadas en regiones y regiones agrupadas en países.

La relación entre niveles de análisis se conoce como anidación (Rasbash, 2008). La anidación es una propiedad de los datos en la que cada unidad de observación de un nivel inferior solo puede pertenecer a una unidad del nivel superior, por ejemplo, una empresa solo puede pertenecer a una región. De otra forma, cuando las unidades de observación pertenecen a varios niveles de orden superior se conoce como datos cruzados.

En este capítulo aplicamos la técnica multinivel para explorar una estructura jerárquica de dos niveles en los que el nivel inferior corresponde a empresas anidadas en sectores económicos (nivel superior). El diagrama 1 ilustra el tipo de estructura a explorar: hay i número de empresas y j número de sectores, en los que no necesariamente cada sector está compuesto por el mismo número de empresas.

Diagrama 1. Estructura jerárquica



Fuente: elaboración propia

Descripción de los datos

En este ejercicio exploraremos la relación entre la inversión en actividades de investigación y desarrollo (I+D) de empresas y sus resultados en innovación.² Para ello, asumimos que la inversión en actividades de

² La finalidad del ejercicio es mostrar las etapas y conceptos para la aplicación de la técnica multinivel, por eso se omitieron pasos como el ajuste del modelo, la inclusión de variables de control y los posibles problemas de endogeneidad.

I+D (en miles de pesos colombianos, COP) afecta positivamente la innovación en empresas. Empleamos datos que dan cuenta de la dinámica de innovación en las empresas manufactureras en Colombia, los cuales provienen de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) (DANE, 2017). Esta encuesta se lleva a cabo cada dos años por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y es análoga a las encuestas nacionales de innovación desarrolladas para varios países en América Latina. En este ejercicio utilizamos la EDIT VIII para el año 2016.

Las unidades de observación del nivel inferior son las pequeñas, medianas y grandes empresas manufactureras. La EDIT obtiene información de empresas con más de diez empleados o con una producción de referencia para el año de la encuesta (DANE, *íbid.*). Las empresas se agrupan en sectores económicos según los dos últimos dígitos de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIIU). La variable dependiente (*innov*) representa el número de innovaciones que una empresa ha introducido en los últimos dos años y es una variable discreta que va de 0 a ∞^+ . La variable independiente a nivel de la empresa (*IDlg*) representa las inversiones en investigación y desarrollo internas y externas de la empresa durante los últimos dos años en escala logarítmica.

Antes de estimar los diferentes modelos multinivel, estimamos un modelo de regresión lineal simple de mínimos cuadrados ordinarios (MCO). Este modelo estima el efecto que tiene la inversión en actividades de I+D de las empresas en la innovación. Los parámetros del modelo de MCO (β_0 y β_1) se conocen como efectos fijos ya que es el mismo parámetro para cada empresa.

$$innov_i = \beta_0 + \beta_1 IDlg_i + e_i$$

El cuadro 1 muestra que las empresas tienen en promedio 1,1 innovaciones y que la cantidad de innovaciones aumenta conforme aumenta la inversión en I+D (0,25; $p < 0,001$). Si bien este modelo provee información, no incluye la variación del desempeño en innovación de las empresas que se debe a factores de segundo nivel como el sector económico.

Cuadro 1. Regresión lineal simple MCO

	Número de innovaciones (<i>innov</i>)
Intercepto	0,23*** (0,01)
IDlg	0,25*** (0,01)
Empresas	6,709
R² ajustado	0,18

Notas: (*) $p < 0,05$, (**) $p < 0,01$; (***) $p < 0,001$.

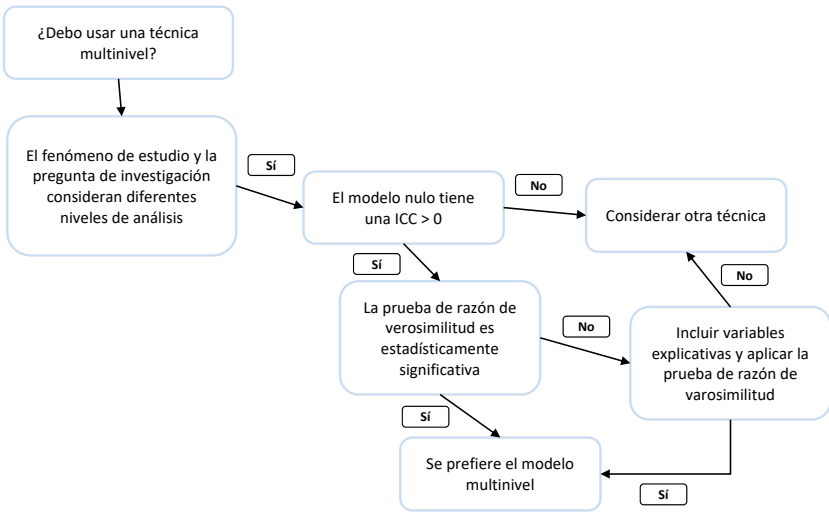
Fuente: elaboración propia

En este sentido, un modelo más realista podría incluir la heterogeneidad de los resultados de innovación de las empresas al tener en cuenta su pertenencia a los sectores económicos.

Criterios para emplear una técnica multinivel

La naturaleza del fenómeno de estudio y la pregunta de investigación son los criterios iniciales para justificar el empleo de la técnica multinivel (diagrama 2). Así, el uso de la técnica debe estar soportado por una explicación de cómo y por qué las unidades de observación de un nivel inferior son influenciadas por un nivel superior (enfoque *top-down*). Para nuestro ejemplo, se debe explicar la relación entre las inversiones de las empresas en actividades de I+D y la innovación. Además, se debe explicar que las innovaciones y las inversiones en I+D varían según los sectores a los que pertenece la empresa. Esto quiere decir que las empresas que se agrupan en un sector comparten características similares entre ellas, pero diferentes entre sectores. Esta característica en la que cada empresa pertenece a un sector es lo que se conoce como anidación de los datos.

Diagrama 2. Criterios técnicos del modelo multinivel



Fuente: elaboración propia

Modelo de regresión con intercepto aleatorio (correlación intraclase)

El primer modelo que estimamos se conoce como modelo nulo, que no tiene las variables explicativas. Este modelo estima los efectos en la innovación de la empresa *i* en el sector *j*. El modelo nulo se representa de la siguiente manera:

$$innov_{ij} = \beta_{0j} + e_{ij}$$

En el que $\beta_{0j} = \beta_0 + \mu_{0j}$. A diferencia del modelo de MCO, la variable $innov_{ij}$ representa el número de innovaciones de la empresa *i* en el sector económico *j*; β_0 representa el promedio global de innovaciones de las empresas sin tener en cuenta los sectores, mientras que μ_{0j} muestra qué tanto difiere el promedio de innovaciones de las empresas del sector *j* respecto al promedio global, es decir, es el efecto del sector económico *j* en la innovación. De acuerdo con el cuadro 2, el promedio global de innovaciones es 0,34 ($p < 0,001$).

Cuadro 2. Regresión multinivel sin variables independientes

		Número de innovaciones (<i>innov</i>)
Efectos fijos	Intercepto (β_0)	0,34*** (0,02)
	Varianza del sector (μ_0)	0,001
Efectos aleatorios	ICC	0,01
	Test de verosimilitud	Chi ² (3) = 35,7 Prob > Chi ² = 0,00***
	Sectores	17
	Empresas	6,709
	R ² condicional	0,01
	AIC	17051,38

Notas: (*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,01$; (***) $p < 0,001$.

Fuente: elaboración propia

Este modelo nulo permite identificar el segundo criterio para determinar la pertinencia de la técnica multinivel, la cual consiste en estimar la correlación intraclase (ICC), que es la proporción de varianza de la variable dependiente que es explicada por diferencias entre clases o grupos. En nuestro ejemplo, la estimación de la ICC estima la proporción de la varianza del número de innovaciones que introduce la empresa (*innov*) que es explicada por diferencias entre los sectores económicos. La ICC toma valores entre 0 y 1, en la que valores cercanos o iguales a 0 quieren decir que hay poca o nula variación en la variable dependiente debido al sector, mientras que valores cercanos o iguales a 1 indican que hay una alta varianza explicada por el sector. Para ello se calculan las varianzas del error a nivel de la empresa σ_e^2 y a nivel del sector $\sigma_{u_0}^2$, y la varianza del error a nivel de sector se divide sobre el error total:

$$ICC = \frac{\sigma_{u_0}^2}{\sigma_{u_0}^2 + \sigma_e^2}$$

La estimación del modelo de regresión sin variables independientes (cuadro 2) calcula un ICC = 1%. Esto indica que hay una variación de 99% en la innovación debido a las características de las empresas y un 1% de variación por características de los sectores económicos. La conclusión

de este ejercicio es que existe más variación dentro de los sectores que entre sectores. Aunque hay poca variación debido al sector económico, como veremos más adelante, la correlación intraclase aumenta conforme se le permite al modelo que sus variables explicativas varíen entre sectores.

Además, para probar si la inclusión de variables explicativas mejora la bondad de ajuste del modelo se puede estimar una prueba de razón de verosimilitud (cuadro 2). Esta prueba se utilizará de aquí en adelante conforme se incluyan variables explicativas en los modelos. Para el modelo anterior probamos la significancia de los efectos de los sectores económicos. Este test compara los valores de verosimilitud del modelo nulo multinivel con un modelo nulo de un solo nivel. Los resultados del cuadro 2 indican que el χ^2 es estadísticamente significativo.

Modelo de regresión con intercepto aleatorio y pendiente fija a nivel de la empresa

Ahora, al modelo anterior se adiciona la variable explicativa de inversión en I+D ($IDlg_{ij}$). Esta es una variable explicativa a nivel de la empresa que se centró en la media de las observaciones.³ El modelo se representa de la siguiente manera:

$$innov_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}IDlg_{ij} + e_{ij}$$

En el que $\beta_{0j} = \beta_0 + \mu_{0j}$ y $\beta_{1j} = \beta_1$. Así como en el modelo del tercer apartado, el intercepto β_{0j} es aleatorio, es decir, el promedio innovaciones de la empresa i varía según el sector j en una cantidad μ_{0j} . En particular para este modelo, la pendiente β_{1j} es fija, por lo que se asume que el efecto de $IDlg_{ij}$ sobre el número de innovaciones en las empresas es el mismo para todos los sectores.

Los resultados del cuadro 3 indican que $IDlg_{ij}$ tiene un efecto positivo y significativo sobre $innov$ (0,15; $p < 0,001$). La ICC en este modelo es de 0,01. Este modelo en comparación con el modelo de intercepto aleatorio mejoró sustancialmente el R^2 condicionado. La prueba de razón de verosimilitud indica que al incluir una variable explicativa se mejora la bondad de ajuste del modelo.

³ Cuando se adicionan variables explicativas se debe decidir si centrar las variables a la media de todo el conjunto de observaciones o centrar la variable a la media de cada grupo j al que pertenezca la observación i . La decisión de cuál método de centrado usar depende principalmente de la pregunta de investigación. En este sentido, Ender y Tofighi (2007) han propuesto una guía para la toma de decisión.

Cuadro 3. Regresión multinivel con intercepto aleatorio y pendiente fija

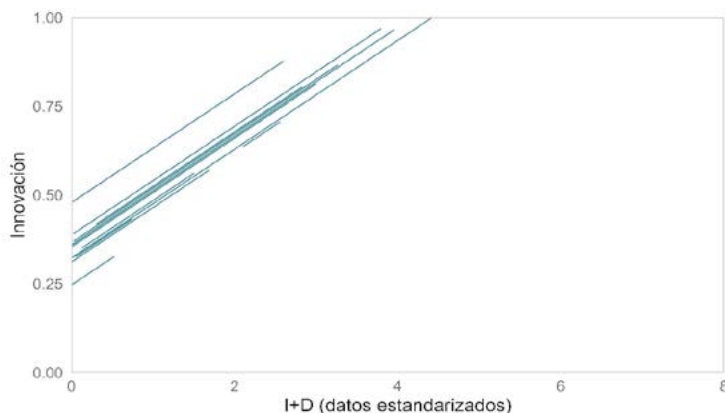
		Número de innovaciones (<i>innov</i>)
Efectos fijos	Intercepto (β_0)	0,34*** (0,02)
	IDlg (β_1)	0,15*** (0,01)
Efectos aleatorios	Varianza del sector (μ_{0j})	0
	ICC	0,01
	Test de verosimilitud	Chi ² (4) = 188,47 Prob > Chi ² = 0,00***
	N-Sector	17
	Observaciones	6,709
	R ² condicionado	0,03
	AIC	16864,92

Notas: (*) p < 0,05; (**) p < 0,01; (***) p < 0,001.

Fuente: elaboración propia

El gráfico 1 muestra el efecto de IDlg_{ij} en innov del modelo con intercepto aleatorio y pendiente fija. Cada línea de regresión corresponde a un sector económico, los cuales tienen diferentes puntos de partida (interceptos diferentes) y una misma pendiente para la variable explicativa IDlg_{ij} a nivel de la empresa.

Gráfico 1. Modelo de regresión de intercepto aleatorio y pendiente fija



Fuente: elaboración propia

Regresión con intercepto y pendiente aleatoria a nivel de la empresa

Al modelo anterior se adiciona un efecto aleatorio (μ_{1j}) a la pendiente (β_{1j}) de la variable $IDlg_{ij}$. En este modelo, la pendiente del parámetro de la inversión en I+D varía según el sector económico. El modelo se especifica a continuación:

$$innov_{ij} = \beta_{0j} + \beta_{1j}IDlg_{ij} + e_{ij}$$

En el que $\beta_{0j} = \beta_0 + \mu_{0j}$ y $\beta_{1j} = \beta_1 + \mu_{1j}$. El cuadro 4 indica que la inversión en I+D tiene un efecto positivo y significativo promedio en $innov$ (0,61; $p < 0,001$). Adicionalmente, la inversión en I+D varía entre sectores económicos (0,28). Al permitir que la inversión en I+D varíe entre sectores, la ICC se incrementa a 0,27. Esto indica que el 27% de la varianza en innovación es explicada por las diferencias entre sectores económicos. El test de razón de verosimilitud para este modelo es estadísticamente significativo ($Prob > \chi^2 = 0,00$), lo que indica que la variable $IDlg_{ij}$ con pendiente aleatoria mejora la bondad de ajuste del modelo, lo que indica que la inversión en I+D varía entre sectores económicos.

Cuadro 4. Regresión con intercepto y pendiente aleatoria

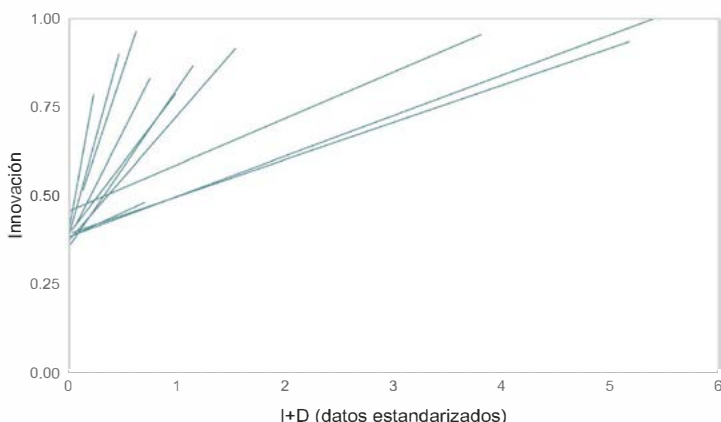
		Número de innovaciones (<i>innov</i>)
Efectos fijos	Intercepto (β_0)	0,39*** (0,01)
	$IDlg$ (β_1)	0,62*** (0,14)
Efectos aleatorios	Varianza del sector (μ_{0j})	0
	Varianza I+D (μ_{1j})	0,28
	ICC	0,27
	Test de verosimilitud	χ^2 (4) = 91,76 $Prob > \chi^2 = 0,00***$
	N-Sector	17
	Observaciones	6,709
	R^2	0,46
AIC	16777,15	

Notas: (*) $p < 0,05$; (**) $p < 0,01$; (***) $p < 0,001$.

Fuente: elaboración propia

El gráfico 2 muestra la predicción de la innovación según sectores económicos con pendiente e intercepto aleatorio. Esto indica que la relación entre I+D e innovación es mayor en algunos sectores.

Gráfico 2. Modelo de regresión de intercepto y pendiente aleatoria



Fuente: elaboración propia

Consideraciones y recomendaciones finales para el uso de la regresión multinivel

Los estudios en ciencia, tecnología e innovación en Latinoamérica enfrentan varios retos, que van desde lo teórico hasta lo metodológico. Este capítulo contribuye al reto metodológico en la medida en que presenta un ejemplo empírico de cómo aplicar la técnica multinivel usando datos de innovación de las encuestas de innovación disponibles en América Latina. Además, señala algunas consideraciones para el uso de la técnica.

El potencial de investigación con las encuestas de innovación nacionales apenas comienza a explotarse. Ya varios autores han incorporado esta técnica a problemas específicos de la tecnología e innovación en América Latina (Srholec, 2011; Losada-Otálora y Zuluaga, 2013; Schmidt y Balestrin, 2015; Santos, Basso y Kimura, 2018; Schmutzler y Lorenz, 2018), aunque todavía es necesario explotar mucho más la información disponible. Los países de América Latina tienen la producción de datos de encuestas de

innovación más activa de los países en desarrollo (Marins, 2011, *apud* Castellacci y Natera, 2012). Sin embargo, para asegurar la credibilidad y difusión de los estudios empíricos basados en encuestas latinoamericanas, las encuestas de innovación deben conectar los datos en innovación (a nivel de la empresa) con indicadores económicos, así como elaborar datos de panel en lugar de datos transversales (Castellacci y Natera, 2011). Sumado a lo anterior, las mediciones de innovación a nivel de la empresa enfrentan diversas dificultades, entre ellas, su operacionalización, a causa de la naturaleza de la innovación, y un entendimiento heterogéneo de lo que se considera innovación (Sutz, 2012; Cirera y Muzi, 2020).

De acuerdo con lo anterior, el uso de la técnica multinivel debe considerar posibles limitaciones conceptuales y metodológicas derivadas de las encuestas de innovación para operacionalizar el fenómeno de estudio de interés del investigador. Aquí también se incluye el proceso de preparar los datos para la estimación del modelo. Si bien en este ejercicio no se incluyeron controles u otras variables explicativas, la adición de variables independientes aleatorias de primer y segundo nivel reduce la varianza explicada por el sector-región, con lo que se puede entender mejor los determinantes contextuales y sistémicos, además de las particularidades de la innovación y el cambio tecnológico en América Latina.

Bibliografía

- Aarstad, J.; Kvitastein, O. A. y Jakobsen, S.-E. (2016). “Related and unrelated variety as regional drivers of enterprise productivity and innovation: A multilevel study”. *Research Policy*, vol. 45, n° 4, pp. 844-856. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.01.013>.
- Acosta, M., Coronado, D. y Martínez, M. Á. (2012). “Spatial differences in the quality of university patenting: Do regions matter?”. *Research Policy*, vol. 41, n° 4, pp. 692-703. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2012.01.002>.
- Asheim, y Coenen, L. (2005). “Contextualising Regional Innovation Systems in a Globalising Learning Economy: On Knowledge Bases and Institutional Frameworks”. *The Journal of Technology Transfer*, vol. 31, n° 1, pp. 163-173.

- Audretsch, D. B. y Feldman, M. P. (1996). "R&D spillovers and the geography of innovation and production". *The American Economic Review*, vol. 86, n° 3, pp. 630-640.
- Austin, P. C., Goel, V. y van Walraven, C. (2001). "An Introduction to Multi-level Regression Models". *Canadian Journal of Public Health*, vol. 92, n° 2, pp. 150-154. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF03404950>.
- Barasa, L.; Knoblen, J.; Vermeulen, P.; Kimuyu, P. y Kinyanjui, B. (2017). "Institutions, resources and innovation in East Africa : A firm level approach". *Research Policy*, vol. 46, n° 1, pp. 280-291. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2016.11.008>.
- Beugelsdijk, S. (2007). "The regional environment and a firm's innovative performance: a plea for a multilevel interactionist approach". *Economic Geography*, vol. 82, n° 2, pp. 181-199.
- Castellacci, F., & Natera, J. M. (2012). Innovation surveys in Latin America: a primer. *Innovation and Development*, 2(1), 199-204.
- Castellacci, F., & Natera, J. M. (2011). A new panel dataset for cross-country analyses of national systems, growth and development (CANA). *Innovation and Development*, 1(2), 205-226.
- Cirera, X. y Muzi, S. (2020). "Measuring innovation using firm-level surveys: Evidence from developing countries". *Research Policy*, vol. 49, n° 3. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.respol.2019.103912>.
- Corrado, L. y Fingleton, B. (2012). "Where is the economics in spatial econometrics?". *Journal of Regional Science*, vol. 52, n° 2, pp. 210-239. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9787.2011.00726.x>.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2017). "Metodología General Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica en la Industria Manufacturera (EDIT)". *Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT)*. Bogotá: DANE. Disponible en: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/tecnologia-e-innovacion/encuesta-de-desarrollo-e-innovacion-tecnologica-edit>.
- Doloreux, D. y Parto, S. (2005). "Regional innovation systems: Current discourse and unresolved issues". *Technology in Society*, vol. 27, n° 2, pp. 133-153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.01.002>.

- Evangelista, R., Iammarino, S., Mastrostefano, V., & Silvani, A. (2002). Looking for regional systems of innovation: evidence from the Italian innovation survey. *Regional studies*, 36(2), 173-186.
- Feldman, M. (1994). *The geography of innovation*, vol. 2. Dordrecht: Springer.
- Goedhuys, M. y Srholec, M. (2015). “Technological Capabilities, Institutions and Firm Productivity: A Multilevel Study”. *The European Journal of Development Research*, vol. 27, n° 1, pp. 122-139. DOI: <https://doi.org/10.1057/ejdr.2014.32>.
- Goldstein, H. (2003). *Multilevel statistical models*. Nueva Jersey: John Wiley & Sons.
- Gordon, I. R. y McCann, P. (2005). “Innovation, agglomeration, and regional development”. *Journal of Economic Geography*, vol. 5, n° 5, pp. 523-543. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbh072>.
- Greunz, L. (2003). “Geographically and technologically mediated knowledge spillovers between European regions”. *The Annals of Regional Science*, vol. 37, n° 4, pp. 657-680. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00168-003-0131-3>.
- Gupta, A. K.; Tesluk, P. E. y Taylor, M. S. (2007). “Innovation at and Across Multiple Levels of Analysis”. *Organization Science*, vol. 18, n° 6, pp. 885-897. DOI: <https://doi.org/10.1287/orsc.1070.0337>.
- Heck, R. H. y Thomas, S. L. (2015). *An introduction to multilevel modeling techniques: MLM and SEM approaches using Mplus*. Nueva York: Routledge.
- Hox, J., Moerbeek, M. y van de Schoot, R. (2018). *Multilevel analysis: Techniques and applications*. Nueva York: Routledge.
- Iammarino, S. (2005). “An evolutionary integrated view of Regional Systems of Innovation: Concepts, measures and historical perspectives”. *European Planning Studies*, vol. 13, n° 4, pp. 497-519. DOI: <https://doi.org/10.1080/09654310500107084>.
- Jaffe, A. B. (1986). “American Economic Association Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms’ Patents, Profits, and Market Value”. *Source: The American Economic Review*, vol. 76, n° 5, pp. 984-1001.
- Klein, K. J., Dansereau, F. y Hall, R. J. (1994). “Levels Issues in Theory Development, Data Collection, and Analysis”. *The Academy of*

- Management Review*, vol. 19, n° 2, pp. 195-229. DOI: <https://doi.org/10.2307/258703>.
- Krull, J. L. y MacKinnon, D. P. (2001). "Multilevel Modeling of Individual and Group Level Mediated Effects". *Multivariate Behavioral Research*, vol. 36, n° 2, pp. 249-277. DOI: https://doi.org/10.1207/S15327906MBR3602_06.
- Lastres, H. M y Cassiolato, J. E. (2005). "Innovation systems and local productive arrangements: New strategies to promote the generation, acquisition and diffusion of knowledge". *Innovation: Organization & Management*, vol. 7, n° 2-3, pp. 172-187.
- _____. (2012). "Innovation surveys in Latin America: a primer". *Innovation and Development*, vol. 2, n° 1, pp. 199-204. DOI: <https://doi.org/10.1080/2157930x.2012.663585>.
- Lawrence, P. R. y Lorsch, J. W. (1967). *Organization & Environment*. Boston, MA: Harvard Business School, Division of Research.
- Lederman, D. (2010). "An international multilevel analysis of product innovation". *Journal of International Business Studies*, vol. 41, n° 4, pp. 606-619. DOI: <https://doi.org/10.1057/jibs.2009.30>.
- Losada-Otálora, M. y Zuluaga, J. C. (2013). "Derramamientos sectoriales de conocimiento e innovación en la industria manufacturera colombiana: un análisis multinivel". *Innovar*, vol. 23, n° 47, pp. 19-32.
- Lundvall, B.-Å. (1992). *National Systems of Innovation: Toward a Theory of Innovation and Interactive Learning*. UK: Anthem Press.
- Mohnen, P. y Röller, L. (2005). "Complementarities in innovation policy". *European Economic Review*, vol. 49, n° 6, pp. 1431-1450.
- Moulton, B. R. (1990). An illustration of a pitfall in estimating the effects of aggregate variables on micro units. *The review of Economics and Statistics*, 334-338.
- Rabe-Hesketh, S. y Skrondal, A. (2008). *Multilevel and longitudinal modeling using Stata*. Texas: Stata Press.
- Rasbash, J. (2008). *Module 4: Multilevel structures and classifications*. Bristol: Centre for Multilevel Modelling.
- Raudenbush, S. W. y Bryk, A. S. (1992). *Hierarchical linear models: Applications and data analysis methods*, vol. 1. Thousand Oaks, CA: SAGE.

- Robinson, W. S. (1950). "Ecological Correlations and the Behavior of Individuals". *Source: The American Sociological Review*, vol. 15, n° 3.
- Rousseau, D. M. (1985). "Issues of level in organizational research: Multi-level and cross-level perspectives". *Research in Organizational Behavior*, n° 7, pp. 1-37.
- Santos, D. F. L.; Basso, L. F. C. y Kimura, H. (2018). "The trajectory of the ability to innovate and the financial performance of the Brazilian industry". *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 127, pp. 258-270. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2017.09.027>.
- Schmidt, S. y Balestrin, A. (2015). "Brazilian Incubators and Science Parks' Resources and R&D Collaboration". *Journal of Technology Management & Innovation*, vol. 10, n° 3, pp. 32-43. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-27242015000300004>.
- Schmutzler, J. y Lorenz, E. (2018). "Tolerance, agglomeration, and enterprise innovation performance: A multilevel analysis of Latin American regions". *Industrial and Corporate Change*, vol. 27, n° 2, pp. 243-268. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtx034>.
- Scott, W. R. (2003). *Organizations: Rational, natural, and open systems*. Nueva Jersey: Prentice Hall.
- Sears, G. J. y Baba, V. V. (2011). "Toward a Multistage, Multilevel Theory". *Canadian Journal of Administrative Sciences*, vol. 28, n° 4, pp. 357-372.
- Snijders, T. A. y Bosker, R. J. (1999). *Multilevel analysis: An introduction to basic and advanced multilevel modeling*. Thousand Oaks, CA: SAGE.
- Srholec, M. (2010). "A Multilevel Approach to Geography of Innovation". *Regional Studies*, vol. 44, n° 9, pp. 1207-1220. DOI: <https://doi.org/10.1080/00343400903365094>.
- _____ (2011). "A multilevel analysis of innovation in developing countries". *Industrial and Corporate Change*, vol. 20, n° 6, pp. 1539-1569. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dtr024>.
- Srholec, M. y Verspagen, B. (2012). "The Voyage of the Beagle into innovation: explorations on heterogeneity, selection, and sectors". *Industrial and Corporate Change*, vol. 21, n° 5, pp. 1221-1253. DOI: <https://doi.org/10.1093/icc/dts026>.

- Sutz, J. (2012). “Measuring innovation in developing countries: Some suggestions to achieve more accurate and useful indicators”. *International Journal of Technological Learning, Innovation and Development*, vol. 5, n° 1-2, pp. 40-57. DOI: <https://doi.org/10.1504/IJTLID.2012.044876>.
- Trajtenberg, M.; Henderson, R. y Jaffe, A. B. (1993). “Geographic Localization of Knowledge Spillovers as Evidenced by Patent Citations”. *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 108, n° 3, pp. 577-598. DOI: <https://doi.org/10.2307/2118401>.
- Wooldridge, M. (2003). *Reasoning about rational agents*. Cambridge, MA: MIT Press.

Anexo

Este anexo contiene la información para replicar en R el caso presentado anteriormente. Comenzamos por limpiar el espacio de trabajo y cargar las librerías:

```
rm(list=ls())
library(lme4) # Modelación multinivel
library(lmtest) # Test de verosimilitud
library(ggplot2) # Visualización
library(sjPlot) # Tablas de regresión
```

Se define en el objeto *archivo.url* el enlace en el que se encuentra la base de datos y luego cargamos la base de datos que utilizaremos como ejemplo en el objeto *dt*. Como se mencionó en la sección del modelo multinivel, se utilizó la base de datos de la Encuesta de Desarrollo e Innovación Tecnológica (EDIT) del 2016. Los datos se ajustaron para fines académicos. Los nombres de las variables de *dt* se visualizan con la función *names(dt)*

```
archivo.url <- "https://raw.githubusercontent.com/guillermo-orjuela/lalics-multinivel/main/df_example-lalics_V190321" # Cargue de la base de datos del repositorio Github

dt <- read.csv(archivo.url, sep = ",", header = T) # leer el archivo de formato .csv
```

```
names(dt)
```

```
## [1] "firm" "ino" "CIIU4" "rd" "rdlg" "rds"
```

La base de datos *dt* contiene seis variables: la variable *firm* es el identificador de cada empresa (observación); *ino* es el número de innovaciones de la empresa; *CIIU4* son los últimos dos dígitos del código CIIU que permite conocer el sector económico al cual pertenece la empresa; *rd*, *rdlg* y *rds* son las variables de inversión en I+D de la empresa en miles COP, en escala logarítmica y la variable centrada en su media, respectivamente.

Regresión de MCO

Comenzamos por replicar los resultados del modelo de MCO del cuadro 1. El objeto *ml* contiene la información de la regresión de MCO y se visualiza mediante la función *tab_model*.

```
ml <- lm(ino ~ 1 + rdlg, data=dt) # Modelo MCO
# Resumen del modelo ml
tab_model(ml, show.ci=F, show.se=T, show.p=T,
p.style="stars", show.aic=T, show.obs=T,
show.r2=T, show.icc=F, collapse.se=T, emph.p=T,
show.ngroups=T, string.est="Coeficiente", transform = NULL,
dv.labels="Número de innovaciones")
```

Modelo nulo a nivel de empresa (un solo nivel)

El objeto *m0* contiene los resultados de la regresión del modelo nulo a nivel de la empresa. A continuación, se muestra cómo estimar y visualizar *m0*

```
m0 <- lm(ino ~ 1, data = dt)
tab_model(m0, show.ci=F, show.se=T, show.p=T,
p.style="stars", show.aic=T, show.obs=T,
show.r2=T, show.icc=F, collapse.se=T, emph.p=T,
show.ngroups=T, string.est="Coeficiente", transform = NULL,
dv.labels="Número de innovaciones")
```

Regresión con intercepto aleatorio (modelo nulo multinivel)

El primer modelo multinivel que se debe estimar es un modelo nulo (sin variables explicativas). *m1* es el modelo nulo que se estima mediante la función del modelo lineal de efectos mixtos *lmer*. El modelo tiene la variable dependiente *ino* y el intercepto (representado por 1). Además, el intercepto es aleatorio según los sectores económicos (*1|CIIU4*). La función *tab_model* muestra la información de este modelo tal como aparece en el cuadro 2. Faltaría estimar el test de verosimilitud entre el modelo multinivel nulo y el modelo de MCO, el cual se hace con la función *lrtest*.

```
m1 <- lmer(ino ~ 1 + (1|CIIU4), data = d
tab_model(m1, show.ci=F, show.se=T, show.p=T,
p.style="stars", show.aic=T, show.obs=T,
show.r2=T, show.icc=T, collapse.se=T, emph.p=T,
show.ngroups=T, digits = 3, string.est="Coeficiente", transform =
NULL,
dv.labels="Número de innovaciones")
lrtest(m0, m1) # Prueba de verosimilitud
```

Regresión con intercepto aleatorio y pendiente fija a nivel de la empresa

El siguiente modelo de regresión *m2* se diferencia de *m1* en que hay una variable explicativa *rds* y la cual es fija en los sectores económicos. Este modelo muestra los resultados del cuadro 3. Al igual que el paso anterior, el test de verosimilitud se estima con la función *lrtest*.

Ahora bien, para mostrar el gráfico 1 se deben extraer los valores predichos por el modelo *m2* y crear el vector *predscore* que contiene esta información. Luego se crea la base de datos *datapred* que contiene los valores predichos (variable y de la gráfica), la I+D estandarizada (variable *x*) y la información por sectores económicos (intercepto aleatorio).

```
m2 <- lmer(ino ~ 1 + rds + (1|CIIU4), data = dt)
tab_model(m2, show.ci=F, show.se=T, show.p=T,
p.style="stars", show.aic=T, show.obs=T,
```

```
show.r2=T, show.icc=T, collapse.se=T, emph.p=T,
show.ngroups=T, digits = 3, string.est="Coeficiente", transform =
NULL,
dv.labels="Número de innovaciones")
```

```
lrtest(m1, m2)
```

```
# Estimar valores predichos
predscore <- fitted(m2)
datapred <- unique(data.frame(cbind(predscore = predscore,
rds = dt$rds,
ciu = dt$CIU4)))

# Graficar los valores predichos por sector
ggplot(datapred) + geom_line(aes(rds, predscore, group = ciu),
color="#03989E", size = 0.3) +
scale_x_continuous(limits = c(0, 8), expand = c(0, 0)) +
scale_y_continuous(limits = c(0,1), expand = c(0, 0)) +
labs(x = "I+D (datos estandarizados)", y = "Innovación") +
theme(panel.border = element_rect(color = "grey70", fill = NA),
panel.grid.major.x = element_blank(),
panel.grid.minor.x = element_blank(),
panel.grid.minor.y = element_blank(),
panel.grid.major.y = element_blank(),
axis.text.y = element_text(size = 9, color = "grey40"),
axis.text.x = element_text(size = 9, color = "grey40"),
panel.background = element_rect(fill = "transparent"),
axis.ticks = element_blank())
```

Regresión con intercepto y pendiente aleatoria a nivel de la empresa

El último modelo m_3 se adiciona una pendiente aleatoria en $(1+rds/CIU4)$. Los resultados de este modelo son los que se muestran en el cuadro 4. Al igual que el procedimiento con m_3 , para este caso también se estima el test de verosimilitud y se muestra en el gráfico 2 tal como se muestra a continuación:

```
m3 <- lmer(ino ~ 1 + rds + (1+rds|CIU4), data=dt)
```

```
tab_model(m3, show.ci=F, show.se=T, show.p=T,
p.style="stars", show.aic=T, show.obs=T,
show.r2=T, show.icc=T, collapse.se=T, emph.p=T,
show.ngroups=T, transform = NULL,
dv.labels="Número de innovaciones")
```

```
lrtest(m3, m2)
```

```
# Estimar valores predichos
```

```
predscore2 <- fitted(m3)
datapred2 <- unique(data.frame(cbind(predscore = predscore2,
rds = dt$rds,
ciu = dt$CIU4)))
```

```
# Graficar los valores predichos por sector
```

```
ggplot(datapred2) + geom_line(aes(rds, predscore, group = ciu),
color="#03989E", size = 0.3) +
scale_x_continuous(limits = c(0, 6), expand = c(0, 0)) +
scale_y_continuous(limits = c(0,1), expand = c(0, 0)) +
labs(x = "I+D (datos estandarizados)", y = "Innovación") +
theme(panel.border = element_rect(color = "grey70", fill = NA),
panel.grid.major.x = element_blank(),
panel.grid.minor.x = element_blank(),
panel.grid.minor.y = element_blank(),
panel.grid.major.y = element_blank(),
axis.text.y = element_text(size = 9, color = "grey40"),
axis.text.x = element_text(size = 9, color = "grey40"),
panel.background = element_rect(fill = "transparent"),
axis.ticks = element_blank())
```

Capítulo 11

Drivers tecnológicos del crecimiento. Indicadores agregados y el tratamiento agregado de la heterogeneidad

Nuria E. Laguna Molina, Ana Urraca Ruiz

Introducción

Uno de los límites analíticos de los modelos neoclásicos del crecimiento económico de las naciones en el largo plazo es el tratamiento de la heterogeneidad tecnológica inherente a cada espacio económico. En países en desarrollo, como lo son los países de América Latina, la heterogeneidad adquiere una fuerte dimensión estructural y el desafío de encontrar métodos de análisis coherentes con esta realidad es todavía mayor. El principal problema de la visión neoclásica en cualquiera de sus desdoblamientos teóricos es la ausencia de tratamiento de la heterogeneidad tecnológica. En su lugar, el progreso técnico es entendido apenas como un proceso de capitalización de los recursos productivos cuya asignación varía de país a país. En este sentido, las asimetrías observadas en términos de renta *per cápita* y crecimiento (equilibrios múltiples y clubes de convergencia) son interpretadas como el resultado de procesos de capitalización heterogéneos sin que el modelo determine cuál es la naturaleza de esa heterogeneidad.

En términos teóricos, y en contraposición a la visión neoclásica, la endogeneidad del progreso técnico en la visión neoschumpeteriana significa que la capacidad de un país de avanzar tecnológicamente está vinculada al resto de sus capacidades. Por tanto, innovar y producir son procesos intrínsecamente asociados y ambos evolucionan dentro del

mismo sistema de innovación-producción. La especificidad de los sistemas de innovación-producción (sectoriales o territoriales) es precisamente donde se encuentra la fuente de la heterogeneidad.

En términos metodológicos, la literatura propone dos formas de observar la relación entre progreso técnico y crecimiento económico bajo la perspectiva de la heterogeneidad. La primera es establecer indicadores que caractericen la naturaleza heterogénea del progreso técnico relativos a sistemas nacionales de innovación específicos para, posteriormente, aplicar modelos de cointegración que estimen el grado de interacción entre estas variables y la renta *per cápita* a través del tiempo (Castellacci y Natera, 2013). Esta solución metodológica es muy interesante desde un punto de vista dinámico. Sin embargo, como las interacciones de cada sistema son “espacio-específicas”, la comparación entre sistemas no puede ser jerárquica, es decir, no se pueden establecer mejores o peores sistemas de innovación. Por tanto, no es posible determinar si soluciones institucionales específicas a cada sistema de innovación serían mejores conductores del crecimiento económico que otros. Además, en términos normativos, los sistemas de innovación son irreproducibles e intransferibles, por lo que nada garantiza que el éxito de un sistema referido a un determinado espacio en términos de crecimiento sea reproducible en otro diferente. En este sentido, esta metodología no permite realizar comparaciones *cross-country*.

Una segunda línea de trabajos es la realizada por Castellacci (2006, 2008, 2011) y Urraca-Ruiz y Laguna (2014, 2018). Esta línea de trabajos incorpora de la teoría neoclásica la hipótesis de que el crecimiento económico viene determinado por la oferta (a través del proceso productivo), en el sentido de la ley de Say. Por tanto, el crecimiento puede ser explicado mediante una función de producción que agrega los recursos productivos del país (trabajo, capital y tecnología) y la forma en la que estos se combinan. La función de producción agregada pierde numerosos elementos de la heterogeneidad productiva de un país. No obstante, puede ser interpretada como una representación de la combinación de recursos para producir múltiples productos más que como una agregación de funciones de producción que de hecho son *inagregables*.

A partir de dicha concepción teórica, representada inicialmente por el modelo de crecimiento de Solow, esta propuesta metodológica se aparta de las extensiones neoclásicas. En lugar de considerar el progreso técnico (residuo de Solow) como la “capitalización de los factores productivos” – tal como hacen las teorías del crecimiento endógeno (Romer, 1990), clubs de convergencia (Durlauf y Johnson, 1995; Hansen, 2000) y crecimiento

unificado (Galor, 2007, 2010), se lo considera como un componente endógeno al sistema económico que determina el crecimiento de acuerdo con la capacidad de los países de absorber, reproducir y crear conocimiento; de acompañar los cambios de paradigma en la ciencia y la tecnología; de aprovechar las ventajas productivas y tecnológicas y de crear soluciones institucionales que estimulen el proceso social de aprendizaje. Este conjunto de elementos, típicamente asociados a los sistemas nacionales de innovación, constituye lo que se ha denominado *drivers* tecnológicos.

Este capítulo se divide en cuatro apartados además de esta introducción. En el segundo apartado se expone cuáles serían los principales conductores tecnológicos del crecimiento (*drivers*) y su naturaleza. Después, en el tercer apartado, se explica cómo pueden ser medidos y a través de qué fuentes para posteriormente, en el siguiente apartado, introducirlos en el modelo de crecimiento. El capítulo se cierra con una sección de conclusiones en las que se comentan algunas utilidades del modelo para explicar otros fenómenos, como la convergencia y la desigualdad, así como sus conexiones con otras metodologías, como la agregación de indicadores.

Technology drivers o inductores tecnológicos del crecimiento

Se denominan “inductores tecnológicos del crecimiento” o *drivers* a aquellas variables de naturaleza tecnológica que, por hipótesis, inducen o aceleran el crecimiento económico a largo plazo. El progreso técnico induce el crecimiento de diversas formas, pues los países pueden seguir diferentes caminos para crear conocimiento y adaptarlo a sus procesos productivos. Esas diferentes formas se corresponden con la estructura y evolución de los sistemas de producción-innovación nacionales que son propios y específicos de cada país.

Los *drivers* del crecimiento son, en definitiva, una visión dinámica de todos los elementos que permiten a los países crear capacitación tecnológica o de innovación, lo que incluye capacidad para crear y difundir innovaciones, de un lado, y capacidad de absorción, por otro. La capacitación tecnológica de un país puede ser inferida indirectamente a partir de la productividad total de los factores (PTF), como lo hacen los modelos neoclásicos, o directamente, mediante una batería de indicadores que recogen todas las dimensiones y factores implicados en el proceso de producción y difusión de innovaciones. Una síntesis de estos elementos se recoge en el cuadro 1.

Cuadro 1. Dimensiones y variables que caracterizan la capacitación tecnológica nacional

Autores	Dimensiones	Variables	Fuente
Wef technology index	Capacidad de innovación	Patentes USDTO, matrículas alumnos, encuestas	USPTO, UNESCO, WEF
	Difusión	Internet, líneas de teléfono, PCs, encuestas	World Bank, WEF
	Transferencia de tecnología	Exportaciones no primarias, encuestas	UNStatistics, WEF
	Creación de tecnología	Patentes por hb (oficinas nacionales)	Wipo
UNDP Tech index	Difusión de nuevas tecnologías	Recibos de royalties y licencias	World Bank
		Puntos de internet	ITU
		Exportaciones de media y alta tecnología	UNStatistics, Lall (2001a)
	Difusión de viejas tecnologías	Líneas telefónicas, consumo eléctrico	UNStatistics, World Bank
	Habilidades humanas	Años de escolaridad, matrículas en educación terciaria	World Bank, UNESCO
	Actividad innovadora	Patentes, publicaciones científicas	USPTO, NSF
ArCo	Technology infrastructure (old and new)	Internet, líneas de teléfono fijo y mobil, consumo eléctrico	ITU, World Bank
	Capital humano	Matrículas en educación terciaria, años de escolaridad, alfabetización	UNESCO, Barro y Lee (2001)
	Índice de tecnología global	IDE, pagos por licencia de tecnología, importaciones de bienes de capital	-
	Esfuerzo tecnológico	Patentes USPTO, financiamiento empresarial de la I+D	USPTO, UNESCO, WEF
IDS- UNIDO	Desempeño competitivo industrial	VAB industrial, proporción del VAB en industrias de media y alta tecnología, exportación de manufacturas, proporción de las exportaciones en productos de media y alta tecnología	UNIDO, COMTRADE
	Importación de tecnología	IED, pagos por royalties extranjeros, bienes de capital	UNCTAD, World Bank
	Habilidades e infraestructuras	Tertiary technical enrolment, telephone mainlines	UNESCO
	Factores habilitadores	GDP, matriculación educación terciaria	UNDP
STICIRAND corporation	Recursos	Gastos I+D, número de instituciones y de científicos e ingenieros	UNDP
	Conocimiento incorporado	Patentes, publicaciones en C&T, coautoría en trabajos científicos y técnicos	USPTO, NSF

Knowledge	Sistema de innovación	20 variables	World Bank Institute
Assesment	Educación y entrenamiento	16 variables	World Bank Institute
Methodology	Información e infraestructura	13 variables	World Bank Institute
	Innovación y capacidades tecnológicas	Patentes USPTO, artículos científicos, pagos por licencias y royalties, GI+D	World Bank, USPTO, UNESCO, OEDC, RICYT
	Competitividad económica	Contratos de refuerzos (tiempo y coste), crédito doméstico, libertad financiera y abertura	World Bank (Doing Business, Heritage Foundation), UNCTAD
CANA, 2015	Sistema educativo y capital humano	Matrículas escolares (primario, secundario y terciario), años de escolaridad, gasto público en educación, relación profesor-alumno	UNESCO, Barro Y Lee (2001)
	Factores político e institucionales	Corrupción, libertad de prensa, de expresión, derechos humanos, derechos políticos, libertades civiles, libertad de asociación, conflictos armados	Transparencia Internacional, Freedom house, PRIO, varios autores
	Capital social	Importancia de la familia/amigos en la vida, institución matrimonial, índice de Gini, confiabilidad, felicidad	World Values Survey, United Nations
	Bioeconomía	21 variables	World Bank
	Competitividad económica	19 variables	World Bank
	Sistema educativo	22 variables	World Bank, UNESCO, UNData
	Crecimiento y desarrollo	13 variables	World Bank, PWT, OECD
	Infraestructuras	7 variables	World Bank
CANA, 2020	Innovación y capacitación tecnológica	19 variables	World Bank, UNESCO, OCDE, USPTO, RICYT, UNCTAD
	Internacionalización	26 variables	World Bank, UNCTAD
	Estructura productiva	14 variables	World Bank
	Factores sociopolíticos	14 variables	CIRI Human Rights, Freedom House, World Bank, varios autores

Fuente: elaboración propia a partir de Archibugi y Cocco (2004, 2005), Castellacci y Natera (2011)

Los principales resultados reportados en las obras de Archibugi y Coco (2004, 2005) y Castellacci y Archibugi (2008) acerca de las metodologías de elaboración de índices sintéticos para medir la capacitación tecnológica nacional muestran que, con carácter general, las variables se clasifican en categorías o dimensiones conceptuales. Así, la creación y difusión de tecnologías responde a la idea de capacidad de innovación, mientras que las infraestructuras y las habilidades humanas hacen referencia a la capacidad de absorción. Una tercera dimensión es la que se refiere al ambiente económico e institucional, normalmente recogido a través de dos categorías, la relativa al ambiente competitivo y de mercado y la concerniente a las reglas e incentivos de las políticas económicas, sociales y de innovación.

Dimensión 1. Capacidad de innovación-difusión

Creación de tecnología: incluye las variables relativas a los insumos del proceso de producción de innovaciones (gasto y personal empleado en actividades de I+D) y los resultados de los esfuerzos en innovación privados (patentes) y públicos (artículos científicos). Otras variables de resultado pueden ser también los ingresos por cesiones de uso de la propiedad industrial e intelectual.

Difusión de tecnología: comprende desde variables relativas a infraestructuras, como dominios de internet o líneas de teléfono fijo y móvil, hasta variables que representan flujos o *spillovers* tecnológicos, como importaciones de bienes de capital e intensivos en tecnología o pagos por royalties e inversión extranjera directa.

Dimensión 2. Capacidad de absorción

Infraestructuras: incorpora los activos tangibles que facilitan o mejoran el proceso de creación-difusión de innovaciones. Son variables relacionadas con la energía y las redes de transporte y telecomunicaciones.

Habilidades humanas: recoge básicamente variables que miden la cualificación de los recursos humanos, como tasas de alfabetización, de escolarización y gastos en educación. Esta variable también tiene efectos por externalidad con la productividad de la I+D y con los ritmos de difusión.

Dimensión 3. Ambiente externo

Ambiente competitivo: incluye variables relacionadas con indicadores de desempeño macroeconómico, la especialización productiva, comercial y tecnológica, así como barómetros de libertad en los mercados, apertura comercial, etc.

Ambiente sociopolítico: variables como la libertad de expresión, de asociación, de prensa, derechos humanos, democracia y autocracia, derechos civiles, etc.

Sobre la aplicación de este conjunto de variables, tanto para la elaboración de índices como para su incorporación en modelos de panel, deben ser hechas cuatro consideraciones adicionales. La primera se refiere a los límites analíticos de algunas de ellas, como es el caso de las patentes para medir la creación de conocimiento tácito; de la publicación de artículos científicos, que tiende a concentrarse en países de habla inglesa; de la importación de bienes, la cual depende de diferentes regímenes de apertura y protección, así como del tamaño del país; la importación de servicios, la cual puede estar enmascarando transacciones financieras dentro de la misma corporación, etc. La segunda se refiere a la ambivalencia de algunas variables. Por ejemplo, entre las mencionadas, las infraestructuras y las habilidades humanas están ligadas a la capacidad de absorción, pero también son factores que facilitan la productividad de la I+D y la difusión, esto es, favorecen un mayor volumen de *output* por unidad de *input*. La tercera es que existe una elevada correlación entre variables, lo que debe ser tenido en consideración, especialmente, en el diseño de los modelos de panel para evitar problemas de correlación. Por ejemplo, parece claro que los países que dedican más esfuerzo a la innovación serán los que obtengan mejores resultados. Lo mismo podría decirse con relación a las variables de calidad institucional o de ambiente político y económico. Por esta razón, algunos trabajos empíricos realizan un análisis factorial previo para identificar variables que pertenecerían al mismo grupo o factor. La evidencia revela que, generalmente, las infraestructuras y las habilidades humanas pertenecen al mismo factor, así como otras variables relativas a la creación y difusión de innovaciones. Finalmente, no todos los países disponen de información para todas las variables, lo que hace difícil la aplicación de metodologías de panel o de indicadores sintéticos para conjuntos amplios de países que incluyan países en desarrollo o países menos avanzados, como los latinoamericanos, africanos y algunos europeos y asiáticos. En este sentido, las bases

de datos de Castellacci y Natera (2011) suponen un esfuerzo metodológico importante en la realización por estimación e imputación de los valores faltantes para un conjunto de países y años.

Los modelos de panel que estudian el papel de los *drivers* tecnológicos en el crecimiento a largo plazo y la convergencia siguen un método de organización de variables muy similar al aplicado en la elaboración de índices sintéticos (cuadro 2). Los trabajos de Castellacci (2006, 2011) y de Castellacci y Natera (2013) prácticamente trabajan con dos de las dimensiones mencionadas anteriormente, esto es, la capacidad de innovación por un lado y la capacidad de absorción –también denominada capacidad de imitación por otro, considerando que las variables relativas a capacidad de absorción ya recogen la capacidad de difusión.

Otra propuesta metodológica es la del trabajo de Urraca-Ruiz y Laguna (2018) en la que las dimensiones diferencian entre:

- Fuentes internas, las cuales engloban tanto la capacidad de innovación como los esfuerzos propios en desarrollar capacidad de absorción.
- Fuentes externas, esto es, la captura nacional de esfuerzos realizados en el exterior, bien por importación de bienes de alta tecnológica y bienes de capital como por transferencia de tecnología por cooperación tecnológica transnacional utilizando indicadores de patentes.
- Especialización tecnológica, que representa el papel de la posición tecnológica de los países para aprovechar oportunidades tecnológicas o el empuje de tecnologías con fuertes *spillovers*, como las intensivas en I+D.
- Estabilidad de las políticas de ciencia y tecnología, medida como la contribución del sector público a la producción de patentes dentro del ámbito de las universidades y centros públicos de investigación (ciencia) como de las empresas públicas (tecnología).

Cuadro 2. Dimensiones y variables que representan drivers tecnológicos del crecimiento de largo plazo

Autor	Dimensiones	Variable	Indicador
Castellacci (2006), Capacitación tecnológica (ArCo)	Infraestructuras tecnológicas y capital humano		Indicadores de infraestructuras tecnológicas y habilidades humanas
	Creación y difusión de conocimiento codificado knowledge (capacidad de innovación)		Patentes per cápita Intensidad de publicación en CyT Penetración de internet Indicadores de I+D
Castellacci (2011)	Creación de conocimiento	Intensidad de innovación	Indicadores de I+D Intensidad de publicación en CyT
		Productividad del sector de I+D	Indicadores de habilidades humanas Indicadores de infraestructura
	Imitación de conocimiento	Distancia tecnológica a la frontera	Gap tecnológico (especificación del modelo)
		Capacidad de absorción	Indicadores de capital humano y de infraestructuras tecnológicas
Castellacci y Natera (2013)	Capacidad de innovación	Output de innovación	Indicadores de I+D
		Output científico	Intensidad de publicación en CyT
		Output tecnológico	Indicadores de patentes, nuevos productos
	Capacidad de absorción	Comercio internacional	Grado de apertura
		Capital humano	Indicadores de habilidades humanas
		Infraestructuras	Indicadores de transporte y comunicaciones
		Calidad de las instituciones y sistema de gobierno Cohesión social y desigualdad	Indicadores sociopolíticos e institucionales
Laguna y Urraca-Ruiz (2018)	Capacitación tecnológica interna	Asignación de recursos a la innovación	Indicadores de I+D, patentes y publicaciones CyT
		Capacidad de absorción	Indicadores de habilidades humanas e infraestructuras tecnológicas
	Spillovers externos	Tecnología incorporada	Importaciones de productos de alta tecnología y bienes de capital
		Tecnología no incorporada: cooperación transnacional	Indicador construido con patentes
	Especialización tecnológica	Especialización dinámica	Indicadores construidos con patentes
		Especialización en industrias intensivas en I+D	
		Especialización en tecnologías de oportunidad tecnológica dinámica	
		Diversificación tecnológica	
	Estabilidad de las políticas de CyT	Estabilidad de la política científica	
Estabilidad de la política tecnológica			

Fuente: elaboración propia

Las diferencias entre las metodologías son pequeñas y los principales indicadores están presentes en todas ellas. Los trabajos de Castellacci dan continuidad a las categorías de Archibugi y Coco que habían sido desarrolladas para elaborar indicadores sintéticos. Esta visión está fuertemente enfocada en las variables tecnológicas que componen el sistema nacional de innovación y que determinan la capacitación tecnológica nacional. Los trabajos de Urraca-Ruiz y Laguna, más preocupados por el problema de las asimetrías de crecimiento en el largo plazo, utilizan una batería de indicadores fundamentados no solo en las variables de capacitación nacional, sino también en las teorías de los *gaps* tecnológicos y *spillovers*, en las teorías estructuralistas en las que las “buenas” especializaciones pueden representar una fuente de ventajas para impulsar el crecimiento, y en una visión sobre el papel importante de las políticas públicas como un sistema de incentivos a la asignación de recursos a la innovación.

Indicadores y fuentes de información

Una forma de sintetizar las contribuciones de los autores en sus diferentes trabajos es la que se presenta en el cuadro 3. Las cuatro dimensiones en las que pueden encuadrarse los *drivers* tecnológicos son: la capacidad tecnológica interna, los *spillovers* procedentes de relaciones comerciales, productivas y tecnológicas con el exterior, las ventajas productivas y tecnológicas y el marco institucional.

La *capacidad tecnológica interna* (o nacional) representa la capacidad de producción de ciencia y tecnología, en términos de asignación de recursos y obtención de resultados, y la capacidad de absorción. La capacidad de absorción entendida como la capacidad de identificar conocimiento relevante, asimilarlo y adaptarlo a objetivos específicos, tiene una doble naturaleza. Por un lado, la capacidad de absorción será mayor cuantos mayores sean los recursos dedicados al aprendizaje. En este sentido, la asignación de recursos a la innovación estimula la capacidad de absorción pues en todo proceso de búsqueda hay aprendizaje, en el sentido de Cohen y Levinthal (1989, 1990). Este aspecto de la capacidad de absorción ya estaría recogido por la capacidad de innovación o producción de ciencia y tecnología. Por otro lado, la capacidad de absorción está asociada a aspectos del ambiente que facilitan la difusión de tecnologías. Entre estos, la literatura identifica las habilidades humanas y las infraestructuras tecnológicas y no tecnológicas. Para algunos autores, la capacidad de absorción y de difusión está también relacionada con una baja

heterogeneidad estructural. Esto es, cuanto más homogéneos son los agentes (empresas y familias), más rápida sería la difusión tecnológica. Con todo, la heterogeneidad estructural es muy difícil de medir directamente. Por esta razón, la literatura apunta a indicadores indirectos relacionados con factores que inducen a la reducción de asimetrías entre empresas (por ejemplo, el libre comercio o la integración comercial que favorecen mercados más competitivos); o entre personas (por ejemplo, la menor desigualdad social o los contextos sociopolíticos en los que existen libertades civiles). Estos factores, sin embargo, dada su dimensión institucional y estructural, no serán incluidos como indicadores de capacidad de absorción en sentido estricto.

Los spillovers externos representan los *drivers* tecnológicos que inducen al crecimiento a través de las relaciones comerciales, productivas y tecnológicas que el país mantiene con el resto del mundo. Aunque la literatura asocia estos *spillovers* a la velocidad de difusión tecnológica, aquí son considerados como una dimensión específica dada su naturaleza externa, esto es, por tratarse de la absorción tecnológica que realiza un país de los esfuerzos tecnológicos realizados en el exterior. Los *spillovers* tecnológicos tienen lugar cuando se producen flujos (del exterior hacia el país) que implican transferencia de tecnología o conocimiento. En este sentido, se identifican los flujos comerciales de tecnología incorporada (importación de bienes), flujos de tecnología no incorporada (importación de servicios y actividades de cooperación) y flujos de capitales que están asociados con la producción y las tecnologías utilizadas (inversión extranjera directa).

Cuadro 3. Dimensiones y variables que representan los drivers tecnológicos

Dimensiones	Variables o drivers
Capacidad tecnológica interna	Producción de CyT: insumos y productos
	Absorción/difusión: habilidades humanas
	Absorción/difusión: infraestructuras tecnológicas
	Absorción/difusión: infraestructuras no tecnológicas
Spillovers externos	Transferencia de tecnología incorporada
	Transferencia de tecnología no incorporada
	Flujos tecnológicos asociados a la inversión extranjera directa y la libre movilidad de capitales
Estructura tecnoeconómica	Ventajas productivas
	Ventajas comerciales
	Ventajas tecnológicas
Marco institucional	Estabilidad de las políticas de CyT
	Contexto social: libertades y derechos civiles
	Asimetrías internas: desigualdad

Fuente: elaboración propia

Desde un punto de vista teórico y estructuralista, la especialización de la estructura productiva, comercial y tecnológica tiene efectos en el crecimiento de un país, esto es, determinadas especializaciones estimulan más el crecimiento que otras. Esto se debe a que la producción o exportación de ciertos productos generan un mayor valor añadido o tienen un efecto mayor sobre el aumento de la productividad. Las ventajas tecnológicas de un país suelen estar asociadas a las ventajas productivas, por lo que las ventajas en tecnologías asociadas a industrias de alto valor añadido y productividad pueden representar una mayor capacidad de crecer. Además, las ventajas tecnológicas se pueden definir también en términos de la capacidad de un país de aprovechar las oportunidades tecnológicas que ofrecen las trayectorias del progreso técnico.

Finalmente, el *marco institucional* constituye el conjunto de reglas que representan los incentivos necesarios para que un país realice lo que Abramovitz llamó “capacidad social de aprendizaje”. Dentro de este marco institucional se diferencia entre reglas que se corresponden con la implementación de políticas científicas y tecnológicas y reglas que ayudan a mantener la estabilidad social y la reducción de heterogeneidad. Sin embargo, el debate sobre si sistemas democráticos o mayores libertades civiles se corresponden con mayor igualdad o menor heterogeneidad todavía no está cerrado.

Para cada una de estas dimensiones se encuentran indicadores directamente elaborados y disponibles en fuentes oficiales. La mayor parte de ellos ya son relativos, es decir, se ofrecen en términos de otra variable para eliminar el efecto tamaño (como porcentaje del PIB, por habitante, por número de habitantes, etc.). En otras ocasiones, el analista deberá utilizar las fuentes oficiales para elaborar indicadores específicos que recojan mejor el efecto que se desea capturar.

Cuadro 4. Indicadores de capacitación tecnológica nacional

Variables/indicadores	Fuente	Definición
Capacidad de innovación de CyT: insumos y productos		
Intensidad en I+D	CANA (UNESCO, BM, OCDE)	Gasto en I+D como % del PIB
Empleo en actividades de I+D	UNESCO Data UIS	Total empleados en actividades de I + D por cada mil empleados (expresado en términos equivalentes a tiempo completo, FTE)*
Revistas de artículos técnicos y científicos (por millón de hb.)	CANA (BM)	Número de artículos científicos y de ingeniería publicados en los siguientes campos: física, biología, química, matemáticas, medicina clínica, investigación biomédica, ingeniería y tecnología, ciencias de la tierra y el espacio, por millón de personas
Patentes (por millón de hb.)	EPO/USPTO	Stocks de patentes (con o sin tasa de depreciación)
Capacidad de absorción: habilidades humanas		
Matrículas escolares, primaria (% bruto)	CANA (BM)	Relación entre la matrícula total, independientemente de la edad, y la población del grupo de edad que corresponde oficialmente al nivel de primaria
Matrículas escolares, secundaria (% bruto)	CANA (BM)	Relación entre la matrícula total, independientemente de la edad, y la población del grupo de edad que corresponde oficialmente al nivel de secundaria
Matrículas escolares, estudios superiores (% bruto)	CANA (BM)	Relación entre la matrícula total, independientemente de la edad, y la población del grupo de edad que corresponde oficialmente al nivel de estudios superiores
Intensidad del gasto público en educación	CANA (BM)	Gasto público en educación (gasto corriente, de capital y transferencias) expresado como porcentaje del PIB
Índice de capital humano	BM	El ICH calcula la contribución de la sanidad y la educación en la productividad de los trabajadores. El valor final del índice varía de cero a uno y mide la productividad como futuro trabajador de un niño nacido hoy en relación con un benchmark con acceso completo a la sanidad y educación
Promedio de años de escolaridad (población mayor de 25 años)	CANA (UNESCO, PNUD)	a) UNESCO, número promedio de años de educación completados por la población de 25 años o más, excluyendo los años en los que se repitió un nivel b) PNUD, número promedio de años de educación recibidos por personas de 25 años de edad y mayores, usando duraciones oficiales de cada nivel
Capacidad de absorción: infraestructuras tecnológicas		
Usuarios de internet (por cada 100 personas)	CANA (BM)	Usuarios de internet que han utilizado la red (desde cualquier lugar) en los últimos 3 meses a través de un ordenador, teléfono móvil, asistente digital personal, máquina de juegos, TV digital, etc.
Suscripciones telefonía móvil (por cada 100 personas)	CANA (BM)	Suscripciones a un servicio público de telefonía móvil que proporciona acceso a la RTPC mediante tecnología celular*
Suscripciones telefonía fija (por cada 100 personas)	CANA (BM)	Número activo de líneas telefónicas fijas analógicas, suscripciones de voz (VoIP), suscripciones de bucle local inalámbrico fijo (WLL) y teléfonos públicos fijos
Capacidad de absorción: infraestructuras no tecnológicas		
Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)	CANA (BM)	Producción de plantas de energía y plantas combinadas de calor y electricidad descontando pérdidas de transmisión, distribución y transformación y uso propio de las plantas de calor y energía
Calidad de la infraestructura portuaria	CANA (BM)	Percepción de las empresas sobre la calidad de las instalaciones portuarias de su país. Los datos provienen de la Encuesta de Opinión Ejecutiva del Foro Económico Mundial, WEF (1 = infraestructura portuaria extremadamente subdesarrollada a 7 = bien desarrollada y eficiente según los estándares internacionales)
Transporte aéreo, pasajeros transportados	CANA (BM)	Los pasajeros aéreos transportados incluyen pasajeros de aeronaves nacionales e internacionales de compañías aéreas registradas en el país

Nota: (*) Metodología en OCDE (2015).

Fuente: elaboración propia

Los indicadores de capacitación tecnológica nacional se han agrupado en cuatro categorías; un grupo para capacidad de innovación y tres grupos para capacidad de absorción: habilidades humanas, infraestructuras tecnológicas e infraestructuras no tecnológicas. La mayor parte de los indicadores reportados en el cuadro 4 tienen como fuente de información la base de datos de CANA (Castellacci y Natera, 2011). CANA es una base de datos que permite construir paneles balanceados, lo que supone una gran ayuda frente a las limitaciones que los datos faltantes imponen en los análisis de sistemas de innovación con series temporales a nivel de país. La última versión de CANA ofrece un amplio conjunto de indicadores clasificados en nueve dimensiones: bioeconomía, competitividad económica, sistema educativo, crecimiento y desarrollo, infraestructura, innovación y capacidades tecnológicas, internacionalización, estructura productiva y factores sociopolíticos. Los indicadores están disponibles para más de un centenar de países desarrollados y economías en desarrollo y para un período temporal que varía de 1970 a 2015.

Entre las variables reportadas en el cuadro 4 merece especial atención la de stocks de patentes. Hay dos formas de tratar los stocks de patentes: con o sin depreciación. En la visión neoclásica, el conocimiento es considerado un factor de capitalización y, por lo tanto, está sujeto a depreciación. Los trabajos aplicados que siguen esta línea normalmente aplican un factor de depreciación lineal ponderando en el tiempo los períodos más recientes. Sin embargo, bajo los supuestos de que las patentes representan stocks de conocimiento creado y acumulado y que el conocimiento no se deprecia en el tiempo, los stocks de patentes pueden ser utilizados sin introducir factor de depreciación. Además, no sería adecuado introducir un mismo factor de ponderación para tecnologías de diferente naturaleza (algunas se relacionan con el factor capital, pero muchas otras son relativas a productos) y que pierden valor de uso a diferentes ritmos en virtud de la dirección que siguen las trayectorias tecnológicas.

Los indicadores relativos a *spillovers* externos diferencian entre *spillovers* asociados a la transferencia de tecnología incorporada, como la importación de bienes de capital y de alto contenido tecnológico, como equipos de comunicaciones, informática e instrumentos; los *spillovers* asociados a la transferencia de tecnología no incorporada en la importación de servicios tecnológicos o mediante la internacionalización tecnológica; y los *spillovers* procedentes de los flujos de inversión extranjera directa (cuadro 5).

Los indicadores de tecnología incorporada son básicamente indicadores de importaciones fácilmente accesibles en la base de datos COMTRADE.

Normalmente, se utilizan algunas clasificaciones de productos que son los que tienen un efecto *spillover* mayor en términos de productividad, como las máquinas y equipos, o porque implican mayores ritmos de difusión, adaptación y aprendizaje, como los productos de alta tecnología. Se recomienda el uso de coeficientes de importación (como porcentaje de las importaciones totales) para eliminar el efecto tamaño, aunque se podría también calcular el valor de las importaciones como porcentaje del PIB. La tasa de apertura es un indicador de los flujos comerciales y es una medida general de absorción de *spillovers* por representar flujos de conocimiento asociados a transacciones corrientes. Sin embargo, para eliminar el efecto del comercio con países de menor nivel tecnológico, el índice de apertura podría ser todavía adaptado para considerar únicamente a países líderes o en la frontera tecnológica. Esta posibilidad también es factible a partir de la información ofrecida en COMTRADE.

Cuadro 5. Indicadores de spillovers externos

VARIABLES/INDICADORES	FUENTE	DEFINICIÓN
Transferencia de tecnología incorporada		
Importación de máquinas y equipos	UNSD COMTRADE Database	Coefficiente de importaciones de maquinaria y equipo de transporte cap. 7 SITC 2 Rev (como % de las importaciones totales)
Importación de productos de alta tecnología	COMTRADE	Coefficiente de importaciones de productos high-tech: cap. 7 SITC 2 Rev (como % de las importaciones totales)
Ratio de apertura externa	CANA (BM)	Ratio de apertura = (Importaciones US\$ corr. + Exportaciones US \$ corr.) / PIB (PPA)
Transferencia de tecnología no incorporada		
Grado de internacionalización tecnológica	EPO/USPTO	Porcentaje de patentes con solicitantes o inventores de más de un país
Pagos por royalties y servicios tecnológicos	COMTRADE** CANA	Pagos por royalties, derechos de uso, know-how como % de los pagos por importaciones totales
Flujos tecnológicos asociados a la inversión extranjera directa y la libre movilidad de capitales		
Inversión extranjera directa (flujo)	CANA (UNCTAD)	Flujo de inversión directa extranjera (IDE) recibida o realizada (como % del PIB, de la FBCF o del total del comercio de bienes y servicios)
Inversión extranjera directa (stock)	CANA (UNCTAD)	Stock de inversión directa extranjera (IDE) recibida o realizada (como % del PIB)
Índice de libertad financiera	CANA (Heritage Foundation)	El índice valora la libertad financiera en una escala de 100 puntos. Valores más elevados denotan mayor eficiencia bancaria e independencia del control gubernamental

Notas: (*) Incluye las siguientes categorías de la SICT-Rev. 4: Div.54 + Div.75 + Div.76 + Gr.553 + Gr.774 + Gr.776 + Gr.792; (**) en COMTRADE: 8. Royalties y pagos por licencias según la metodología del MSITS 2010.

Fuente: elaboración propia

Los indicadores sobre transferencia de tecnología no incorporada son dos: el grado de internacionalización tecnológica y los pagos por royalties y servicios tecnológicos. El grado de internacionalización se calcula como el porcentaje de las patentes internacionalizadas sobre el total de patentes de un país. Sobre este indicador es necesario realizar dos consideraciones. La primera es que la nacionalidad de la patente viene dada por la residencia del inventor, puesto que la competencia tecnológica se localiza en el inventor. En segundo lugar, una patente se considera internacionalizada cuando tiene más de un depositante con vínculos o no de propiedad entre ellos con diferente residencia; cuando tiene más de un inventor con diferente residencia; o cuando la residencia del inventor y la del depositante son también diferentes. Esta forma amplia de definir el grado de internacionalización ya incluye la cooperación tecnológica transnacional (patentes cuyos depositantes no tienen vínculo de propiedad y tienen diferente residencia) y los flujos de conocimiento compartidos entre inventores que residen en diferentes lugares y que participan del mismo equipo de investigación que dio lugar a la patente. Un último aspecto a ser considerado es que el recuento de patentes en este caso se suele hacer de forma fraccionada, esto es, se asigna a cada país la cuota de participación de los inventores que residen en él.

Los pagos por royalties y servicios tecnológicos también representan flujos tecnológicos. Son cargos derivados del uso autorizado de derechos de la propiedad intelectual como patentes, marcas registradas, derechos de autor, procesos y diseños industriales (incluidos los secretos comerciales y las franquicias) y por el uso, a través de acuerdos de licencia, de originales o prototipos producidos.

Una variable interesante que puede construirse a partir de los datos de importación y exportación de bienes de alta tecnología y de los servicios tecnológicos es la dependencia de la balanza tecnológica (DBPT) calculada como:

$$DBPT_i = \frac{X_i^t - M_i^t}{X_i^t + M_i^t}$$

El indicador toma valor 1 cuando hay independencia total ($M_i^t = 0$) y valor -1 cuando hay dependencia total ($X_i^t = 0$).

En último lugar, una fuente de *spillovers* es la que procede de los flujos de capitales extranjeros que tienen como finalidad realizar actividad productiva en el interior (inversión extranjera directa). La inversión directa (ID) es una categoría de inversión transfronteriza que realiza un residente de una economía (el inversor directo) con el objetivo de establecer un interés duradero en una empresa residente en una economía diferente de la del inversor directo. La motivación del inversor directo es el establecimiento de una relación estratégica a largo plazo con el fin de garantizar un nivel significativo de influencia en la gestión de la

empresa en la que se invierte (la propiedad de al menos el 10% del poder de voto de la empresa de ID constituye evidencia suficiente de ese “interés duradero”).

A través de la inversión directa extranjera (IDE) se establecen vínculos directos, estables y de larga duración entre economías, pudiendo ser un instrumento de acceso a una economía cuando no es posible hacerlo de otro modo. Con un entorno político adecuado, la IDE puede servir como vehículo para el desarrollo de la empresa local, y ayudar también a mejorar la competitividad tanto de la economía receptora como de la inversora. En particular, fomenta la transferencia de tecnología y de experiencia (o *know-how*) entre economías.

Los *flujos* de IDE comprenden principalmente tres tipos de transacciones registradas durante el período de referencia (generalmente un año o trimestre): adquisición de acciones y otras participaciones en el capital, reinversión de beneficios (que se incluye como acciones y otras participaciones en el capital en el caso de las posiciones) y deuda entre empresas relacionadas. El *stock* de IDE se aproxima por el valor acumulado de los flujos de IDE anteriores. Las existencias de IDE son el valor acumulado mantenido al final del período de referencia (año o trimestre) (OCDE, 2011).

Cuadro 6. Estructura tecnoeconómica

Variables/Indicadores	Fuente	Definición
Ventajas productivas		
Especialización en industria	CANA (BM)	Valor añadido al sector industrial (% del PIB) en términos absolutos o en relación con un grupo de referencia
Especialización en servicios	CANA (BM)	Valor añadido al sector servicios (% del PIB) en términos absolutos o en relación con un grupo de referencia
Especialización en agricultura	CANA (BM)	Valor añadido al sector agrícola (% del PIB) en términos absolutos o en relación con un grupo de referencia
Especialización en recursos naturales	CANA (BM)	Renta total de los recursos naturales (% del PIB) en términos absolutos o en relación con un grupo de referencia
Ventajas comerciales		
Especialización comercial alta tecnología	COMTRADE	Ventaja comercial relativa en productos de alta tecnología
Especialización comercial media tecnología	COMTRADE	Ventaja comercial relativa en productos de media tecnología
Especialización comercial baja tecnología	COMTRADE	Ventaja comercial relativa en productos de alta tecnología
Ventajas tecnológicas		
Especialización en tecnologías de oportunidad tecnológica dinámica	EPO/USPTO	VTR normalizado en tecnologías con crecimiento superior a la media entre dos períodos consecutivos
Especialización en tecnologías de oportunidad tecnológica estática	EPO/USPTO	VTR normalizado en tecnologías con crecimiento superior a la media entre el período inicial y final
Especialización industrias I+D	EPO/USPTO	VTR normalizado en tecnologías correspondientes a sectores intensivos en I+D
Especialización en tecnologías de proceso	EPO/USPTO	VTR normalizado en tecnologías de proceso
Diversificación tecnológica	EPO/USPTO	Índice normalizado de diversificación

Fuente: elaboración propia

La dimensión relativa a la estructura tecnoeconómica recoge un conjunto de indicadores relativos a las ventajas productivas, comerciales y tecnológicas (cuadro 6). Lo más apropiado es utilizar índices de especialización (S_c^i), esto es, el peso relativo que toma un determinado sector, producto o tecnología (i) en un país (p_c^i) en relación con el peso que este adquiere en el resto del mundo o en un área de referencia (p_w^i).

$$S_c^i = \frac{p_c^i}{p_w^i}$$

Los índices de especialización varían entre 0 e infinito y revelan que existe especialización cuando toman valores superiores a la unidad. Para reducir la dispersión del índice cuando se introduce en modelos econométricos, se realiza el siguiente cálculo de normalización:

$$SN_c^i = \frac{S_c^i - 1}{S_c^i + 1}$$

En el caso de la especialización productiva, la variable de especialización es el valor añadido sectorial respecto al valor añadido total. La agricultura corresponde a las divisiones 1-5 de la clasificación ISIC e incluye la silvicultura, la caza y la pesca, así como el cultivo de cultivos y la producción ganadera. La industria corresponde a las divisiones 10-45 de la clasificación ISIC y comprende el valor añadido de minería, manufacturas, construcción, electricidad, agua y gas. Los servicios corresponden a las divisiones 50-99 de la clasificación ISIC e incluyen el valor añadido del comercio mayorista y minorista, transporte y servicios gubernamentales, financieros, profesionales y personales como educación, atención médica y servicios inmobiliarios. Las rentas totales de recursos naturales son la suma de las rentas de petróleo, del gas natural, del carbón, de minerales y de las rentas forestales.

Para el cálculo de la especialización o ventaja comercial se utilizan las exportaciones de determinadas categorías de producto, siendo las más comunes las que distinguen entre productos de alta, media y baja tecnología.

La especialización tecnológica se denomina “ventaja tecnológica revelada” y normalmente se calcula utilizando patentes para determinadas tecnologías. Entre las ventajas reportadas en el cuadro 6, se encuentra la especialización en tecnologías con oportunidad tecnológica dinámica (período a período) o estática (entre dos períodos distantes de tiempo), en

tecnologías relacionadas con industrias intensivas en I+D (farmacéutica, biotecnología, instrumentos y equipos de informática, audiovisual y telecomunicaciones) y en tecnologías asociadas a procesos productivos que son susceptibles de tener un amplio efecto pervasivo sectorial. Todos estos indicadores de especialización han sido denominados por algunos autores como de tipo ricardiano, puesto que, siguiendo la teoría del valor de David Ricardo, algunas actividades en algunos países son más productivas que en otros y, por tanto, el patrón de especialización no debería ser aleatorio, sino aquel que explota mejor la producción en la que el país tiene una mayor eficiencia técnica relativa. Además de este tipo de especializaciones, existe un indicador que mide la especialización smithiana, esto es, asociada a la escala. En este último caso, lo importante es estar especializado y no importaría en qué. La especialización smithiana se mide como un índice de diversificación para el país j -ésimo D_j tal que:

$$D_j = \frac{(1 - \sum_{i=1}^m s_{ij}^2)}{1 - 1/M}$$

En la que s_{ij} mide la cuota de stocks de patentes del país j -ésimo en el campo técnico i -ésimo y M es el número total de campos técnicos de acuerdo con el nivel de desagregación IPC (International Patent Classification) con el que se está trabajando.

La última de las dimensiones presenta los indicadores relativos al marco institucional en tres grupos. En primer lugar, se proponen dos indicadores que recogen, al menos en parte, la estabilidad de la política científica, mediante la proporción de patentes depositadas por universidades, centros públicos de investigación, fundaciones sin fines de lucro y agencias gubernamentales y la tecnológica, mediante la proporción de patentes depositadas por empresas públicas. Las bases de datos de patentes no ofrecen directamente información acerca de la naturaleza privada o pública del depositante. Sin embargo, en la base de datos ORBIS (de información empresarial mundial), normalmente de acceso restringido, se ofrece información acerca de la naturaleza societaria del depositante.

Cuadro 7. Marco institucional

VARIABLES/INDICADORES	FUENTE	DEFINICIÓN
Estabilidad de las políticas de CyT		
Estabilidad de la política científica	EPO/USPTO	Porcentaje de patentes cuyos solicitantes eran universidades, fundaciones e institutos de investigación
Estabilidad de la política tecnológica	EPO/USPTO	Porcentaje de patentes cuyos solicitantes eran corporaciones gubernamentales
Contexto social: libertades y derechos civiles		
Índice de percepción de la corrupción	CANA*	Valores del índice de 0 (alta corrupción) a 10 (baja/ninguna corrupción)
Índice internacional de transparencia	CANA*	Valores del índice de 0 (alta transparencia) a 10 (baja/ninguna transparencia)
Índice sobre los derechos de las mujeres	CANA**	Índice construido a partir de los indicadores económicos, políticos y sociales de los derechos de las mujeres. Valores de 0 (sin respeto por el gobierno) a 9 (total respeto por el gobierno)
Índice sobre los derechos de propiedad y clasificación de la gobernanza basada en normas	Word Development Indicators (BM)	Índice que evalúa la medida en la que la actividad económica privada se ve facilitada por un sistema legal efectivo y una estructura de gobernanza basada en normas en la que los derechos de propiedad y contractuales se respetan y se hacen cumplir de manera confiable. Valores de 1 (bajo) a 6 (alto)
Asimetrías internas: desigualdad		
Índice de Gini	CANA***	El índice de Gini, mide el grado en el que la distribución de la renta entre individuos u hogares de una economía se desvía de una distribución perfectamente igual. Un índice de Gini de 0 representa la igualdad perfecta, mientras que un índice de 100 implica una desigualdad perfecta
Índice de igualdad de género	CPIA Database (BM)	El índice de igualdad de género evalúa la medida en la que el país ha establecido instituciones y programas para hacer cumplir las leyes y políticas que promueven la igualdad de acceso de hombres y mujeres a educación, salud, economía y protección bajo la ley
Índice de equidad en el uso de los recursos públicos	CPIA Database (BM)	La equidad en el uso de los recursos públicos evalúa la medida en que el patrón de gasto público y recaudación de ingresos afecta a los pobres y es coherente con las prioridades nacionales de reducción de la pobreza. Valores de 1 (bajo) a 6 (alto)

Notas: (*) Transparency International; (**) CIRI Human Rights; Cingranelli y Richards (2008); (***) WIID, Banco Mundial, OECD.

Fuente: elaboración propia

Los indicadores relativos al contexto social son muchos y abarcan diversos aspectos relacionados con libertades civiles, políticas y sociales. Aquí se presentan apenas algunos que tratan de valorar la preocupación sociopolítica de un país en la reducción de las asimetrías internas. El último grupo de indicadores está relacionado con la existencia de asimetrías derivadas de la desigualdad, incluyendo aquí el índice de Gini y diversos indicadores de la base de datos CPIA (Country Policy and Institutional Assessment) del Banco Mundial.

Antes de finalizar este punto sobre indicadores es necesario mencionar un aspecto importante a ser considerado para utilizar estos indicadores como variables en modelos econométricos. Como la variedad de indicadores es muy grande y en ocasiones algunos tienen un carácter ambivalente, es decir, tienen efectos en más de una dimensión, es muy posible que exista correlación entre ellos. El caso más clásico es el de intensidad en I+D y patentes por habitante. Parece razonable que sean precisamente los países que más esfuerzo dedican a la I+D los que también obtengan los mayores resultados. Para estos casos hay algunas opciones. En primer lugar, es necesario calcular una matriz de autocorrelación que permita identificar cuáles de las variables que se han elegido están correlacionadas. A continuación, en el caso de que exista correlación, se pueden seguir dos caminos. Si las variables son pocas, el ejercicio de estimación se puede realizar alternando las variables correlacionadas. Si las variables son muchas, se puede realizar un análisis factorial que agrupe las variables en factores y que identifique, dentro de cada factor, cuáles serían las variables más representativas.

Modelos de crecimiento en datos de panel

El modelo teórico

En esta sección se presenta un modelo teórico simple en la línea de los utilizados en los trabajos de Castellaci (2006, 2008, 2011) y Urraca-Ruiz y Laguna (2014, 2018). El modelo asume que la tecnología es un factor determinante del crecimiento económico y se analizan los canales a través de los cuales la dinámica del progreso tecnológico favorece el crecimiento de la de la producción.

Para ello, se parte de una función de producción agregada convencional:

$$y_{it} = A_{it} k_{it}^{\gamma} \quad (1)$$

La ecuación (1) está relacionada con un país i en el período t , en la que y_{it} denota la producción agregada por trabajador; k_{it}^{γ} es el stock privado de capital físico por trabajador y A_{it} representa el stock de conocimiento o nivel de progreso técnico. Tomando logaritmos y diferenciando con respecto al tiempo, la función de producción se convierte en una función lineal expresada como:

$$\frac{\Delta y_i}{y_i} = \frac{\Delta A_i}{A_i} + \gamma \frac{\Delta k_i}{k_i} \quad (2)$$

En (2) la tasa de crecimiento de la producción por trabajador del país i -ésimo a lo largo del tiempo depende del progreso técnico ($\Delta A_i/A_i$) y de la tasa de inversión por trabajador

$$(I_i = \frac{\Delta k_i}{k_i})$$

El progreso técnico ($\Delta A_i/A_i$) se endogeneiza en la ecuación (3) desglosándolo en cuatro dimensiones: la capacidad tecnológica interna (C_i); los efectos indirectos externos o efectos *spillover* (E_i); las ventajas productivas y tecnológicas (V_i) y el marco institucional (M_i).

$$\frac{\Delta A_i}{A_i} = C_i + E_i + V_i + M_i$$

La capacidad interna de innovación (C_i) recoge el nivel de la dotación nacional de recursos tecnológicos (a través de la distancia con la frontera tecnológica), la asignación de recursos nacionales a la innovación, la obtención de resultados y la capacidad de absorción doméstica. En (4) se especifica la capacidad interna de innovación del país i como una función multiplicativa de un diferencial de productividad y de las c_{ij} variables determinantes de la asignación de recursos para la innovación y de la capacidad de absorción.

$$C_i = (y_i - y_j) \alpha c_{ij} \varphi^j \quad (4)$$

En la ecuación (5) los efectos indirectos externos o efectos *spillover* (E_i) recogen la parte del conocimiento externo capturado por el esfuerzo nacional a partir de la tecnología transferida desde el extranjero (e_{ij} variables), considerando igualmente la dotación de recursos inicial a través del diferencial de productividad.

$$E_i = (y_i - y_j) \tau e_{ij} \omega^j \quad (5)$$

En (6) se especifican las ventajas productivas y tecnológicas a través de variables (V_i) que recogen la elección tecnológica y la asignación específica de recursos a una trayectoria tecnológica.

$$V_i = v_{ij} \mu^i \quad (6)$$

Finalmente, en (7) se especifica la última dimensión, la relativa al marco institucional (M_i).

$$M_i = m_{ij} \delta^i \quad (7)$$

Introduciendo estas dimensiones en la ecuación (3) se obtiene:

$$\frac{\Delta A_i}{A_i} = (\alpha + \tau) \ln(y_i - y_f) + \varphi \prod_{j=1}^k \ln c_{ij} + \omega \prod_{j=1}^k \ln e_{ij} + \mu \prod_{j=1}^k \ln v_{ij} + \delta \prod_{j=1}^k \ln m_{ij} \quad (8)$$

La ecuación (8) describe los cinco factores principales que determinan en el modelo la evolución del stock de conocimiento. El primer término recoge la brecha tecnológica que proporciona potencial al país i para explotar tecnologías extranjeras avanzadas. El segundo término es la capacidad interna de innovación, determinada por indicadores de la cualificación de los recursos humanos, las infraestructuras tecnológicas, la intensidad del esfuerzo en I+D, los resultados del proceso innovador, etc. El tercer término recoge los efectos *spillover* relacionados con la transferencia de tecnología desde el extranjero. El cuarto término se refiere a la elección productiva y tecnológica del país y , el último, considera el papel de las instituciones públicas a través de las políticas de apoyo al conocimiento y la innovación.

Finalmente, tras sustituir la ecuación (8) en la ecuación (2) se llega a la ecuación de crecimiento económico que constituye el marco básico para el análisis empírico que se presenta en el siguiente apartado.

$$\Delta y_i / y_i = \beta \ln(y_i - y_f) + \varphi \ln c_{ij} + \omega \ln e_{ij} + \mu \ln v_{ij} + \delta \ln m_{ij} + \gamma I_i \quad (9)$$

En (9) la tasa de crecimiento del PIB *per cápita* se explica por un conjunto de *drivers* tecnológicos (los cinco primeros términos) y por la acumulación de capital físico (I_i). De esta manera, el progreso técnico es un componente endógeno que determina el crecimiento económico de acuerdo

con la capacidad de los países para absorber y crear conocimiento; para aprovechar ventajas productivas y tecnológicas y para crear soluciones institucionales que favorezcan el proceso de aprendizaje.

Especificación y estimación del modelo econométrico

Para analizar la dinámica del cambio en la renta, la metodología de datos de panel (observaciones de series temporales sobre una muestra de unidades individuales) presenta ventajas significativas frente a los datos de series temporales y los de corte transversal. Concretamente, los datos de panel sortean los problemas de agregación con respecto a los primeros y aportan el seguimiento del comportamiento individual en el tiempo en comparación con los datos de corte transversal.

Por la propia naturaleza del panel, la estimación del modelo habrá de tener en cuenta de forma explícita la presencia de heterogeneidad, de diferencias inobservables entre las unidades individuales, en este caso, entre los países de la muestra. Las variables específicas de país, originadas por diferencias tecnológicas o institucionales, probablemente estén correlacionadas con algunas de las restantes variables explicativas como el nivel inicial del PIB *per cápita* y/o el nivel de capital humano. También puede esperarse que algunas de las variables explicativas del modelo de regresión sean endógenas. Esto es algo asumible en el contexto del modelo de crecimiento formulado en el que algunos de los factores explicativos, por ejemplo, la capacidad interna de innovación o la especialización tecnológica, evolucionarán conjuntamente con otras variables explicativas a medida que la economía crezca. Se plantea entonces la necesidad de realizar una especificación del modelo de panel dinámico, que simultáneamente trate la existencia de heterogeneidad inobservable y la posible endogeneidad de las variables explicativas.

En primer lugar, el modelo teórico recogido en la ecuación (9) se transforma en logaritmos y se reescribe de la siguiente forma:

$$\ln y_{i,t} = \ln \ln y_{i,t-1} + \beta \ln \ln y_{i,t} + \phi \ln \ln c_{ij,t} + \omega \ln \ln e_{ij,t} + \mu \ln \ln v_{ij} + \delta \ln \ln m_{ij} + \gamma I_{i,t} - \beta \ln y_{f,t} + \mu_t + \eta_i + u_{it} \quad (10)$$

En (10) para cada país i en el momento t la variable y depende de sí misma con un retardo, de un conjunto de regresores a los que se han añadido como variables explicativas los efectos específicos de país, η_i ,

un conjunto de efectos temporales, μ_t , y un término de error aleatorio, u_{it} , que varía en cada momento del tiempo para cada país.

La aplicación de MCO o MLG de panel con efectos fijos o aleatorios para estimar este modelo originaría errores estándar de las estimaciones inconsistentes porque el efecto inobservable (η_i) está correlacionado con el retardo de la variable dependiente ($y_{i,t-1}$) y con otras de las variables explicativas. No obstante, se pueden conseguir estimaciones consistentes de un modelo dinámico de datos de panel utilizando la transformación adecuada del modelo y los instrumentos adecuados. En este sentido, Arellano y Bond (1991) construyen un estimador basado en el método generalizado de los momentos (GMM), que utiliza variables instrumentales basadas en retardos y diferencias de todas las variables del modelo y que resulta consistente. Este estimador está especialmente indicado para paneles con pocos períodos y muchos individuos, aunque siempre se perderán dos períodos de observaciones: uno, por emplear rezagos de las variables y , y otro, por aplicar diferencias.

Utilizando los instrumentos propuestos mediante el GMM se llegaría a la ecuación (9):

$$\ln y_{i,t} = (1+\beta)\ln y_{i,t-1} + \phi \ln c_{ij,t-1} + \omega \ln e_{ij,t-1} + \mu \ln v_{ij,t-1} + \delta \ln m_{ij,t-1} + \gamma I_{i,t-1} - \beta \ln y_{f,t-1} + \mu_t + \eta_i + u_{it} \quad (11)$$

Dado que en la ecuación (11) el efecto específico de los países está correlacionado con algunas de las variables explicativas se estima la ecuación del panel dinámico en diferencias. En esto consiste el estimador de Arellano y Bond (ibíd.).

$$\Delta \ln y_{i,t} = (1+\beta)\Delta \ln y_{i,t-1} + \phi \Delta \ln c_{ij,t-1} + \omega \Delta \ln e_{ij,t-1} + \mu \Delta \ln v_{ij,t-1} + \delta \Delta \ln m_{ij,t-1} + \gamma \Delta I_{i,t-1} + \Delta \rho_t + u_{it} \quad (12)$$

En (12), los factores invariables entre los distintos países (el término $-\beta \ln y_{f,t-1}$ y los efectos específicos temporales, μ_t , se capturan a través de un conjunto de *dummies* temporales, ρ_t , mientras que las primeras diferencias han eliminado el efecto específico de los países, η_i . De esta forma, la especificación de panel dinámico de la ecuación (10) es consistente con el marco teórico establecido previamente en el que el crecimiento del PIB *per cápita* del país i viene explicado por la dinámica de las variables explicativas.

Tras la estimación de Arellano y Bond es necesario realizar un análisis posterior para comprobar la validez de los resultados encontrados. El test de Sargan de sobreidentificación permite contrastar estadísticamente que los instrumentos utilizados en la estimación han sido los adecuados, es decir que no se encuentran correlacionados con los residuos de la regresión. En este modelo es conveniente que las ecuaciones estén sobreidentificadas (de hecho, el estimador GMM podría interpretarse como una combinación lineal de todas las estimaciones posibles de un modelo sobreidentificado). Además del test de sobreidentificación, es importante corroborar el grado de autocorrelación en los residuos de la estimación. Esto se hará mediante el test de Arellano-Bond. En primer lugar, al estar los residuos en primeras diferencias, necesariamente se debe cumplir que haya correlación de primer orden ya que de lo contrario estaría indicando que no existen efectos dinámicos y el estimador GMM no sería adecuado. Para correlación de orden dos en adelante, se espera que la hipótesis nula de cero autocorrelación en los residuos en diferencias no se pueda rechazar, ya que de otra forma el modelo no estará explicando una parte importante de la variable dependiente.

Por último, dos precisiones relativas a la construcción del panel de datos para este análisis empírico. En los modelos de crecimiento con datos de panel dinámicos las variables se construyen como promedios de períodos (habitualmente de cinco años), con el fin de mantener una relación mayor entre el número de individuos y los períodos de tiempo. Además, el panel de datos debe ser balanceado, con información completa para todas las variables utilizadas. Cuando el panel está incompleto (*unbalanced panel data*) y los datos faltantes son numerosos, surgen limitaciones en el análisis, generándose inconsistencia en los resultados.

Contribución al crecimiento y análisis de la heterogeneidad

Utilizando las observaciones del panel de datos y las estimaciones del modelo empírico presentado en el apartado anterior, se pueden realizar diversos ejercicios simples, basados en la *contabilidad del crecimiento*,¹

¹ Esta sugerencia se realiza sin olvidar las limitaciones de los resultados de la contabilidad del crecimiento debidas, entre otros factores, a su dependencia de los supuestos teóricos de base y de la calidad de los datos empleados. "La contribución de la contabilidad de cre-

con los que obtener una aproximación cuantitativa de las fuentes del crecimiento económico.

Dado que en este tipo de trabajos las observaciones son relativas a países heterogéneos, un ejercicio interesante consiste en estudiar la contribución *relativa* de los diferentes *drivers* tecnológicos al crecimiento *diferencial* del producto por trabajador entre los países de la muestra. Para ello, las variables habrían de estar expresadas en desviaciones con respecto a un *país hipotético promedio* (este sería un país con un crecimiento de productividad situado en la media y con dotaciones medias de factores), o bien, con respecto a las medias del grupo muestral, calculadas para todas las variables.

El ejercicio consiste en descomponer las tasas observadas del crecimiento relativo de *output per cápita*, gq_i , en la suma de un residuo, de los componentes que miden la contribución de la acumulación de capital físico y de las aportaciones de los vectores de variables relativos a los *drivers* del crecimiento. El diferencial de crecimiento de productividad inducido por cada *driver*, gq_{ij} , vendrá dado por:

$$gq_{ij} = \hat{\beta}_j \widetilde{d}_{ij} * 100$$

En el que $\hat{\beta}_j$ representa el coeficiente estimado en el modelo empírico previo para el *driver* j del país i y \widetilde{d}_{ij} recoge la distancia entre el crecimiento medio experimentado por el *driver* j en el país i y el promedio de crecimiento de ese *driver* para los n países del estudio (o para el país promedio). Todas las variables explicativas (medidas en tasas medias de crecimiento) se expresarían en desviaciones respecto a la media (indicado esto mediante tildes).

A continuación, se representa un ejercicio simulado de cuantificación de la aportación al crecimiento de los *drivers* tecnológicos. Supongamos, en primer lugar, que se ha estimado un modelo de crecimiento, como el presentado en el apartado anterior, en el que se han utilizado k indicadores para cada una de las dimensiones con las que se caracterizó la dinámica del cambio tecnológico. Los resultados de dicha estimación se presentan en el cuadro 8, en el que, para simplificar, se ha asignado

cimiento apuntaría más a una verdad cualitativa y a una guía de órdenes de magnitud" (Solow, 1988).

un coeficiente estimado a cada dimensión o *driver* tecnológico en vez de presentar los k coeficientes de los indicadores o variables explicativas elegidos para cada dimensión. Los resultados de la estimación, con coeficientes con signos positivos y estadísticamente significativos, apoyan la hipótesis planteada en el modelo teórico sobre los determinantes del crecimiento económico.

Cuadro 8. Coeficientes estimados drivers tecnológicos

	<i>Driver</i> capacidad de innovación	<i>Driver spillovers</i> externos	<i>Driver</i> ventajas tecnológicas	<i>Driver</i> marco institucional
β estimado	0,047	0,09	0,01	0,017
t value	(13,45)	(9,26)	(3,42)	(4,68)

Fuente: elaboración propia

En el cuadro 9, las cuatro primeras columnas recogen las tasas de crecimiento medio experimentado durante el período de análisis por cada uno de los *drivers* en cuatro países de la muestra, así como el promedio de crecimiento de ese *driver* para los n países del estudio (o, si existiese, para el país promedio). Las cuatro últimas columnas muestran para cada país la distancia con respecto a la media, esto es, la diferencia entre la tasa de crecimiento medio del *driver* correspondiente y el crecimiento promedio para toda la muestra.

Cuadro 9. Tasas medias de crecimiento y desviaciones con respecto a la media (en %)

	Tasa de crecimiento medio, <i>driver</i> C	Tasa de crecimiento medio, <i>driver</i> E	Tasa de crecimiento medio, <i>driver</i> V	Tasa de crecimiento medio, <i>driver</i> M	Distancia <i>driver</i> C	Distancia <i>driver</i> E	Distancia <i>driver</i> V	Distancia <i>driver</i> M
País 1	3,25	3,927	-5,101	-0,506	1,353	3,675	-7,647	-1,379
País 2	2,299	-3,6	5,389	1,16	0,402	-3,853	2,843	0,287
País 3	5,026	4,384	8,036	7,942	3,129	4,131	5,49	7,069
País 4	-0,429	3,426	-2,65	1,007	-2,326	3,174	-5,196	0,134
Tasa de crecimiento medio, muestra	1,897	0,253	2,546	0,873	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia

Cuadro 10. Contribución de los drivers tecnológicos al crecimiento relativo de la productividad (%)

	Q_o	gq	gq_c	gq_e	gq_v	gq_m
País 1	45,06	0,434	0,064	0,33	-0,078	-0,024
País 2	17,72	-0,199	0,019	-0,346	0,029	0,005
País 3	-12	-0,314	0,148	0,371	0,056	0,123
País 4	-40,41	0,29	-0,11	0,285	-0,053	0,002

Fuente: elaboración propia

Finalmente, en el cuadro 10, se presenta el diferencial de crecimiento de productividad inducido por cada *driver*, gq_{ij} . La primera columna de la tabla, Q_o , muestra las productividades relativas en el primer año del período de observación. El país 1 se sitúa en la primera posición con un valor del 45,06% por encima de la media y el país 4 ocuparía la última posición con una productividad relativa del -40,41% por debajo de la media. En la segunda columna se contabiliza el crecimiento observado de la productividad relativa a lo largo del período (gq), calculado como la tasa de variación media de la productividad con respecto a la media de la muestra. En este caso, los dos países antes mencionados presentarían un crecimiento en el período por encima de la media en 0,43 y 0,29 puntos porcentuales, respectivamente. Las siguientes cuatro columnas mostrarían el diferencial de crecimiento inducido por cada uno de los componentes tecnológicos, esto es, la aportación de los vectores de variables relativos a la capacitación interna (gq_c), *spillovers* externos (gq_e), especialización estructural (gq_v) y el marco institucional (gq_m). Dado que en la especificación del modelo todos los *drivers* tecnológicos tienen signo positivo, un valor negativo en su contribución significaría que en ese país el driver correspondiente creció por debajo de la media. En el caso del país 1 esto ocurriría para las variables relativas a la especialización estructural y las del marco institucional, mientras que en el país 4, la contribución del vector de drivers relativos a la capacitación interna y a la especialización estructural son las que registran un crecimiento inferior a la media.

El *output* obtenido en el cuadro 10 puede utilizarse para detectar patrones de convergencia entre grupos de países con diferentes niveles de desarrollo en la línea de lo realizado por Urraca-Ruiz y Laguna (2018). En esta propuesta se utilizan dos indicadores para detectar dichos patrones: la distancia entre la productividad de cada país en el primer año de

observación y la productividad promedio de los países clasificados en una etapa de desarrollo superior (en vez de la media de toda la muestra), y la distancia relativa entre el crecimiento de la productividad del país y el crecimiento promedio de la productividad de los países de la siguiente etapa superior. El estudio de estos indicadores permite identificar dos tipos de patrones de comportamiento. El primero, un patrón de divergencia para aquellos países que inicialmente tenían una productividad relativa más baja y registraron una tasa de crecimiento relativa más lenta a lo largo del período divergencia negativa (país 3 en nuestro ejemplo), o aquellos que, partiendo de una productividad inicial más alta, experimentaron una tasa relativa más rápida de crecimiento divergencia positiva (país 1). El segundo es un patrón de *catching up*, que será positivo para los países que, partiendo de una productividad relativa inicial inferior, registraron una tasa de crecimiento más rápida en términos relativos (país 4). Este grupo representa países con un patrón de crecimiento que “avanza” (*forging ahead*), es decir, nuevos ganadores potenciales, porque lograron una reducción de su brecha de productividad con la etapa superior. El patrón de recuperación también puede ser negativo, es decir, los países pueden “quedarse atrás” (*falling behind*). Este patrón se daría en aquellos que con niveles de productividad inicialmente mayores experimentan tasas de crecimiento más lentas a lo largo del período, es decir, países que están perdiendo posiciones en la carrera (país 2 en nuestro ejemplo). El estudio de las contribuciones de los *drivers* tecnológicos en cada uno de los patrones identificados permite obtener una aproximación a los *drivers* asociados con los procesos de *catching up* o de divergencia, independientemente de la etapa de crecimiento.

El tipo de información recogida en el cuadro 10 sirve también de base para otras extensiones analíticas de “convergencia parcial” con las que cuantificar la contribución de cada uno de los componentes tecnológicos a la convergencia observada (no condicional) del producto *per cápita*. En de la Fuente (2002) se encuentra una propuesta inicial de este tipo de análisis, ampliado en el trabajo de Jungmittag (2004), entre otros. La idea de estos trabajos es descomponer las tasas observadas de sigma y beta convergencias en la suma de una serie de ratios de convergencia parcial que capturen el grado de convergencia que cada componente podría haber inducido en el crecimiento de la productividad relativa, *ceteris paribus* el resto de los componentes.

Aunque de forma aproximada, la cuantificación de las contribuciones de los *drivers* tecnológicos al crecimiento ayuda a identificar factores

determinantes de la dinámica del crecimiento y contribuye a una mejor comprensión de su evolución diferencial entre los países.

Conclusiones y recomendaciones

Este capítulo ofrece una propuesta metodológica para el análisis del crecimiento a largo plazo intentando mantener la heterogeneidad implícita en la naturaleza del progreso técnico. La forma en que la literatura neoschumpeteriana resuelve este problema consiste en mantener en los modelos de crecimiento los diferentes aspectos que caracterizan un sistema nacional de innovación que son facilitadores o impulsores del progreso técnico y, en consecuencia, del crecimiento.

La mayor parte de los indicadores reportados en este capítulo contemplan una buena parte de los países latinoamericanos, aunque no todas las dimensiones son contempladas para todos los países y durante largos períodos de tiempo. En este sentido, la base de datos de Castellacci y Natera (2011) supone un paso adelante en la elaboración y disponibilidad de una base amplia y balanceada de indicadores que permita estudiar el crecimiento y sus fenómenos asociados para un número amplio de países, en los que se incluyan los países en desarrollo y los menos avanzados.

En este capítulo se presenta un modelo teórico simple en el que el progreso técnico es un componente endógeno del crecimiento económico a partir de cuatro dimensiones: la capacidad de los países para innovar, para absorber tecnología que proviene del exterior, para aprovechar ventajas productivas y tecnológicas y para crear soluciones institucionales que favorezcan el proceso de aprendizaje. El modelo se ubica así en la tradición shumpeteriana, pero, a diferencia de las formulaciones estándar, incorpora dos dimensiones nuevas como determinantes de la dinámica del conocimiento: la relacionada con las ventajas productivas y tecnológicas y la relativa al marco institucional.

Finalmente, la consideración multidimensional del progreso técnico no solo permite realizar estudios sobre el crecimiento, sino también sus fenómenos asociados. Entre estos, dos son especialmente destacables. El primero es la convergencia económica y tecnológica. Dado que el conocimiento se distribuye asimétricamente entre países, el ritmo de progreso técnico tiende a ser también asimétrico, lo que tendrá un impacto negativo en el proceso de convergencia tecnológica y, como consecuencia, en el proceso de convergencia del crecimiento de la renta *per cápita* de

largo plazo entre países. La observación de la evolución del progreso técnico en sus diferentes dimensiones permite conocer con mayor profundidad cuáles de ellas inducen un mayor grado de convergencia y cuáles de divergencia. El segundo fenómeno asociado al crecimiento es la desigualdad. Aunque Kuznets había indicado en los años cincuenta que la reducción de la desigualdad era un hecho estilizado del crecimiento, la evidencia empírica de las últimas décadas revela que las desigualdades sociales tendieron a aumentar incluso en países desarrollados. En este sentido, una aproximación multidimensional del progreso técnico nos permite estudiar cuál es su verdadero papel en la evolución distorsiva de la distribución de renta cuando este induce crecimiento económico, o bien, desde la perspectiva contraria, cuál puede ser su contribución efectiva a la consecución de un crecimiento económico más inclusivo.

Bibliografía

- Archibugi, D. y Coco, A. (2004). "A New Indicator of Technological Capabilities for Developed and Developing Countries (ArCo)". *World Development*, vol. 32, n° 4, pp. 629-654.
- _____. (2005). "Measuring technological capabilities at the country level: A survey and a menu for choice". *Research Policy*, vol. 34, n° 2, pp. 175-194.
- Arellano, M. y Bond, S. (1991). "Some tests of specification for panel data: Monte Carlo evidence and an application to employment equations". *The Review of Economic Studies*, vol. 58, n° 2, pp. 277-297.
- Castellacci, F. (2006). "Convergence and Divergence among Technology Clubs". *DRUID Working Paper n° 06-21*. Noruega: Danish Research Unit for Industrial Dynamics (DRUID)/Aalborg University.
- _____. (2008). "Technology clubs, technology gaps and growth trajectories". *Structural Change and Economic Dynamics*, vol. 19, n° 4, pp. 301-314.
- _____. (2011). "Closing the Technology Gap?". *Review of Development Economics*, vol. 15, n° 1, pp. 180-197. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9361.2010.00601.x>.

- Castellacci, F. y Archibugi, D. (2008). "The technology clubs: The distribution of knowledge across nations". *Research Policy*, vol. 37, n° 10, pp. 1659-1673.
- Castellacci, F. y Natera, J. M. (2011). "A new panel dataset for cross-country analyses of national systems, growth and development (CANAN)". *Innovation and Development*, vol. 1, n° 2, pp. 205-226. DOI: <https://doi.org/10.1080/2157930X.2011.605871>.
- _____ (2013). "The dynamics of national innovation systems: A panel cointegration analysis of the coevolution between innovative capability and absorptive capacity". *Research Policy*, vol. 42, n° 3, pp. 579-594.
- Cohen, W. y Levinthal, D. (1989). "Innovation and learning: the two faces of R & D". *The Economic Journal*, vol. 99, n° 397, pp. 569-596.
- _____ (1990). "Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation". *Administrative Science Quarterly*, vol. 35, n° 1, pp. 128-152. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=buh&AN=9603111655&site=ehost-live>.
- de la Fuente, A. (2002). "On the sources of convergence: A close look at the Spanish regions". *European Economic Review*, vol. 46, pp. 569-599.
- Durlauf, S. N. y Johnson, P. A. (1995). "Multiple Regimes and Cross-Country Growth Behaviour". *Journal of Applied Econometrics*, vol. 10, n° 4, pp. 365-384.
- Galor, O. (2007). "Multiple growth regimes. Insights from unified growth theory". *Journal of Macroeconomics*, vol. 29, n° 3, pp. 470-475.
- _____ (2010). "The 2008 Lawrence R. Klein lecture. Comparative economic development: Insights from unified growth theory". *International Economic Review*, vol. 51, n° 1, pp. 1-44.
- Hansen, B. E. (2000). "Sample splitting and threshold estimation". *Econometrica*, vol. 68, n° 3, pp. 575-603.
- Jungmittag, A. (2004). "Innovations, technological specialization and economic growth in EU". *International Economics and Economic Policy*, vol. 1, n° 2, pp. 247-273.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) (2011). *OCDE Definición Marco de Inversión Extran-*

jera Directa. París: OECD Publishing. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789264094475-es>.

- _____ (2015). *Frascati Manual 2015. Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*. París: OECD Publishing.
- Romer, P. (1990). “Endogenous technological change”. *Journal of Political Economy*, vol. 98, n° 5, part. 2, pp. S71-S102.
- Solow, R. (1988). “Growth Theory and After”. *The American Economic Review*, vol. 78, n° 3, pp. 307-317.
- Urraca-Ruiz, A. y Laguna, N. (2014). “Dynamic technological specialization, aggregated convergence and growth. International”. *Economics and Economy Policy*, vol. 13, pp. 195-221.
- _____ (2018). “Winning or losing a run: the role of technological drivers at stages of development”. *Atlantic Review of Economics*, v. 1, n° 1.

La colección **Ciencia, innovación y desarrollo** se propone reunir la producción académica relacionada con las ciencias básicas y aplicadas, el desarrollo tecnológico, la innovación, el emprendedurismo y el desarrollo.

La presente obra compila una serie de herramientas metodológicas, métodos y metodologías empleadas para el estudio de los procesos de CTI, con foco en las particularidades y adaptaciones necesarias para su uso en América Latina.

En este marco, los tres volúmenes constituyen un conjunto no exhaustivo de métodos y metodologías que han probado ser útiles para el estudio de estos procesos en la región, para un conjunto también no exhaustivo de tópicos sobre los cuales existe un intenso debate académico y de política pública.

El volumen 2, que aquí se presenta, compila once capítulos que abordan diferentes técnicas cuantitativas para el estudio de dichos procesos.

Universidad Nacional
de General Sarmiento 



Libro
Universitario
Argentino

