



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Y DE ADMINISTRACIÓN



INSTITUTO
DE ECONOMÍA



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

¿Es el todo más que la suma de las partes? Los obstáculos a la innovación en las firmas uruguayas

Micaela Vidal Jaureguy

INSTITUTO DE ECONOMÍA

Serie Documentos de Investigación Estudiantil

Julio, 2021

DIE 03/21

ISSN: 2301-1963

(en línea)

Esta investigación se realizó en el marco de la Tesis de la Maestría en Economía (Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República). Agradezco especialmente a mi Director de Tesis, Carlos Bianchi, a Pablo Blanchard y a la Agencia Nacional de Investigación e Innovación por el acceso a los microdatos.

Forma de citación sugerida para este documento: Vidal, M. (2021). “¿Es el todo más que la suma de las partes? Los obstáculos a la innovación en las firmas uruguayas”. Serie Documentos de investigación estudiantil, DIE 03/21. Instituto de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y Administración, Universidad de la República, Uruguay.

¿Es el todo más que la suma de las partes? Los obstáculos a la innovación en las firmas uruguayas

Micaela Vidal Jaureguy

Resumen

La innovación es un fenómeno clave para el desempeño económico de las firmas. Sin embargo, una fracción significativa de empresas no realiza actividades de innovación ni concreta ventas innovadoras. El diseño de políticas públicas exitosas depende de la adecuada comprensión de los obstáculos a la innovación y de la forma en que se relacionan entre sí. La literatura empírica sobre el tema es escasa y los resultados encontrados varían según el contexto.

Esta investigación busca contribuir a acortar la brecha de conocimiento y a generar insumos específicos para el diseño de políticas de innovación en Uruguay. Se aplicó el enfoque directo de estimación de complementariedad, a partir de los abordajes de Mohnen y Röller (2005) y Ballot et al. (2015), a datos provenientes de la Encuesta de Actividades de Innovación de Uruguay para el período 2006-2015. La evidencia señala que los obstáculos financieros y la escasez de personal capacitado se comportan como sustitutos, mientras que esta última y las dificultades para cooperar serían complementarias, tanto en el esfuerzo como en el resultado innovador. Por lo tanto, sería recomendable aplicar paquetes de instrumentos en el primer caso e instrumentos focalizados en el segundo.

Palabras clave: innovación, obstáculos a la innovación, complementariedad, supermodularidad, políticas de innovación.

Código JEL: D22, O31, O38.

(*) Micaela Vidal Jaureguy, correo electrónico: mljaureguy@hotmail.com

Abstract

Innovation is critical for firms' economic performance. However, a significant fraction of companies does not carry out innovation activities or make innovation sales. The design of successful public policies depends on an adequate understanding of innovation barriers and how they relate to each other. There is scarce empirical literature on this subject and results vary according to the context.

This paper seeks to contribute to fulfill the existing knowledge gap and to generate evidence for the design of innovation policy in Uruguay. We apply the direct complementarity approach, based on Mohnen and Röller (2005) and Ballot et al. (2015), using data from the Uruguayan Innovation Survey 2006-2015. The evidence shows that financial barriers and the shortage of qualified workers are substitutes, while the latter and the shortage of opportunities for cooperation are complements, both in effort and in innovative performance. Therefore, it would be advisable to address the first pair of barriers by simultaneous policy instruments and the second pair with an instrument focused on one of those barriers.

Keywords: innovation, innovation barriers, complementarity, supermodularity, innovation policy.

JEL Classification: D22, O31, O38.

1. Introducción

La innovación constituye un fenómeno clave para el desempeño económico y la supervivencia de las firmas (Cefis y Marsili, 2005 y Coad y Rao, 2008 en D'Este et al., 2014). Sin embargo, especialmente en los países de América Latina, existe una fracción significativa de firmas que no realiza actividades de innovación y no introduce nuevos productos al mercado (Álvarez y Grazzi, 2018).

En ese marco, durante los últimos años, los instrumentos de política orientados a potenciar la innovación se han multiplicado y complejizado, tanto en América Latina como en otras regiones del mundo, llegando a coexistir políticas diferentes, pero con igual propósito u orientadas a una misma población objetivo (Magro y Wilson, 2013).

El diseño de políticas de innovación exitosas, que actúen adecuadamente sobre los factores que obstaculizan la innovación, depende de la comprensión de las causas del fenómeno, como en cualquier otro terreno de política pública (Borrás y Edquist, 2013; Pellegrino y Savona, 2017; D'Este et al., 2012). Por lo tanto, es fundamental contar con estudios que generen evidencia para informar a los hacedores de política respecto a los obstáculos a la innovación en los que enfocar los esfuerzos y sobre la mejor manera de coordinar los instrumentos. En particular, es necesario entender cómo se relacionan los obstáculos, para saber qué tipo de política diseñar (e.g. instrumentos focalizados o paquetes de instrumentos que actúen simultáneamente sobre más de un factor).

Las investigaciones que analizan si los obstáculos a la innovación se refuerzan o mitigan mutuamente en el desempeño o resultado innovador de las empresas (i.e. si son complementarios o sustitutos) generan evidencia que permite nutrir el diseño de las políticas en el sentido antedicho (Mohnen y Röller, 2005; Mohnen y Rosa, 2002; Galia y Legros, 2004). No obstante, los resultados suelen diferir según el contexto al que se aplica el estudio, por lo que las recomendaciones de política pueden variar de un país a otro. En particular, son pocos los aplicados a países de América Latina (Resende et al., 2014; Motta et al., 2013).

Además, son escasos los estudios que utilizan la metodología denominada “enfoque directo” o “supermodularidad”, que presenta ventajas respecto a otras. Mohnen y Röller (2005), pioneros en aplicar este enfoque para estudios de políticas de innovación, encontraron que el tipo de relación predominante entre los obstáculos a la innovación varía según la fase del proceso innovador. Resende et al. (2014) y Motta et al. (2013), por su parte, hacen un análisis similar para empresas brasileñas y argentinas respectivamente y no encuentran una diferenciación tan clara.

Si bien estos estudios son antecedentes clave en la materia, gran parte de los autores señala explícitamente que la validez de sus resultados podría estar limitada por la presencia de endogeneidad en sus estimaciones econométricas.

La presente investigación busca contribuir a acortar la brecha de conocimiento en la materia y, dada la contingencia en los resultados de este tipo de análisis, generar insumos específicos para el diseño de políticas de innovación en Uruguay, ya que, a la

fecha de elaboración de este documento, no existen investigaciones que analicen el tipo de relaciones entre los obstáculos a la innovación en las firmas uruguayas.

El estudio se realizó utilizando datos provenientes de la Encuesta de Actividades de Innovación de Uruguay, para el período abarcado por cuatro olas trienales (2006, 2009, 2012 y 2015). Se aplicó el enfoque metodológico directo, siguiendo el abordaje de Mohnen y Röller (2005) y la extensión desarrollada por Ballot et al. (2015), que permite obtener información adicional al estudiar el tipo de relación existente entre pares de obstáculos condicionados a la presencia o no de un tercero.

Esta investigación busca hacer algunas contribuciones metodológicas. En primer lugar, los resultados fueron obtenidos tomando más recaudos en cuanto a su validez. En particular, se dio un primer paso para el tratamiento de la endogeneidad presente en los estudios antecedentes. En segundo lugar, se complementaron y analizaron de forma conjunta los resultados de los enfoques de Mohnen y Röller (2005) y Ballot et al. (2015). Por último, se profundizó en la interpretación conceptual e implicancias de los resultados obtenidos.

En particular, se analizaron las relaciones existentes entre obstáculos a la innovación sobre dos medidas del comportamiento innovador de las empresas: el esfuerzo y el desempeño innovador, medidos a través de la inversión que la firma realiza para innovar y de la concreción de ventas innovadoras respectivamente.

Atendiendo a los antecedentes mencionados, se seleccionaron tres obstáculos a la innovación. Se consideraron obstáculos financieros –i.e. dificultades de acceso a financiamiento– y no financieros –i.e. escasez de personal capacitado y escasas posibilidades de cooperación con otras empresas o instituciones–, con el objetivo de testear dos hipótesis.

En primer lugar, se esperaba encontrar que los obstáculos financieros y no financieros se comportaran como sustitutos entre sí, pues la falta de habilidades (propias o externas) impediría el correcto aprovechamiento de los recursos financieros, por lo que su ausencia sería, en ese contexto, menos significativa. Coherente con la literatura, ambos determinantes son clave para que las firmas innoven (Pellegrino y Savona, 2017; Frederiksen y Lindbjerg, 2019; Galia y Legros, 2004).

En segundo lugar, de forma contraria, se esperaba encontrar complementariedad entre los obstáculos no financieros, pues atendiendo a la literatura (Bogers et al., 2018; D’Este et al., 2014; Cohen y Levinthal, 1989) es razonable que la falta de cooperación sea más perjudicial, en el esfuerzo o resultado innovador, cuando la empresa no tiene desarrolladas destrezas internas (personal capacitado).

Los resultados encontrados validan parcialmente la primera hipótesis. Se encuentra evidencia a favor de una relación de sustituibilidad entre el obstáculo financiero y uno de los no financieros (escasez de personal capacitado), tanto para el esfuerzo como para el resultado innovador. Por su parte, se observa sustituibilidad entre las escasas posibilidades de cooperación y el obstáculo financiero, pero únicamente en el resultado innovador y condicional a que la firma perciba obstáculos de capacitación. La segunda

hipótesis fue validada por la evidencia encontrada, pues los obstáculos no financieros serían complementarios.

Estos resultados tienen importantes implicancias de política. En particular, se desprende la necesidad de adoptar paquetes de instrumentos en el caso de obstáculos financieros y no financieros, pues se comportan como sustitutivos, e instrumentos focalizados para obstáculos no financieros, al ser complementarios.

El presente documento se organiza de la siguiente manera. En la Sección 2 se revisa la literatura sobre obstáculos a la innovación y, en particular, de aquellos estudios que analizan qué tipo de relación existe entre los mismos. En la sección siguiente (Sección 3), se mencionan las diferentes aproximaciones que existen para estudiar dichas relaciones y se desarrolla el “enfoque de la función de producción”, el cual se aplica en este estudio. A continuación, en la primera parte de la Sección 4 se presentan los datos utilizados y se definen las variables consideradas. En la segunda parte de esa sección se explicita la estrategia econométrica empleada. Por último, en la Sección 5 se presentan los resultados obtenidos, en la 6 las conclusiones que se derivan de los mismos y en la Sección 7 se desarrollan las reflexiones finales y se plantean futuras líneas de investigación.

2. Revisión de literatura

2.1. Obstáculos e innovación en las firmas

A partir del reconocimiento generalizado del rol que tiene el cambio tecnológico en la productividad y crecimiento económico, en la segunda mitad del siglo XX, proliferó una extensa literatura sobre los determinantes (*drivers*) de la actividad innovadora. Las investigaciones se centraron en analizar el impacto que tiene la estructura de mercado y las características de las firmas, como su tamaño y rubro de actividad, en la obtención de resultados innovadores (Cohen, 2010).

Si bien dichos estudios ampliaron el conocimiento sobre la temática, no permiten explicar por qué, en la práctica, una proporción significativa de empresas no logra introducir productos nuevos en el mercado o, incluso, por qué no emprende actividades innovadoras (D’Este et al., 2008). Como señalan Pellegrino y Savona (2017), sería incorrecto inferir que identificar los factores de éxito implica comprender a cabalidad las razones que impiden la innovación. Entender esto es particularmente relevante para los países de América Latina, pues presentan una proporción muy reducida de empresas innovadoras, las cuales, en su mayoría, están focalizadas en adquisición externa de conocimiento más que en desarrollos propios (Dutrénit et al., 2019; Yoguel y Robert, 2010).

En los últimos años, el foco de las investigaciones se ha ampliado, abarcando el estudio de los factores que obstaculizan la innovación y su efecto en la decisión empresarial de incursionar en actividades innovadoras y en la intensidad con que lo hacen (Pellegrino y Savona, 2017; D’Este et al., 2008).

El aporte diferencial de estos estudios es reconocido por la literatura. Frederiksen y Lindbjerg (2019) señalan que existen diferencias significativas entre las dos vertientes,

pues mientras las investigaciones sobre factores asociados al éxito innovador proveen información sobre qué pueden hacer las firmas para mejorar, los estudios sobre obstáculos identifican cuellos de botella. Los autores destacan que los primeros han recibido considerablemente mayor atención académica que los segundos.

Básicamente, se han desarrollado dos tipos de estudios sobre obstáculos a la innovación; aquellos que los incorporan como variable dependiente y tienen por objetivo identificar los factores que explican la importancia relativa que las firmas les asignan (Santiago et al., 2017) y otros, entre los que se encuentra la presente investigación, donde los obstáculos a la innovación son variables explicativas de la propensión a innovar y la intensidad de la actividad innovadora (Coad et al., 2016).

Identificar los obstáculos a la innovación y cuantificar su impacto es condición necesaria para el diseño de políticas eficaces que, mediante su mitigación, contribuyan a incrementar la proporción de empresas innovadoras y el desempeño de las ya existentes (Borrás y Edquist, 2013; Pellegrino y Savona, 2017; D'Este et al., 2012).

La mayor parte de los estudios sobre obstáculos se ha focalizado en aquellos de tipo financiero; dificultades de acceso a financiamiento interno y externo a la firma (Bukstein et al., 2018; Himmelberg y Petersen, 1994; Hall, 2002, 2010). De forma coherente, las políticas han tendido a centrarse en aliviar este tipo de restricciones.

Como señalan Mohnen et al. (2008), los problemas para acceder a financiamiento externo son especialmente relevantes en el caso de las actividades innovadoras, pues los proyectos son percibidos como más riesgosos por los potenciales acreedores y las asimetrías de información se acentúan, debido a los problemas de apropiabilidad que llevan a que los agentes innovadores sean más reacios a dar información sobre sus proyectos. En términos generales, la evidencia empírica señala que la incertidumbre y complejidad intrínseca de los proyectos innovadores determina una menor propensión a innovar de las firmas debido a la falta de financiamiento (Hottenrott y Peters, 2012; según Bukstein et al., 2018).

Estos análisis fueron enriquecidos por la disponibilidad, relativamente reciente, de datos provenientes de encuestas de innovación, que permitieron analizar los obstáculos financieros de forma directa a través de la percepción que las firmas tienen de ellos (Bukstein et al., 2018 y Mohnen y Rosa, 2002). Si bien, en términos generales, los estudios confirman la incidencia negativa y significativa de estos factores en la realización de actividades de innovación, los resultados dependen del país, sector de actividad y tipo de firma considerados (e.g. Mancusi y Vezzulli, 2010; Canepa y Stoneman, 2007).

Recientemente, la literatura sobre obstáculos a la innovación ha dado lugar a tres importantes hallazgos. En primer lugar, algunos autores han sugerido que las firmas podrían enfrentar diferentes tipos de obstáculos, financieros y no financieros, evidenciando la necesidad de generar estudios que permitan diseñar políticas acordes (Pellegrino y Savona, 2017; Frederiksen y Lindbjerg, 2019; Galia y Legros, 2004).

A partir de la información recogida por las encuestas de innovación, algunos estudios ampliaron el espectro de obstáculos considerados, yendo más allá de los meramente

financieros. En particular, existe una rama de literatura que incorpora obstáculos no financieros, como la falta de personal capacitado y las escasas posibilidades de cooperación de las firmas, para analizar su efecto en el esfuerzo y resultado innovador de las firmas.

La inclusión de estos factores como potenciales obstáculos a la innovación se basa en aspectos teóricos y evidencia empírica. Por un lado, varios estudios recogen la importancia de los recursos internos a la firma, especialmente los recursos humanos, y su rol crucial en el desarrollo de las firmas. D'Este et al. (2014) señalan que el personal altamente calificado contribuye a constituir una fuerza de trabajo adaptable y proactiva. Varias investigaciones encuentran evidencia empírica sobre la existencia de una correlación positiva entre la capacitación del personal y el desempeño económico e innovador de las firmas (D'Este et al., 2014; Leiponen, 2005).

No obstante, la mayoría de las investigaciones estudian estos factores como determinantes y no desde la óptica de obstáculos a la innovación. Mohnen et al. (2008) indican que la falta de recursos humanos calificados ha recibido menos atención en la literatura de innovación que las restricciones financieras, entienden que esta omisión es injustificada y llaman la atención sobre la necesidad de más investigación.

Coad et al. (2016) analizan diferentes tipos de obstáculos para el caso del Reino Unido y encuentran que los obstáculos financieros y la falta de personal capacitado son los únicos factores que inciden en la productividad de las firmas (citado en Frederiksen y Lindbjerg, 2019). Por su parte, Silva et al. (2007) encuentran, para Portugal, que la falta de personal capacitado restringe la propensión a innovar y el desarrollo del proceso innovador de las firmas. Asimismo, Galia y Legros (2004) señalan que las firmas que posponen proyectos de innovación son más propensas a observar ciertos tipos de obstáculos, como la falta de personal capacitado.

Por otro lado, desde fines de 1990 existe una floreciente literatura que señala las potenciales ganancias de la cooperación para innovar, en términos de aprendizaje y derrames de conocimiento (Antonioli et al., 2017). Asimismo, algunos estudios han mostrado recientemente que la amplitud y profundidad de apertura de una firma determina su comportamiento innovador (Bello-Pintado et al., 2019).

Existen algunos estudios que incorporan en su análisis las dificultades que las empresas pueden encontrar para cooperar con otras firmas o instituciones. Hartono y Kusumawardhani (2019) encuentran evidencia, para el caso de Indonesia, de un efecto negativo y significativo de los obstáculos de conocimiento y cooperación en la innovación en productos (nuevos para el mercado), procesos y en el desempeño innovador.

El segundo hallazgo de la literatura de obstáculos a la innovación es la evidencia encontrada a favor de la ocurrencia simultánea de obstáculos. Los autores antes mencionados, señalan la concurrencia de obstáculos de conocimiento y cooperación (Hartono y Kusumawardhani, 2019). Esta evidencia es razonable teóricamente, pues los efectos de un proceso innovador abierto dependen críticamente de las capacidades internas de la firma (Bello-Pintado et al., 2019). Por otro lado, autores como Coad et al.

(2016), encuentran efectos significativos de la falta de personal capacitado y de los obstáculos financieros (Frederiksen y Lindbjerg, 2019).

El tercer hallazgo señala que la percepción de obstáculos a la innovación por parte de las firmas depende de cuán inmersas estén en procesos de innovación. D'Este et al. (2008) señalan que la evidencia empírica es unánime en mostrar que cuanto más involucrada está una firma en actividades de innovación, más probable es que le asigne una importancia mayor a los obstáculos.

En otras palabras, emprender actividades de innovación determina que las firmas estén más conscientes de las dificultades que implica innovar. Por lo tanto, para analizar empíricamente los obstáculos a la innovación, con datos de encuestas de innovación que recaban la percepción de las firmas, sería crucial distinguir entre empresas innovadoras y no innovadoras y, dentro de estas últimas, dar un trato diferencial a aquellas que intentaron hacerlo (D'Este et al., 2008). Bukstein et al. (2018) afirman que definir la muestra “relevante” de empresas para el análisis empírico es un hito en la literatura de obstáculos a la innovación.

Siguiendo a D'Este et al. (2012), se torna fundamental diferenciar entre obstáculos revelados, que reflejan el grado de dificultad del proceso innovador, y disuasivos, que evitan que las firmas innoven (véase también Pellegrino y Savona, 2017).

En ese sentido, Crespi et al. (2016) muestran empíricamente, al analizar la incidencia de los obstáculos en el comportamiento innovador, cómo cambia el signo de los coeficientes asociados a las variables de obstáculos, de positivo (lo cual resulta en principio contra intuitivo) a negativo, al pasar de una muestra que considera todas las empresas a una sólo con las potencialmente innovadoras.

Por último, en la región existen pocos estudios sobre obstáculos a la innovación. Entre aquellos que los consideran como variable a explicar, destaca el estudio realizado por Santiago et al. (2017) para el caso de México. Las investigaciones regionales que, como la presente, adoptan el enfoque alternativo y, por tanto, consideran los obstáculos a la innovación como variables explicativas de diferentes mediciones de la innovación, se resumen a continuación.

Arza y López (2018) analizaron la incidencia que tienen los obstáculos a la innovación en firmas argentinas, diferenciándolas según su tamaño. A partir de información de la Encuesta Nacional de Dinámica del Empleo e Innovación (ENDEI) y aplicando métodos para controlar la posible existencia de sesgo de selección y endogeneidad, encontraron efectos negativos de diversos obstáculos en la decisión de innovar de las firmas, la intensidad de la inversión en actividades de innovación y la probabilidad de obtener resultados innovadores. Advierten, además, sobre un efecto más intenso de los obstáculos en las empresas de menor tamaño y un impacto especialmente relevante en el monto invertido en innovación de los obstáculos de conocimiento.

Por su parte, Zahler et al. (2018) estudian, utilizando información de tres olas de la encuesta de innovación de Chile, la incidencia de obstáculos de demanda, conocimiento, mercado, cooperación y regulatorios. Encuentran evidencia especialmente significativa para los obstáculos de tipo financiero, tanto en la

propensión e intensidad de la inversión en innovación como en la obtención de resultados innovadores, y efectos heterogéneos entre sectores de actividad. Álvarez y Crespi (2015) encuentran resultados consistentes, evidenciando la importancia cuantitativa de los obstáculos financieros en las empresas chilenas, especialmente en las más pequeñas y en las pertenecientes al sector servicios.

En el caso de Uruguay, Bianchi et al. (2014) señalan que los hacedores de política en dicho país, y en general en América Latina, reconocen que carecen de información sobre los factores que obstaculizan la innovación en sectores productivos y que esto dificulta el diseño eficiente de políticas. En ese marco, si bien existen diversos estudios sobre innovación y políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI), las investigaciones sobre los factores que obstaculizan el desarrollo de actividades y obtención de resultados innovadores es muy acotada (Bukstein et al., 2018).

Crespi et al. (2016) realizan un estudio comparativo de los efectos de los obstáculos a la innovación en empresas uruguayas y chilenas. Consideran cinco grupos de obstáculos relacionados a: i) costos, ii) conocimiento, iii) mercado, iv) apropiabilidad y v) otros. En el caso de Uruguay, el primero incluye, entre otros, las dificultades de acceso a financiamiento, el segundo la escasez de personal capacitado, la rigidez organizacional, las escasas posibilidades de cooperación y la insuficiente información sobre mercados y tecnologías, el tercero incorpora aspectos relativos al tamaño del mercado y escasas oportunidades tecnológicas, en el cuarto incluyen deficiencias en el sistema de propiedad intelectual y el quinto la infraestructura inadecuada y el escaso desarrollo de instituciones de ciencia y tecnología. Los modelos, que incorporan una serie de variables de control, arrojan evidencia de un efecto significativo y negativo de casi todos los grupos de obstáculos considerados. Sin embargo, concluyen que la incidencia difiere según el sector de actividad de las firmas (industria o servicios).

A su vez, Bukstein et al. (2018) analizan el efecto que un conjunto de obstáculos tiene en la innovación utilizando información de la Encuesta de Actividades de Innovación de Uruguay (EAI, olas 2006 a 2015). Incluyen, entre otras, la variable “obstáculos de conocimiento”, que incorpora información sobre escasez de personal capacitado, falta de información sobre tecnología y mercados, rigidez organizacional y escasas posibilidades de cooperación, y encuentran evidencia sobre su efecto en la propensión a innovar y en el monto invertido en actividades de innovación.

En síntesis, el estudio de los obstáculos a la innovación es relevante para comprender qué factores y en qué medida inhiben la realización de actividades de innovación y la obtención de resultados innovadores y, por tanto, para la elaboración de políticas que efectivamente contribuyan a aumentar la proporción de firmas innovadoras y el nivel de inversión y desempeño de las que ya innovan.

Sin embargo, la literatura que analiza un amplio espectro de obstáculos a la innovación (financieros y no financieros) es escasa, especialmente la que estudia el impacto que tienen en el desempeño y resultado innovador de las firmas. Frederiksen y Lindbjerg (2019) señalan que aún es relativamente poco el conocimiento que se tiene sobre la forma en que se relacionan los obstáculos a la innovación.

Adicionalmente, los resultados de las investigaciones sobre el tema suelen ser contingentes al entorno donde se hace el análisis; las conclusiones difieren entre países, sectores y tipos de firmas. Hueske y Guenther (2015) argumentan que la discusión sobre obstáculos a la innovación es empírica por naturaleza, por lo que recomiendan una investigación específica al contexto (De Fuentes et al., 2018).

2.2. Sinergias y evidencia de complementariedad

Como se indicó previamente, la literatura más reciente señala la existencia de un conjunto amplio de factores, financieros y no financieros, que podrían obstaculizar la innovación de forma concurrente. Desde un enfoque sistémico, se entiende que estos obstáculos podrían relacionarse entre sí, creando sinergias que refuercen su poder disuasivo en la decisión de innovar de las firmas (Borrás y Edquist, 2013).

La idea intuitiva de sinergia; el hecho de que el todo puede ser mayor que la suma de las partes, se vincula al concepto matemático de complementariedad. Dos o más actividades se dicen complementarias en el sentido de Edgeworth si hacer alguna de ellas (o hacer más) aumenta el retorno de hacer otras (o hacer más); es decir que se refuerzan mutuamente (Milgrom y Roberts, 1995).

En este sentido, si el efecto disuasivo, en la decisión de invertir en innovación, de enfrentar dos obstáculos de forma simultánea es mayor que la suma de sus efectos aislados, entonces, se dice que esos obstáculos son complementarios en la inversión en innovación. En el caso opuesto, cuando la presencia de un obstáculo disminuye la importancia de otro, se habla de sustituibilidad.

La idea de complementariedad no es nueva ni en el área de gestión estratégica ni en la historia de los negocios (Leiponen, 2005). Sin embargo, no fue objeto de investigación en la teoría económica de la firma hasta el estudio seminal de Milgrom y Roberts (1990) con base en Topkis (1978) (véase la Sección 3 “Metodología” para una ampliación).

La aplicación en el área de la innovación es coherente con la naturaleza sistémica del fenómeno. Como señala Dosi (1988), la innovación suele ser descrita como el resultado de un complejo entramado de factores que se relacionan entre sí, a veces, a través de relaciones de complementariedad al actuar juntos y reforzarse mutuamente (Mohnen y Röller, 2005).

En términos generales, en la literatura de la innovación, el análisis de relaciones de complementariedad es aplicado a diferentes objetos de estudio. En la Tabla 1 se exponen estudios seleccionados que siguen esa línea de investigación, cuyo objetivo es analizar el tipo de relaciones (complementariedad o sustituibilidad) existente entre diferentes factores: i) obstáculos a la innovación, ii) fuentes de conocimiento, iii) tipos de innovación (de productos, procesos, organizacionales) y iv) otros.

Se trata de investigaciones relativamente recientes, que utilizan datos provenientes de encuestas de innovación y que están aplicadas, en su mayoría, a países desarrollados.

Algunos estudios utilizan un enfoque metodológico indirecto testeando básicamente relaciones de correlación. Si bien existen versiones más complejas, los propios investigadores advierten que este enfoque permite verificar la concurrencia de los factores, pero no necesariamente arroja evidencia de que se refuercen mutuamente (e.g. Mohnen y Rosa, 2002).

Otros estudios utilizan una metodología directa, siguiendo el trabajo de Milgrom y Roberts (1995) extendido por Mohnen y Röller (2005), que supera limitaciones del enfoque antes nombrado. Consiste en testear las propiedades matemáticas (supermodularidad) de una función de producción, cuyos argumentos son los factores potencialmente complementarios y el output es la variable en la que inciden las combinaciones de esos factores.

Recientemente, Ballot et al. (2015) propusieron, en el marco del enfoque directo, un método que tiene la ventaja de evitar resultados no concluyentes. Esta metodología, replicada por Serrano-Bedia et al. (2017), Guisado-González et al. (2017) y Bello-Pintado et al. (2019), analiza la existencia de complementariedad entre parejas de factores condicional al valor de un tercero, por lo que se la denomina “enfoque condicional”.

Tabla 1: Estudios seleccionados sobre complementariedad en innovación.

Factores considerados (a)	Metodología	Variable dependiente	Artículos	País
Obstáculos a la innovación	Enfoque indirecto (Correlación)	N/C	Mohnen y Rosa (2002)	Canadá
			Galia y Legros (2004)	Francia
	Enfoque directo (Supermodularidad)	Propensión a innovar e intensidad resultado innovador	Mohnen y Röller (2005) (b)	Irlanda, Dinamarca, Alemania e Italia
			Resende et al. (2014) (b)	Brasil
			Motta et al. (2013) (b)	Argentina
			Antonioli et al. (2017)	Francia
Fuentes de conocimiento	Enfoque directo (Supermodularidad)	Intensidad resultado innovador	Love et al. (2006)	Reino Unido y Alemania
		Aplicación a patentes y beneficios innovación	Schmiedeberg (2008)	Alemania
		Nivel de innovación	Morero et al. (2014)	Argentina
		Propensión a innovar (cada tipo de innovación)	Serrano-Bedia et al. (2017) (c)	España
		Esfuerzo y resultado innovador	Bello-Pintado et al. (2019) (c)	Uruguay
Tipos de innovación	Enfoque directo (Supermodularidad)	Productividad laboral	Ballot et al. (2015) (c)	Francia y Reino Unido
			Guisado-González et al. (2017) (c)	España
Capacitación, cooperación y resultado innovador	Enfoque directo (Supermodularidad)	Rentabilidad sobre ventas	Leiponen (2005)	Finlandia

(a) Factores respecto a los que se analiza la presencia de complementariedad, (b) como *proxy* de variables de política, (c) incorporan análisis condicional.

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 2 se resumen algunos aspectos relevantes y distintivos de los estudios que aplican el abordaje de complementariedad a los obstáculos a la innovación (considerando su impacto en la innovación), sea mediante el enfoque indirecto o el directo.

Se trata de cinco estudios aplicados, en su mayoría, a países desarrollados (Francia, Canadá, Irlanda, Dinamarca, Alemania e Italia, los últimos cuatro analizados en una misma investigación) y en dos casos a América Latina (Brasil y Argentina). Tres de ellos consideran empresas del sector manufacturero, mientras que los dos restantes analizan firmas, argentinas y canadienses, del rubro servicios.

En la mayoría de los casos el análisis es realizado sobre datos de sección cruzada que provienen de encuestas de innovación, las cuales recaban si las firmas perciben obstáculos y, en cuatro casos, en qué medida (aplicando una escala de tipo Likert).

Dos investigaciones siguen el enfoque indirecto de correlación. Tanto Mohnen y Rosa (2002) como Galia y Legros (2004) aplican tres métodos: i) correlaciones binarias simples, ii) análisis de componentes principales (o, su símil en caso de variables dicotómicas, análisis de correspondencia) y iii) estimaciones econométricas, incluyendo tantas ecuaciones o modelos como obstáculos considerados. En el último caso, la variable dependiente es cada obstáculo a la innovación y se analizan las correlaciones entre los residuos. Mohnen y Rosa (2002) aplican un modelo Probit multinomial ordenado y Galia y Legros (2004) un Probit multivariado. Ambos incorporan variables de control, entre las que tienen en común destacan el sector de actividad de las empresas, su tamaño y la puesta en práctica de actividades de Investigación y Desarrollo (I+D).

En línea con la metodología utilizada, estos estudios son los que incorporan más cantidad de obstáculos en su análisis (13 y 9 respectivamente). El análisis de componentes principales les permite obtener tres grupos, aunque diferentes en cada caso.

Mohnen y Röller (2005), Motta et al. (2013) y Resende et al. (2014), aplican el enfoque de supermodularidad en su versión incondicional. Las tres investigaciones dividen el análisis en dos fases del proceso innovador. En primer lugar, consideran la propensión a innovar, utilizando una variable dummy como variable dependiente (toma el valor uno si la empresa innova). En segundo lugar, estiman un modelo que explica la intensidad del resultado innovador, aproximada mediante la proporción de ventas innovadoras sobre el total de ventas de la empresa. En el estudio aplicado a Argentina, Motta et al. (2013) ponderan las ventas innovadoras según su grado de novedad. Por su parte, Mohnen y Röller (2005) y Resende et al. (2014) incorporan en su estimación el Inverso del ratio de Mills calculado en la primera etapa, con el objetivo de controlar por la censura de los datos (la variable resulta significativa).

Algunas de las variables de control incluidas, por al menos uno de los tres estudios, son el tamaño de las firmas, la pertenencia a grupos económicos, la realización de actividades de I+D, la presencia de capital extranjero, la orientación exportadora de las firmas y la región y sector donde se desempeñan.

Los tres estudios consideran los obstáculos a la innovación como proxy de variables de política. Toman en cuenta cuatro obstáculos que se corresponden de forma unívoca con preguntas de las encuestas de innovación utilizadas. En todos los casos se incluyen obstáculos financieros y de escasez de personal capacitado. El tercer elemento considerado por Mohnen y Röller (2005) y Resende et al. (2014) son las dificultades de cooperación. En el primer estudio consideran como cuarto obstáculo la regulación, mientras que Resende et al. (2014) incorporan la dificultad de acceso a información sobre tecnologías o mercados. Por su parte, Motta et al. (2013) consideran los riesgos de copia de la innovación por parte de competidores y la falta de oportunidades de innovar debido a la demanda.

Tabla 2: Estudios sobre complementariedad en obstáculos a la innovación.

Artículo	País (sector)	Obstáculos considerados		Metodología	
		Cantidad	Categorías	Tipo	Descripción
Mohnen y Rosa (2002)	Canadá (servicios)	13 <i>Grupos:</i> 3	Riesgo, costos, financiamiento, personal capacitado, equipamiento, rigidez organizacional y regulación (b)	Enfoque indirecto (Correlación)	i) Correlación binaria simple ii) Componentes principales (a) iii) modelo obstáculos (correlación residuos)
Galia y Legros (2004)	Francia (industria)	9 <i>Grupos:</i> 3	Riesgo, costos, financiamiento, rigidez organizacional, personal capacitado, información sobre tecnología y sobre mercados, regulación y demanda		
Mohnen y Röller (2005) (c)	Irlanda, Dinamarca, Alemania e Italia (industria)	4	Financiamiento, personal capacitado, cooperación y regulación	Enfoque directo (Supermodularidad)	Complementariedad y sustituibilidad incondicional
Motta et al. (2013) (c)	Argentina (servicios)	4	Financiamiento, personal capacitado, apropiabilidad y oportunidades debido a la demanda		
Resende et al. (2014) (c)	Brasil (industria)	4	Financiamiento, personal capacitado, cooperación e información sobre tecnología o mercados		

(a) Análisis de correspondencia en Galia y Legros (2004), (b) algunas categorías incluyen más de un obstáculo individual, (c) analizan obstáculos como *proxy* de variables de política.

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos por las cinco investigaciones son, como se puede observar en la Tabla 3, ciertamente disímiles. Los obstáculos relacionados y el tipo de vínculo encontrado (complementariedad o sustituibilidad) varían según el estudio considerado, lo cual refuerza la idea de la dependencia de los resultados al contexto donde se realiza el análisis (país o sector de actividad).

Los estudios de Mohnen y Rosa (2002) y Galia y Legros (2004) encuentran relaciones de complementariedad, aunque entre diferentes grupos de obstáculos, mientras que los que utilizan el enfoque de supermodularidad, además de complementariedad, encuentran sustituibilidad entre algunos factores. El estudio de Mohnen y Röller (2005) es el que señala patrones más claros; encuentra que prevalecen relaciones de

sustituibilidad en la propensión a innovar y de complementariedad en la intensidad con que las firmas innovan.

Tabla 3: Resultados de estudios de complementariedad en obstáculos a la innovación (a).

Artículo	Variable dependiente (b)	Resultados encontrados (c)	
		Complementariedad	Sustituibilidad
Mohnen y Rosa (2002)	N/C	i) Costos - riesgos ii) Rigidez organizacional – regulación	
Galia y Legros (2004)	Proyectos pospuestos	i) Riesgos - costos - financiamiento ii) Rigidez organizacional - personal capacitado - información iii) Regulación – demanda	
	Proyectos abandonados	i) Riesgos - costos - rigidez organizacional - personal capacitado – información	
Mohnen y Röller (2005) (d)	Propensión a innovar		i) Financiamiento - cooperación ii) Personal capacitado - cooperación iii) Personal capacitado - regulación
	Intensidad innovadora	i) Financiamiento – personal capacitado ii) Financiamiento – cooperación iii) Financiamiento – regulación	
Motta et al. (2013)	Propensión a innovar	i) Personal capacitado – apropiabilidad	i) Personal capacitado - oportunidades debido a la demanda
	Intensidad innovadora	i) Financiamiento - personal capacitado ii) Personal capacitado - apropiabilidad	
Resende et al. (2014) (d)	Propensión a innovar	i) Personal capacitado - información ii) Cooperación – información	i) Financiamiento - información
	Intensidad innovadora	i) Financiamiento - personal capacitado ii) Financiamiento - información iii) Personal capacitado - información iv) Cooperación – información	

(a) Se destacan los resultados más concluyentes y con más claras implicancias de política, (b) en el caso de Galia y Legros (2004) se diferencia según “tipo de proyecto considerado”, (c) se separan con guiones los obstáculos complementarios o sustitutos, según corresponda, (d) analizan obstáculos como *proxy* de variables de política.

Fuente: Elaboración propia.

Entender la forma en que los obstáculos a la innovación condicionan el esfuerzo o resultado innovador y cómo se relacionan entre sí es condición necesaria para diseñar instrumentos de política eficaces (Borrás y Edquist, 2013). Las políticas de innovación han tendido a multiplicarse en las últimas décadas, dando lugar a que frecuentemente coexistan e interactúen en un mismo país o región, pudiendo dar lugar a que se refuercen mutuamente o, incluso, se atenúen (Magro y Wilson, 2013). Por lo tanto, es preciso contar con información que guíe el diseño de políticas de innovación, que permita definir qué obstáculos son relevantes y si es mejor mitigarlos de forma simultánea, mediante paquetes de instrumentos, o aislada, con una política focalizada.

Las recomendaciones de política que se pueden derivar de los análisis de complementariedad antes presentados son especialmente relevantes, pues se obtiene

evidencia de la relación existente entre los obstáculos en el esfuerzo y resultado innovador. Como señalan Motta et al. (2013), identificar el tipo de relación, entre obstáculos y políticas a la innovación, no es trivial y su consideración condiciona el grado de eficiencia de las políticas a la innovación. No obstante, como se indicó previamente y como señalan los autores, este tipo de análisis es escaso.

Siguiendo a Mohnen y Röller (2005) y Motta et al. (2013), la sustituibilidad entre factores que representan “males”, como los obstáculos a la innovación, implica que la presencia de uno atenúa el efecto negativo que ejerce el otro y, en sentido inverso, remover o mitigar un “mal” sustitutivo exacerbaría el impacto del otro. Por lo tanto, los “males” sustitutos deberían ser removidos de forma conjunta aplicando instrumentos de política (“bienes”) de forma simultánea, esto es, mediante paquetes de instrumentos complementarios. Por su parte, la complementariedad entre obstáculos (“males”) que se refuerzan mutuamente, implica que remover uno atenuaría el efecto del otro. En este contexto, sería suficiente con aplicar un instrumento de política (“bien”) focalizado en alguno de los obstáculos, pues estos instrumentos se comportarían como sustitutos.

Coherente con lo anterior y con la variedad de resultados encontrados, los estudios resumidos en la Tabla 3 difieren en sus recomendaciones de política.

Aquellos que aplican el enfoque de correlación advierten que los obstáculos a los que denominan “complementarios” no necesariamente se refuerzan, pero enfatizan que la evidencia encontrada sugiere que deberían removerse en forma conjunta pues esos obstáculos, aparentemente independientes, serían parte de una misma problemática (Mohnen y Rosa, 2002).

Mohnen y Röller (2005) señalan que los obstáculos a la innovación son diferentes según la fase del proceso innovador considerada y recomiendan la aplicación de paquetes de instrumentos para incentivar a que las firmas innoven y políticas focalizadas para aumentar el nivel en que lo hacen. No obstante, señalan que los resultados y recomendaciones son preliminares al basarse en datos de corte transversal la cual reduce sus posibilidades de controlar potenciales problemas de endogeneidad.

En suma, de acuerdo con la literatura, existen factores, financieros y no financieros, que pueden actuar de forma conjunta, incluso reforzándose, en la decisión de innovar de las firmas. Un estudio en profundidad de este fenómeno es fundamental para el diseño de políticas públicas que contribuyan, de forma efectiva, a aumentar la proporción de empresas que emprenden actividades de innovación y el nivel de resultados innovadores obtenidos por las que ya lo hacen. Sin embargo, a la fecha de elaboración de este documento, son aún pocas las investigaciones de este tipo, más aún aquellas que aplican enfoques directos.

El objetivo de este trabajo es indagar qué tipo de relaciones, de complementariedad o sustituibilidad, prevalecen entre los obstáculos a la innovación percibidos por las empresas uruguayas, con el objetivo de generar insumos para el diseño de políticas públicas en la materia. A la fecha, no existen investigaciones de este tipo para Uruguay y sólo dos para la región, siendo especialmente relevante su realización dada la alta contingencia de los resultados de estos análisis. Además, existe en Uruguay la

inquietud de extender los estudios existentes con una metodología que permita entender cómo se relacionan los obstáculos a la innovación¹.

La presente investigación busca contribuir a subsanar esa brecha de conocimiento aplicando el enfoque directo, dadas sus ventajas frente a otras metodologías, tomando recaudos metodológicos para la obtención de resultados válidos. En particular, se dio un primer paso para el tratamiento de la endogeneidad, problemática potencialmente presente en las investigaciones previas. Además, se ahondó en la interpretación conceptual de los resultados obtenidos.

3. Metodología

Existen diferentes abordajes metodológicos que permiten testear, con diferentes niveles de rigurosidad, la presencia de complementariedad o sustituibilidad entre variables. Siguiendo la clasificación propuesta por Mohnen y Röller (2005), es posible identificar tres grandes tipos de metodologías.

En primer lugar, el “enfoque de las correlaciones” se basa en el supuesto de preferencias reveladas, al asumir que bajo una relación de complementariedad las variables tenderán a estar correlacionadas. Esta metodología sólo requiere datos de las variables sobre las que se desea realizar el test y, en esquemas más complejos, sobre variables de control, pero no de variables de resultados sobre las que se espera que incidan las primeras. Si bien el procedimiento permite obtener evidencia acerca de la ocurrencia conjunta de los fenómenos considerados, no sería suficiente para concluir acerca de la existencia de relaciones de complementariedad (Athey y Stern, 1998).

En segundo lugar, la “metodología de la forma reducida” se basa en restricciones de exclusión. La idea que subyace a este enfoque es que un factor que afecta una acción no estará correlacionado con otra acción, a menos que sean complementarias (Mohnen y Röller, 2005). Holmström y Milgrom (1995) aplican esta metodología para analizar las relaciones existentes entre instrumentos para motivar a los trabajadores. Arora (1996) presenta este esquema como alternativa cuando no puede estimarse un modelo estructural, pero señala que sólo es útil para analizar la existencia de complementariedad (o sustituibilidad) entre dos variables.

El tercer lugar, el “enfoque de la función de producción” o de “supermodularidad” considera una función objetivo de forma explícita, la cual relaciona alguna medida de desempeño de la firma con combinaciones de los factores potencialmente complementarios. La presencia de complementariedad (sustituibilidad) se testea evaluando las propiedades matemáticas de esa función (supermodularidad (submodularidad)).

La base algebraica de esta metodología es la formalización matemática del concepto de complementariedad dentro de la teoría de retículos, utilizada por primera vez por Topkis (1978) para optimizar funciones supermodulares (véase el Anexo 1). A partir de ese trabajo, surgieron aplicaciones y extensiones en el campo de la economía, una de

¹ Palabras del Ec. Gustavo Crespi en ocasión de presentar el Diploma en Desarrollo Territorial (CLAEH) en 2018.

las primeras se remonta al trabajo de Milgrom y Roberts (1990). Mohnen y Röller (2005), por su parte, operacionalizaron estos conceptos en estudios sobre innovación.

Se dice que existe complementariedad (sustituibilidad) entre un conjunto de variables cuando la función es supermodular (submodular) en esos argumentos. Formalmente, siguiendo a Mohnen y Röller (2005), dados dos vectores $(x, x' \in \mathbb{R}^n)$ con realizaciones de n -variables y definiendo las operaciones *join* ($x \vee x'$) como el máximo de cada uno de los componentes de x, x' y *meet* ($x \wedge x'$) como el mínimo, una función $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$, es supermodular si para todo x, x' se cumple que²,

$$f(x) + f(x') \leq f(x \wedge x') + f(x \vee x') \quad (1)$$

Lo cual es equivalente a,

$$[f(x) - f(x \wedge x')] + [f(x') - f(x \wedge x')] \leq f(x \vee x') - f(x \wedge x')$$

Esto significa que una función es supermodular si la suma de los efectos de aumentar las variables de forma aislada es menor al efecto que se obtiene al incrementarlos simultáneamente. Conceptualmente, como se explicitó previamente, un conjunto de actividades son complementarias en el sentido de Edgeworth si hacer (o hacer más) de una actividad incrementa el retorno de hacer (o hacer más) de las otras (Milgrom y Roberts, 1995). En un contexto diferenciable, esto es asimilable al concepto de retorno marginal creciente de una variable en el nivel de las otras; derivadas parciales cruzadas positivas (véase el Anexo 1).

Cabe señalar que, atendiendo a los conceptos introducidos por Topkis (1978), si se considerasen más de dos variables, es suficiente testear la presencia de complementariedad tomándolas de a pares (véase el Anexo 1).

En el presente estudio, la función objetivo es una función de innovación (I) que supone que el esfuerzo o resultado innovador de las firmas está determinado por una serie de variables de control (Z) y las k -combinaciones de obstáculos a la innovación que la firma percibe ($c^k \in C$), donde $k = 1, \dots, 8$, pues se consideran tres obstáculos. Los obstáculos analizados son: 1) escasez de personal capacitado, 2) dificultades de acceso a financiamiento y 3) escasez posibilidades de cooperación con otras empresas o instituciones.

Formalmente, siguiendo a Mohnen y Röller (2005), usando la definición de supermodularidad (ecuación (1)) y omitiendo las variables de control (Z) para simplificar la exposición, los obstáculos 1) y 2) se consideran complementarios si se cumple simultáneamente que,

$$\begin{cases} I(1; 0; 0) - I(0; 0; 0) \leq I(1; 1; 0) - I(0; 1; 0) \\ I(1; 0; 1) - I(0; 0; 1) \leq I(1; 1; 1) - I(0; 1; 1) \end{cases} \quad (2)$$

Lo mismo debe cumplirse para las parejas de obstáculos 1) - 3) y 2) - 3) para que sean considerados complementarios.

² La función f es submodular si $-f$ es supermodular.

Cabe señalar que, siguiendo a Bello-Pintado et al. (2019), se considera que existe evidencia de supermodularidad cuando al menos una de las inequidades se cumple de forma estricta³.

Kodde y Palm (1986) derivaron un test estadístico que permite analizar el cumplimiento simultáneo de las inequaciones antedichas utilizando los coeficientes del modelo estimado para la función de innovación (I) asociados a las combinaciones de obstáculos ($\widehat{\gamma}^k$ asociado a c^k). Los autores identificaron valores críticos (límite superior e inferior) que permiten, mediante un test de Wald, testear el equivalente a las inequidades (2) usando los coeficientes $\widehat{\gamma}^k$,

$$\begin{cases} \gamma^{100} - \gamma^{000} \leq \gamma^{110} - \gamma^{010} \\ \gamma^{101} - \gamma^{001} \leq \gamma^{111} - \gamma^{011} \end{cases}$$

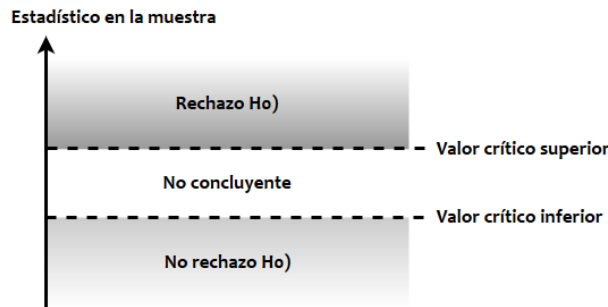
La hipótesis nula es testeada utilizando el siguiente estadístico,

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

Donde, $\hat{\gamma}$ es un vector con los ocho coeficientes estimados, Ω la matriz de varianzas y covarianzas estimada y $\bar{\gamma}$ el vector de estimadores que minimiza W bajo el cumplimiento de la hipótesis nula.

Kodde y Palm (1986) demuestran que, si el estadístico tiene un valor en la muestra menor al límite inferior, no se rechaza la hipótesis nula de supermodularidad (o submodularidad). Si es mayor al límite superior, entonces se rechaza la hipótesis nula. Entre ambos extremos, existe una zona intermedia donde el test no es concluyente (Diagrama 1).

Diagrama 1: Interpretación del estadístico según los valores críticos de Kodde y Palm (1986).



Fuente: elaboración propia en base a Kodde y Palm (1986).

En la práctica, para encontrar evidencia de complementariedad (o sustituibilidad) entre una pareja de obstáculos deben realizarse separadamente los test de supermodularidad

³ Mohnen y Röller (2005), por su parte, definen supermodularidad “estricta” cuando ambas se cumplen de forma estricta. En la presente investigación, como se plasma más adelante, se toma otro criterio para distinguir entre supermodularidad “fuerte” y “débil”.

y submodularidad sobre los mismos obstáculos y luego analizar los resultados de forma conjunta (Bello-Pintado et al., 2019).

Como se resumen en la Tabla 4, para encontrar evidencia de complementariedad (sustituibilidad) entre un par de obstáculos es condición necesaria, pero no suficiente, no rechazar la hipótesis nula de supermodularidad (submodularidad) de la función en esos argumentos. Adicionalmente, deberá rechazarse la hipótesis de submodularidad (supermodularidad) en la misma pareja de variables para encontrar evidencia de “complementariedad (sustituibilidad) fuerte”. En el presente trabajo, se optó por denominarla así para contrastar con el caso en que el test de submodularidad (supermodularidad) es no concluyente, donde se habla de “complementariedad (sustituibilidad) débil”. En los demás casos, no se puede concluir que exista una relación de complementariedad o sustituibilidad.

Tabla 4: Interpretación conjunta de los test de supermodularidad y submodularidad.

Resultado de cada test		Resultado general (Complementariedad / Sustituibilidad)
Supermodularidad (Complementariedad)	Submodularidad (Sustituibilidad)	
No rechazo	Rechazo	Complementariedad fuerte
No rechazo	No concluyente	Complementariedad débil
Rechazo	No rechazo	Sustituibilidad fuerte
No concluyente	No rechazo	Sustituibilidad débil
No rechazo	No rechazo	No concluyente
Rechazo	Rechazo	No concluyente
No concluyente	No concluyente	No concluyente

Fuente: adaptado a partir de Bello-Pintado et al. (2019) y Ballot et al. (2015).

Dado que en el presente estudio se analizan tres variables, para tener un panorama completo de las relaciones de complementariedad y sustituibilidad existentes entre cada par de obstáculos, debieron realizarse test sobre seis parejas de inecuaciones. Adicionalmente, se optó por considerar dos variables dependientes (véase la Sección 4 “Datos, variables y estrategia econométrica”), por lo que se duplicó la cantidad de test a realizar, dando lugar a un total de doce pruebas.

El enfoque de Mohnen y Röller (2005) puede ser denominado “incondicional” al testear supermodularidad (o submodularidad) entre una pareja de variables para todo valor de la tercera variable considerada. Uno de los inconvenientes más relevantes de esta metodología es la zona no concluyente del test. Como respuesta a este problema, Ballot et al. (2015) desarrollaron una variante “condicional” que analiza la presencia de complementariedad o sustituibilidad entre dos variables condicional a que la tercera tome cierto valor (se diferencian los casos en que está o no activa).

Formalmente, los obstáculos 1) y 2) serán complementarios, condicional a la ausencia del tercer obstáculo (observa valor cero), si se cumple la siguiente hipótesis nula,

$$I(1; 0; 0) - I(0; 0; 0) < I(1; 1; 0) - I(0; 1; 0)$$

La hipótesis alternativa está dada por $I(1; 0; 0) - I(0; 0; 0) = I(1; 1; 0) - I(0; 1; 0)$.

Para aplicar esta metodología debieron ser testeadas seis inequidades (dos para cada pareja de obstáculos, condicionando según el tercero esté activo o no) para poder contemplar todos los casos posibles. El mismo análisis debió ser llevado a cabo para testear sustituibilidad. En total, se realizaron doce test, para cada variable de resultados.

4. Datos, variables y estrategia econométrica

La Encuesta de Actividades de Innovación de Uruguay (EAI), recabada y procesada por el Instituto Nacional de Estadística (INE) y la Agencia Nacional de Investigación e Innovación (ANII), constituye la principal fuente de información del presente estudio. La encuesta fue desarrollada siguiendo los lineamientos conceptuales y metodológicos del Manual de Bogotá (Jaramillo et al., 2000), el cual compatibiliza criterios del Manual de Oslo (OCDE, 2005) con elementos específicos diseñados para captar particularidades de los países latinoamericanos.

La EAI recaba información representativa, a nivel nacional y sectorial, de empresas con al menos cinco ocupados a través de un muestreo aleatorio estratificado. Los estratos consideran dos dimensiones: i) el sector de actividad económica (a nivel de división) y ii) el tamaño de la firma según personal ocupado.

La muestra fue inicialmente diseñada como corte transversal. No obstante, a partir del año 2012 se comenzó a hacer un seguimiento de tipo panel que permite captar la dinámica innovadora de las empresas en el tiempo y, a su vez, maximizar las tasas de respuesta obtenidas.

El conjunto de datos es un panel no balanceado compuesto por seis olas trienales, la primera corresponde al trienio 1998-2000 y la última disponible a 2013-2015. En el presente estudio se utilizaron las últimas cuatro olas (2006, 2009, 2012 y 2015), debido a que a partir de 2006 comenzaron a recabarse datos de empresas del sector servicios. Además, previo al análisis, se excluyeron del panel a las empresas públicas, pues siguen otro patrón de comportamiento, y se depuraron los valores atípicos.

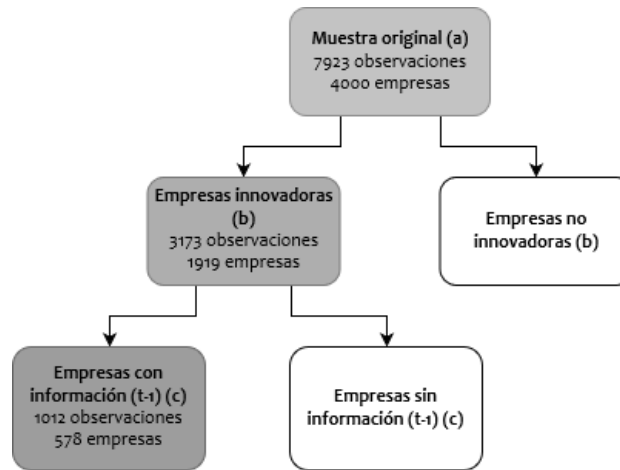
Dicha muestra, que contiene 7923 observaciones (correspondientes a 4000 empresas), fue reducida en dos etapas sucesivas con el objetivo de obtener la muestra que finalmente se utilizó para estimar el modelo (Diagrama 2).

En primer lugar, se siguió la estrategia sugerida por la literatura de obstáculos a la innovación, que plantea la necesidad de diferenciar entre firmas innovadoras y no innovadoras (D'Este et al., 2008 y 2012). Empíricamente, se optó por un camino similar al planteado por Pellegrino y Savona (2017) y Crespi et al. (2016) para obtener la muestra “relevante”, considerando únicamente a las firmas involucradas en alguna actividad de innovación. La submuestra resultante contiene 3173 observaciones correspondientes a 1919 empresas.

En segundo lugar, el tamaño muestral se vio reducido por incorporar en el análisis sólo a aquellas firmas que hubieran respondido la encuesta en el período inmediato

anterior, a efectos de utilizar los rezagos como instrumentos en las estimaciones. En suma, la muestra final contiene 1012 observaciones correspondientes a 578 empresas.

Diagrama 2: Selección de la muestra.



(a) Esta muestra considera las olas de 2006 en adelante, fue depurada de valores atípicos y se excluyeron las empresas públicas, (b) se separó la muestra teniendo en cuenta si las empresas realizaron o no alguna actividad de innovación, (c) se distinguió entre las firmas que tenían información para el período inmediato anterior y las que no.

Fuente: elaboración propia en base a la EAI.

En la muestra seleccionada, cerca de la mitad de las firmas respondió dos olas de la encuesta, más de un quinto respondió cuatro encuestas y el cuarto restante participó de tres (Tabla 5).

Tabla 5: Cantidad de empresas según número de observaciones.

Observaciones	Cantidad empresas	%
2	297	51%
3	128	22%
4	153	26%
Total	578	100%

Fuente: elaboración propia en base a la EAI.

4.1. Variables consideradas

4.1.1. Variables dependientes

En la literatura se ha utilizado una amplia variedad de indicadores para medir la innovación; incluyendo medidas a nivel de insumos (como gasto en I+D) y de resultados o desempeño innovador (como el monto de ventas innovadoras y la obtención o aplicación a patentes) (Grimpe y Sofka, 2016).

En el presente estudio se utilizaron dos variables dependientes, una que busca medir el desempeño innovador de las firmas y otra que se focaliza en el esfuerzo que hacen las firmas para innovar.

Dos razones motivan esta decisión. En primer lugar, la innovación es un fenómeno complejo y tanto el esfuerzo como los resultados innovadores han mostrado ser altamente contingentes a las características de las firmas y de su entorno (Kaiser, 2002), por lo que es recomendable utilizar varios indicadores para captar diferentes facetas del fenómeno. La literatura empírica relacionada utiliza básicamente las variables antedichas y las operacionaliza de diferentes maneras. En segundo lugar, en la economía uruguaya, al igual que en la mayoría de los países de América Latina, la masa crítica de empresas innovadoras es pequeña y los resultados innovadores son magros, por lo que es relevante contar con una medición que capte el efecto de los obstáculos en la inversión en innovación (Álvarez y Grazzi, 2018).

En términos operativos, se consideró la inversión en actividades innovadoras como medida del esfuerzo que hacen las firmas para innovar⁴. La intensidad del esfuerzo innovador fue aproximada mediante el cociente entre dicha inversión y las ventas de la empresa en el año de referencia (último año de cada ola). En el caso del resultado innovador, se optó por considerar el monto de las ventas innovadoras. Esta elección implica focalizar en productos aceptados por el mercado, siendo esta una condición necesaria para que una invención se traduzca en un producto innovador exitoso. Este enfoque es consistente con la literatura basada en la Encuesta de Innovación de la Comunidad Europea (CIS, por sus siglas en inglés) (Grimpe y Sofka, 2016). La intensidad del desempeño innovador fue aproximada a través de la proporción de esas ventas en el total facturado por la empresa.

4.1.2. Variables explicativas

Las variables explicativas centrales de este estudio son las combinaciones de los obstáculos a la innovación considerados: 1) la escasez de personal capacitado, 2) las dificultades de acceso a financiamiento y 3) la escasez de posibilidades de cooperación con otras empresas o instituciones (la forma en que son recabados en la EAI se detalla en el Anexo 2).

La decisión sobre qué obstáculos incluir se nutrió, por un lado, de información acerca de los obstáculos habitualmente destacadas por las empresas uruguayas. Los más

⁴ Se consideraron las siguientes actividades de innovación: I+D interna y externa, adquisición de bienes de capital y de tecnologías de la información y comunicación, transferencia de tecnología y consultorías, ingeniería y diseño industrial, diseño organizacional y gestión y capacitación para innovación.

señalados por las firmas innovadoras son: la escasez de personal capacitado, las dificultades de acceso a financiamiento, las pocas posibilidades de cooperar con otras firmas o instituciones, las características intrínsecas a la innovación (riesgos que implica y período de retorno), las propias del país (reducido tamaño del mercado) y aquellas de corte macroeconómico y coyuntural (inestabilidad macroeconómica). Las primeras tres son las más relacionadas con las firmas o sus proyectos y sobre las que las políticas públicas de innovación podrían incidir de forma más directa. Cada uno de esos tres elementos fue percibido como un factor que obstaculiza el desarrollo de actividades de innovación, con un grado de importancia medio o alto, por más del 35% de las empresas innovadoras (Tabla 6).

Por otro lado, se tuvo en cuenta el tipo de obstáculos tratados y destacados por la literatura sobre innovación. Se incorporaron al análisis factores tanto financieros como no financieros, atendiendo a los hallazgos de la literatura empírica y a la necesidad de ahondar en las relaciones que potencialmente podría haber entre estos. Como se expuso previamente, Mohnen y Röller (2005) y Resende et al. (2014) consideran los tres obstáculos seleccionados y adicionan un cuarto.

En cuanto a la forma de incorporarlos en el análisis, Santiago et al. (2017) documentan la existencia de una gran heterogeneidad en los estudios empíricos sobre innovación. El enfoque más frecuente es agruparlos según alguna característica común (Galia y Legros, 2004; Mohnen y Rosa, 2002). En este trabajo, se optó por asociar cada obstáculo con una pregunta de la encuesta, para facilitar la interpretación de los resultados.

En la EAI se solicita a las empresas señalar en qué medida creen que el desarrollo de actividades de innovación ha sido obstaculizado por determinados factores (Anexo 2). Por lo tanto, lo que se revela es la percepción de las firmas y, al igual que en los antecedentes en la materia, es respecto a esta última que se analiza la presencia de complementariedad o sustituibilidad.

El grado en que perciben ser afectadas por los obstáculos consultados es recabado a través de una escala de Likert del 1 al 4, siendo 1 “alta”, 2 “media”, 3 “baja” y 4 “irrelevante”. A partir de esa información, siguiendo un enfoque similar al aplicado por Bukstein et al. (2018), se construyeron variables *dummy* que indican que la empresa percibe un obstáculo cuando señala una importancia “alta” o “media”. Usando las tres variables *dummy* resultantes se construyeron las ocho combinaciones posibles de obstáculos.

En la práctica, más de un tercio de las firmas innovadoras afirma enfrentar al menos dos de los obstáculos seleccionados (Tabla 6). Asimismo, se observa una proporción significativa de firmas en cada una de las combinaciones posibles. En particular, destaca el guarismo de firmas que perciben dificultades de acceso a financiamiento y escasas posibilidades de cooperación, en ausencia de escasez de personal capacitado (cerca de 10%). Si bien esta observación no es suficiente para concluir la existencia de una relación de complementariedad, arroja evidencia sobre la importancia de la simultaneidad de los obstáculos de financiamiento y cooperación, en ausencia de

obstáculos de capacitación, y aporta un primer indicio que fue testeado con la metodología propuesta.

Tabla 6: Percepción de obstáculos a la innovación en empresas innovadoras (*).

Obstáculo	% percibe obstáculo
Escasez personal capacitado	42%
Dificultades acceso financiamiento	38%
Escasas posibilidades cooperación	35%
Al menos un obstáculo	67%
Al menos dos obstáculos	35%
Tres obstáculos	13%
Combinaciones (**)	% percibe combinación
1 1 1	13%
1 1 0	7%
1 0 1	6%
0 1 1	9%
1 0 0	17%
0 1 0	9%
0 0 1	6%
0 0 0	33%

(*) 3173 observaciones correspondientes a empresas innovadoras (realizan alguna actividad innovadora), (**) un (1) indica la presencia del obstáculo y un (0) su ausencia, el primer componente refiere al obstáculo “escasez de personal ocupado”, el segundo a “dificultades de acceso a financiamiento” y el tercero a “escasez de posibilidades de cooperación”.

Fuente: elaboración propia en base a la EAI.

Por otro lado, se incorporó una serie de variables de control, ampliamente reconocidas por la literatura por su efecto en la innovación y utilizadas en estudios empíricos similares al presente. Se incluyeron variables asociadas al tamaño y edad de la firma, sector de actividad, realización de ventas a otros países, presencia de capital extranjero y profesionales, vinculación con otras firmas e instituciones y obtención de apoyo público para innovar (Tabla 7).

Tabla 7: Variables de control.

Variable	Descripción
Tamaño	Variable categórica que indica el tamaño de la firma según personal ocupado (microempresa, pequeña, mediana y grande) (*)
Edad	Variable numérica que indica los años transcurridos desde el año de inicio de actividades de la firma hasta la encuesta
Sector de actividad	Variable <i>dummy</i> que indica si la empresa pertenece al sector "Industria", en caso contrario corresponde al rubro "Servicios"
Exportaciones	Variable <i>dummy</i> que indica si la empresa realizó ventas al exterior
Capital extranjero	Variable <i>dummy</i> que indica si hay participación no nula de capital de origen extranjero en el capital total de la empresa
Profesionales	Variable <i>dummy</i> que indica si la empresa tiene profesionales ocupados en actividades de innovación
Cooperación	Variable <i>dummy</i> que indica si la firma se vinculó con otras instituciones de investigación o enseñanza, otras empresas o agencias gubernamentales para realizar actividades de innovación
Apoyo público	Variable <i>dummy</i> que indica si la empresa recibió apoyo público para actividades de innovación

(*) Siguiendo el criterio estadístico para Uruguay establecido en el Decreto N° 504/007 (atendiendo únicamente a personal ocupado).

Fuente: elaboración propia en base a la EAI.

Ahuja et al. (2008) hacen una amplia revisión de determinantes de la innovación, distinguiendo entre esfuerzo y resultado innovador, y definen cuatro grandes grupos: estructura sectorial, características de la firma, atributos intra-organizacionales e influencia institucional.

En el segundo grupo incluyen varios atributos observables de las empresas, como el tamaño y el acceso a fuentes externas de conocimiento. Los autores señalan la validez de incorporar el tamaño de las firmas en la función de producción de innovación. Esta afirmación ha sido validada por múltiples estudios empíricos, si bien no siempre arrojan resultados en la misma dirección⁵. Asimismo, gran parte de las investigaciones sobre complementariedad incluyen esta variable (Grimpe y Sofka, 2016; Morero et al., 2014; Serrano-Bedia et al., 2017; Bello-Pintado et al., 2019), incluso aquellos que analizan obstáculos a la innovación (Mohnen y Röller, 2005; Motta et al., 2013; Resende et al., 2014; Mohnen y Rosa, 2002; Galia y Legros, 2004).

Recientemente, la literatura ha destacado la relevancia de la colaboración, a través de diferentes canales, como determinante de la innovación empresarial (Ahuja et al., 2008). Varios análisis incorporan este hallazgo (e.g. Motta et al., 2013; Resende et al., 2014; Morero et al., 2014; Schmiedeberg, 2008).

⁵ Algunos estudios señalan una incidencia negativa, otros positiva y algunos una combinación de ambas (por ejemplo, una incidencia en la forma de "U" invertida).

Los estudios también incorporan variables sectoriales (Resende et al., 2014; Mohnen y Rosa, 2002; Morero et al., 2014; Schmiedeberg, 2008; Serrano-Bedia et al., 2017; Bello-Pintado et al., 2019). Ahuja et al. (2008) señalan que la mayoría de las investigaciones sobre incentivos a innovar analizan cómo las condiciones intra-industria (competencia, concentración, condiciones de apropiabilidad y oportunidades tecnológicas) inciden en el esfuerzo innovador.

Adicionalmente, varias investigaciones han confirmado la existencia de una relación significativa entre innovación e internacionalización (e.g. Cassiman y Golvko, 2010). Si bien la teoría no es concluyente en términos de causalidad, varias investigaciones sobre complementariedad, como Grimpe y Sofka (2016), Motta et al. (2013), Resende et al. (2014), Morero et al. (2014), Schmiedeberg (2008), Serrano-Bedia et al. (2017) y Bello-Pintado et al. (2019), incorporan esta variable en sus modelos.

Otras variables también son incluidas por ese tipo de estudios; la edad de la firma (Morero et al., 2014; Bello-Pintado et al., 2019), el origen extranjero de parte o la totalidad del capital de la empresa (Resende et al., 2014; Motta et al., 2013; Morero et al., 2014; Bello-Pintado et al., 2019), la existencia de profesionales abocados a tareas de innovación y el haber recibido o no apoyo público (Bello-Pintado et al., 2019).

Finalmente, en la Tabla 8 se presentan estadísticos descriptivos de las variables incluidas en el marco de submuestra seleccionada.

Tabla 8: Estadísticos descriptivos de las variables consideradas.

Variables			N (a)	Media	Desvío estándar	Mínimo	Máximo
Dependientes	Intensidad esfuerzo innovador (b)		1012	0,05	0,18	0	3,5
	Intensidad resultado innovador (c)		1012	0,28	0,37	0	1
Independientes	Obstáculos a la innovación	Finan (d)	1012	0,32	0,47	0	1
		Cap (e)	1012	0,40	0,49	0	1
		Coop (f)	1012	0,31	0,46	0	1
	Variables de control	Tamaño	1012	3,41	0,68	1	4
		Edad	1012	40,50	23,13	9	166
		Sector de actividad	1012	0,59	0,49	0	1
		Exportaciones	1012	0,44	0,50	0	1
		Capital extranjero	1012	0,20	0,40	0	1
		Profesionales	1012	0,89	0,31	0	1
		Cooperación	1012	0,83	0,37	0	1
		Apoyo público	1012	0,26	0,44	0	1

(a) Cantidad de observaciones, (b) inversión en actividades innovadoras sobre ventas, (c) ventas innovadoras sobre el total de ventas, (d) dificultades de acceso a financiamiento, (e) escasez de personal capacitado, (f) escasas posibilidades de cooperación con otras firmas o instituciones.

Fuente: elaboración propia en base a la muestra seleccionada de la EAI.

4.2. Estrategia econométrica

El insumo clave para implementar los test de supermodularidad y submodularidad son los coeficientes asociados a las combinaciones de obstáculos a la innovación, que se estiman a partir de una determinada función de innovación.

En términos generales, se consideró un modelo como el siguiente:

$$I_{it} = \sum_{k=1}^8 \gamma_{it}^k c_{it}^k + \alpha Z_{it} + \mu + \delta_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

Donde, $c^1 = c^{000}(\dots) c^8 = c^{111}$ representan las ocho posibles combinaciones de los tres obstáculos a la innovación considerados, no se incluye una variable constante y Z agrupa las variables de control a nivel de firma incluidas en el modelo. Por su parte, δ y μ son variables *dummy* para cada año (olas de la encuesta) y de sector de actividad respectivamente, su inclusión permite comparar a la interna del sector de actividad y momento del tiempo. Como fuera explicitado previamente, se consideraron dos variables dependientes; la intensidad del esfuerzo y resultado innovador, medida la primera como la inversión en actividades de innovación respecto a las ventas de la firma y la segunda como proporción de ventas innovadoras en el total de ventas.

El diseño de la estrategia econométrica tuvo en cuenta una serie de elementos que, de no incorporarse, podrían afectar la consistencia de los estimadores. Por un lado, podría existir sesgo de selección al trabajar con una submuestra de las empresas encuestadas.

No obstante, la literatura resalta las bondades de trabajar únicamente con las empresas que realizan actividades de innovación. Como señalan D'Este et al. (2008), la percepción de obstáculos por parte de las firmas difiere según qué tan inmersas estén en procesos de innovación, por lo que es fundamental diferenciarlas en el análisis (D'Este et al., 2008 y 2012; Savignac, 2008). Pellegrino y Savona (2017) afirman que corrigen el potencial sesgo de selección, intrínseco en este tipo de análisis, a través de la identificación apropiada de la muestra “relevante”, excluyendo a las firmas que no abordan ninguna actividad de innovación.

En el presente estudio, además de seleccionar la muestra “relevante”, se consideraron únicamente las firmas con información para el período inmediato anterior. A su vez, en la submuestra seleccionada las variables dependientes acumulan cierta masa de probabilidad en cero, pues una proporción significativa de empresas que realizan actividades de innovación no registraron ventas de productos innovadores en el año de referencia; dando lugar a censura por la izquierda.

Se optó por tomar como referencia la estimación de un modelo Tobit estándar de regresión censurada (Tobin, 1958) y, a su vez, testear la inclusión del Inverso del ratio de Mills mediante la aplicación del procedimiento en dos etapas de Heckman (1979). Cabe destacar que, las estimaciones no arrojan evidencia estadística suficiente para rechazar la hipótesis nula de ausencia de selección y los resultados finalmente obtenidos son consistentes con los del modelo Tobit habitual (véase punto 2 del Anexo 3).

Los problemas de censura y selección han sido tratados de forma similar por los antecedentes en la materia. Mohnen y Röller (2005) señalan que un potencial problema para obtener estimadores consistentes y eficientes es la censura de la variable dependiente, pues una proporción significativa de firmas presenta resultado innovador nulo. Los autores indican que obtuvieron estimaciones consistentes de los parámetros mediante la estimación por máxima verosimilitud de un modelo Tobit generalizado. Por su parte, Resende et al. (2014) señalan que como sólo observan datos de la variable a explicar (intensidad del esfuerzo innovador) para las firmas innovadoras aplican el procedimiento en dos etapas de Heckman.

No obstante, en esos estudios subsiste, en general, un potencial problema de endogeneidad que puede limitar la validez de los resultados encontrados. El fenómeno estaría explicado por la existencia de causalidad reversa; la intensidad con que una firma innova podría explicar la capacidad que tienen para percibir los obstáculos a la innovación. Si bien parte del problema se resolvería diferenciando a las firmas innovadoras de las no innovadoras (Crespi et al., 2016), el hallazgo de D'Este et al. (2008) va más allá, pues la importancia que una firma asigna a los obstáculos sería mayor cuanto más incursiona en procesos de innovación.

Los antecedentes en la materia destacan la posible presencia de endogeneidad, pero dicen no contar con técnicas adecuadas para tratarla con la información que disponen. Específicamente, señalan la dificultad para encontrar instrumentos apropiados para datos de corte transversal. Por lo tanto, advierten acerca de las limitaciones de sus resultados respecto a ese fenómeno (véase por ejemplo, Mohnen y Röller, 2005). Hasta donde se ha podido indagar, no existen investigaciones que estudien las relaciones existentes entre obstáculos a la innovación que den un tratamiento específico a los problemas de endogeneidad, más allá de mitigar el problema mediante la consideración de una muestra “relevante” de empresas.

La presente investigación da un primer paso para mitigar la potencial endogeneidad de los obstáculos a la innovación, al instrumentar estas variables con sus rezagos, aprovechando la estructura de panel de los datos disponibles. La elección de este instrumento se fundamenta en que es esperable que la percepción de obstáculos que una firma tiene en el período inmediato anterior ($obstáculos(t - 1)$) incida en la percepción contemporánea ($obstáculos(t)$), mientras que el nivel de innovación actual ($I(t)$) no puede incidir en la percepción de obstáculos que la firma tenía en el período inmediato anterior ($obstáculos(t - 1)$).

En síntesis, se optó por tomar como referencia un modelo Tobit con variables instrumentales para tratar el potencial problema de endogeneidad.

Por último, cabe señalar que, se utilizó el modelo (ecuación (3)) para hacer un análisis primario de las variables que inciden en la intensidad innovadora de las firmas. Con este objetivo, se incluyó una variable constante y se omitió una de las combinaciones de obstáculos (c^{000} que indica que las empresas no perciben ninguno de los tres obstáculos), para permitir la interpretación de los coeficientes asociados a las combinaciones respecto a la clase omitida.

5. Resultados obtenidos

En primer lugar, se estimaron por máxima verosimilitud dos modelos Tobit aplicando variables instrumentales (IV-Tobit, por sus siglas en inglés) uno para el esfuerzo y otro para el resultado innovador.

Si bien, como señalan Mohnen y Röller (2005), la significación y el signo de las variables que representan las combinaciones de obstáculos no revelan por sí mismos la existencia de relaciones de complementariedad o sustituibilidad, la evidencia encontrada a favor de la ocurrencia conjunta de obstáculos de capacitación y financiamiento en el resultado innovador podría ser un indicio de algún tipo de relación entre ambos (véase el punto 1 del Anexo 3 para más detalles).

Cabe señalar, respecto a las restantes variables explicativas, que se encuentra evidencia a favor de una incidencia significativa del tamaño de las firmas en la intensidad del esfuerzo y resultado innovador. El efecto encontrado es negativo, sería consistente con la mayor flexibilidad y capacidad de adaptación de las firmas más pequeñas.

A partir del modelo antedicho, pero incorporando las ocho posibles combinaciones de obstáculos y excluyendo el término constante, se condujeron los test de supermodularidad y submodularidad incondicional *à la* Mohnen y Röller (2005) utilizando los coeficientes estimados asociados a dichas variables.

Los resultados de dichos test se resumen en la Tabla 9. Por un lado, se encuentra evidencia de que tanto la función de esfuerzo como la de resultado innovador son submodulares en los obstáculos de capacitación y financiamiento. Por otro lado, ambas serían supermodulares en los obstáculos de capacitación y cooperación. Estos resultados, interpretados más adelante, son consistentes con otras especificaciones consideradas, en particular con aquella que incorpora el Inverso del Ratio de Mills (véase el punto 2 del Anexo 3).

Tabla 9: resultados de los test incondicionales à la Mohnen y Röller (2005) (a).

Obstáculos (b)		Variable dependiente					
		Esfuerzo innovador			Resultado innovador		
		Test super	Test sub	Resultado (d)	Test super	Test sub	Resultado (d)
Cap-Finan	Valor	4,835	0,753	sub fuerte	5,089	0,000	sub fuerte
	Resultado (c)	Rechazo	Sub		Rechazo	sub	
Cap-Coop	Valor	0,742	5,503	super fuerte	0,000	3,112	super débil
	Resultado (c)	Super	Rechazo		Super	Indef	
Finan-Coop	Valor	3,032	2,092	Indef	0,854	0,382	Indef
	Resultado (c)	Indef	Indef		Super	sub	

(a) Para cada uno de los doce test se presenta el valor del estadístico y el resultado que surge de compararlo con los valores críticos (véase (c)). “Super” refiere a “Supermodularidad”, “Sub” a “Submodularidad” e “Indef” señala un resultado no concluyente, (b) “Cap” hace referencia a escasez de personal capacitado, “Finan” a dificultades de acceso a financiamiento y “Coop” a escasas posibilidades de cooperación, (c) se compara el valor que toma el estadístico en la muestra con los valores críticos según Kodde y Palm (1986) para un nivel de significación del 10% (límite superior = 3.808 y límite inferior = 1.624), (d) siguiendo la Tabla 4 de la Sección 3 “Metodología”.

Fuente: elaboración propia.

El enfoque de Ballot et al. (2015) permite evitar las zonas de indefinición del esquema previo, analizando parejas de obstáculos condicionadas a la presencia o ausencia del tercer obstáculo. Su puesta en práctica permitió obtener información complementaria.

En la Tabla 10 se resumen los resultados encontrados. Por un lado, de acuerdo a la evidencia hallada, la función de esfuerzo innovador sería supermodular en los obstáculos de capacitación y cooperación, cuando la firma no percibe obstáculos financieros. Por otra parte, bajo restricciones de capacitación, la función de desempeño innovador sería submodular en los obstáculos de financiamiento y cooperación. El primer resultado es robusto a otras especificaciones (véase punto 2 del Anexo 3).

Tabla 10: resultados de los test à la Ballot et al. (2015) (a).

Obstáculos (b)	Tercer obstáculo presente	Variable dependiente					
		Esfuerzo innovador			Resultado innovador		
		p-valor		Resultado	p-valor		Resultado
		Test super (c)	Test sub (c)		Test super (c)	Test sub (c)	
Cap-Finan	No	0,832	0,168	Rechazo	0,389	0,611	rechazo
	Sí	0,843	0,157	Rechazo	0,777	0,223	rechazo
Cap-Coop	No	0,086 *	0,914	Super	0,143	0,857	rechazo
	Sí	0,166	0,835	Rechazo	0,453	0,547	rechazo
Finan-Coop	No	0,587	0,413	Rechazo	0,559	0,441	rechazo
	Sí	0,554	0,446	Rechazo	0,904	0,096 *	sub

(a) “Super” refiere a “supermodularidad” y “sub” a “submodularidad”, (b) “cap” hace referencia a escasez de personal capacitado, “finan” a dificultades de acceso a financiamiento y “coop” a escasas posibilidades de cooperación, (c) se reportan los p-valor de las pruebas-t, (***) significación al 1%, (**) al 5% y (*) al 10%.

Fuente: elaboración propia.

6. Principales conclusiones

Considerar los resultados de ambos enfoques de forma conjunta permite enriquecer el análisis. En el Diagrama 3, al final de la sección, se sistematiza la evidencia encontrada para las dos variables dependientes consideradas (esfuerzo innovador en el Panel A) y resultado innovador en el Panel B)).

Los resultados encontrados, al igual que en el estudio de Motta et al. (2013), son similares para las dos variables dependientes⁶. No obstante, la interpretación es más sencilla para el esfuerzo innovador. Por un lado, la interpretación es más directa al tratarse de una variable de decisión de las firmas y debido a que la pregunta de obstáculos en la EAI apunta directamente al desarrollo de actividades de innovación⁷. Por otra parte, es esperable que la obtención de ventas innovadoras se vea afectada por otras variables más complejas de captar. Es de destacar que la inversión en innovación es especialmente relevante en países como Uruguay, donde las firmas que obtienen resultados económicos de la innovación son escasas y donde muchas medidas de política se orientan a promover el esfuerzo innovador.

Respecto al primer resultado obtenido, la submodularidad encontrada sugiere que la escasez de personal capacitado y la dificultad de acceso a financiamiento se comportarían como sustitutos tanto en el esfuerzo como en el resultado innovador, sea que la empresa tenga o no posibilidades de cooperar.

Este resultado difiere de la complementariedad encontrada para estos obstáculos por Mohnen y Röller (2005), para el resultado innovador de las firmas europeas, y por

⁶ Los autores consideran otras variables que aluden a la propensión e intensidad innovadora (véase la Sección 2 “Revisión de Literatura”).

⁷ En todas las olas consideradas el formulario hace alusión directa a las actividades de innovación.

Resende et al. (2014) y Motta et al. (2013) para Brasil y Argentina respectivamente. Cabe señalar, por un lado, que esto refuerza la noción de que los resultados de estos estudios serían contingentes al contexto donde se los aplican y, por otro, que los autores no realizan una interpretación conceptual de las relaciones halladas.

Conceptualmente, el resultado encontrado en la presente investigación indica que la presencia de uno de estos obstáculos –i.e. falta de personal capacitado o de acceso a financiamiento– hace que el otro sea menos relevante en la decisión de invertir en actividades innovadoras por parte de las empresas o en la obtención de resultados innovadores. Intuitivamente, cuando el personal está insuficientemente capacitado, el efecto negativo de las dificultades de acceder a fondeo es menor.

Este resultado resulta teóricamente coherente pues la capacitación es necesaria para un correcto aprovechamiento del financiamiento. Esto es, la falta de personal capacitado hace que las dificultades de acceso a fondeo no sean tan relevantes en la decisión de inversión en innovación y en el desempeño innovador de las firmas; el financiamiento no puede sustituir la capacitación y viceversa (Pellegrino y Savona, 2017; Cassiman y Veugelers, 1999).

En segundo lugar, a través de los test *à la* Ballot et al. (2015) se encuentra evidencia de submodularidad en la función de resultado innovador en los obstáculos financieros y de cooperación bajo la presencia del tercero. Contrariamente, para el caso europeo y aplicando el enfoque incondicional, Mohnen y Röller (2005) encuentran supermodularidad entre los mismos obstáculos.

La submodularidad encontrada indica que, bajo la hipótesis de escasez de personal capacitado, las restricciones de acceso a financiamiento y las dificultades de cooperación se comportan como sustitutas en la obtención de resultados innovadores. La presencia de uno de estos obstáculos mitiga la importancia de su sustituto.

Intuitivamente, cuando una empresa carece de personal capacitado, las dificultades de cooperación con otras firmas o instituciones hacen que los obstáculos financieros sean menos relevantes para concretar una mayor proporción de ventas innovadoras. En otras palabras, la falta de acceso a financiamiento no sería tan importante si la empresa no cuenta con personal capacitado ni puede establecer relaciones de colaboración con otras firmas que contribuyan a aprovechar esos fondos.

Los dos resultados previos, que evidencian la existencia de relaciones de sustituibilidad entre obstáculos financieros y no financieros, señalan que la presencia de uno hace menos relevante al otro. La falta de capacitación o de posibilidades de cooperación hace que la falta de financiamiento sea menos relevante, pues la ausencia de capacidades propias o de terceros, afectaría el correcto aprovechamiento del financiamiento en caso de tenerlo.

La evidencia encontrada sería consistente con la visión teórica que señala que la disponibilidad de recursos financieros es condición necesaria pero no suficiente para obtener resultados innovadores o para decidir invertir en innovación (Pellegrino y Savona, 2017). Sería imprescindible una combinación adecuada de estos determinantes.

En tercer lugar, tanto para el esfuerzo como para el desempeño innovador, el enfoque incondicional muestra, dada la supermodularidad encontrada, evidencia a favor de una relación de complementariedad entre los obstáculos no financieros –i.e. de capacitación y cooperación. En otras palabras, estos obstáculos se reforzarían mutuamente; la presencia de ambos factores inhibe la inversión y afecta negativamente las ventas innovadoras más que la suma de sus efectos aislados.

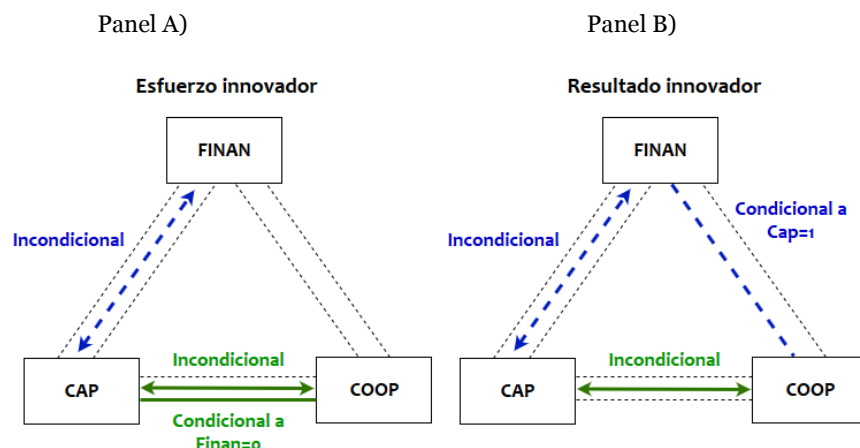
En otras palabras, si una empresa tiene personal poco capacitado, la falta de cooperación se vuelve más relevante, afectando más intensamente la decisión de invertir en innovación y el desempeño innovador de una firma (Bogers et al., 2018; Cohen y Levinthal, 1989 y 1990), respecto a un escenario donde sólo observara ese obstáculo.

Intuitivamente, las dificultades de cooperación inciden más significativamente cuando la empresa no tiene personal capacitado, pues, a través de la cooperación, podría mitigar esa falta de capacitación.

Por último, el test condicional complementa este resultado al arrojar evidencia acerca de una relación de complementariedad entre los mismos obstáculos, en la decisión de invertir en innovación, cuando la empresa no percibe restricciones de financiamiento. En otras palabras, cuando la empresa tiene fondos, los obstáculos no financieros, de capacitación y cooperación, se refuerzan mutuamente, generando un impacto negativo en la inversión en innovación que resulta mayor que la suma de sus efectos aislados.

Este resultado, encontrado mediante el enfoque de Ballot et al. (2015), guarda coherencia con la evidencia que arrojan los test *à la* Mohnen y Röller (2005) para esfuerzo innovador. Estos indican, como se explicitó previamente, que los obstáculos financieros reducen la importancia de la falta de capacitación en la decisión de invertir en innovación. En sentido inverso, el acceso a fondeo (mitigar el obstáculo financiero) aumenta el efecto de la falta de capacitación, la cual, a su vez, refuerza el impacto de la escasez de posibilidades de cooperación, dada la relación de complementariedad encontrada.

Diagrama 3: relaciones de complementariedad y sustituibilidad encontradas (*).



(*) La línea verde continua indica complementariedad y la azul punteada señala sustituibilidad. Las líneas gruesas que terminan en flechas hacen alusión al enfoque incondicional (à la Mohnen y Röller, 2005), en caso contrario refiere al enfoque condicional (à la Ballot et al., 2015), la condición que cumple el tercer obstáculo se señala junto a la línea (“=0” indica ausencia del obstáculo e “=1” presencia). “Cap” hace referencia a “escasez de personal capacitado”, “Finan” a “dificultades de acceso a financiamiento” y “Coop” a “dificultades para cooperar con otras empresas/instituciones”.

Fuente: elaboración propia en base a Ballot et al. (2015).

Por último, se realizó un análisis que diferencia a las empresas según su tamaño, pues es esperable que tengan un comportamiento innovador diferente y, por tanto, perciban de forma desigual los distintos tipos y combinaciones de obstáculos. No obstante, los resultados obtenidos requieren de un análisis en mayor profundidad (véase el punto 3 del Anexo 3).

7. Reflexiones finales

Los resultados encontrados tienen importantes implicancias de política, pues constituyen un insumo necesario para el diseño de instrumentos de política eficaces.

En primer lugar, de acuerdo a los resultados de este trabajo, los obstáculos financieros y aquellos vinculados a la escasez de personal capacitado se comportarían como sustitutos. Como se mencionó previamente, esto significa que la presencia de uno hace que el otro sea menos relevante o, lo que es lo mismo, mitigar uno exacerbaría la incidencia del otro en el esfuerzo o resultado innovador. Por lo tanto, los obstáculos deberían ser removidos en forma conjunta.

Esta recomendación es opuesta a la que proponen Mohnen y Röller (2005), quienes, al encontrar complementariedad entre el obstáculo financiero y los no financieros, sugieren que para incrementar la inversión en innovación la política debería focalizarse en facilitar el financiamiento, la disponibilidad de personal capacitado o la cooperación. No obstante, resulta difícil comparar las recomendaciones, pues los autores no hacen explícita la intuición detrás de su sugerencia.

En segundo lugar, de acuerdo a los resultados obtenidos, los obstáculos de escasez de personal capacitado y las escasas posibilidades de cooperación serían complementarios; es decir que se reforzarían mutuamente. En otras palabras, mitigar uno disminuiría el efecto del otro en el esfuerzo o resultado innovador. Por tanto, la

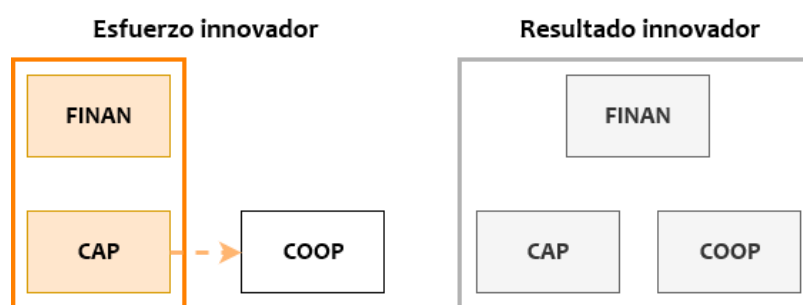
política podría centrar sus esfuerzos y recursos escasos en uno de estos obstáculos, a través de una política focalizada.

En suma, el primer resultado indica, coherente con la teoría, que los obstáculos financieros y no financieros deberían mitigarse de forma conjunta, pues resolver uno no sería suficiente para que una firma innove más intensamente. Por su parte, el segundo resultado señala que, cuando se trata de obstáculos no financieros como los propuestos, podría ser suficiente focalizarse en uno, bajo el supuesto de que el desarrollo de capacidades internas permitiría mitigar las escasas posibilidades de cooperación o viceversa.

Por lo tanto, si se quisiera diseñar una política cuyo objetivo sea contribuir a aumentar el grado en que las empresas uruguayas invierten en innovación, sería deseable diseñar un paquete de instrumentos que busque mitigar la escasez de personal capacitado y las dificultades de acceso a financiamiento de forma simultánea (Diagrama 4). Por su parte, las dificultades de cooperación parecerían menos relevantes pues la empresa contaría con recursos propios capacitados, como efecto de la política.

En el caso del resultado innovador, el enfoque condicional arroja nueva evidencia. Los obstáculos financieros y de cooperación serían sustitutos cuando las empresas tienen escasez de personal capacitado. En principio, podría considerarse el diseño de un paquete de instrumentos de política que incida sobre los tres obstáculos a la vez, pues si se mitigara sólo el obstáculo financiero se reforzaría el impacto de los dos no financieros.

Diagrama 4: recomendaciones de política (*).



(*) Los rectángulos indican paquetes de instrumentos.

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, se plantean futuras líneas de investigación. En primer lugar, desde el punto de vista metodológico, sería deseable profundizar en el tratamiento de la endogeneidad. Por un lado, se enfrentaron desafíos prácticos en la implementación de la estrategia econométrica (i.e. modelo Tobit con instrumentos para los ocho regresores endógenos) con los *software* utilizados (R y Stata). Esto redundó en una aplicación por etapas, de elaboración propia, contraria a la recomendación de utilizar un paquete econométrico que realice el procedimiento completo (Wooldridge, 2002).

Por otro lado, si bien el uso de rezagos de las variables como instrumentos es una práctica extendida en la literatura, algunos autores argumentan que el enfoque puede

tener limitaciones para mitigar la simultaneidad, circunscribiendo su efectividad al cumplimiento de algunas condiciones (Reed, 2015). Por último, sería deseable ahondar en la discusión sobre la estimación mediante el procedimiento en dos etapas de Heckman y en el potencial que ofrece la estructura de datos de panel, pues podría explotarse en mayor medida.

En segundo lugar, las recomendaciones de política podrían enriquecerse a partir de un análisis que diferencie a las empresas según sus características. Como primera aproximación se consideró el tamaño de las firmas, distinguiendo entre grandes empresas, por un lado, y micro, pequeñas y medianas, por otro. Los resultados encontrados sugieren la necesidad de un análisis en profundidad que excede el objetivo de este trabajo. Por lo tanto, se plantea su estudio a futuro, así como la consideración de otras variables a priori relevantes (e.g. sector de actividad, inserción en el mercado externo, obtención de apoyo público).

En tercer lugar, estudios previos advierten sobre los efectos que el diseño de los cuestionarios de las encuestas de innovación puede tener sobre los resultados obtenidos. Mohnen y Rosa (2002) señalan que agrupar los obstáculos puede incidir en las respuestas obtenidas, pues el signo y magnitud de las correlaciones entre obstáculos serían función de su proximidad en el cuestionario. En principio, no se observa este patrón en los resultados obtenidos en la presente investigación. No obstante, sería interesante analizar este fenómeno, pues podría ser deseable rediseñar la encuesta hacia el tipo de cuestionario observado en otros países, donde se listan los factores sin agruparlos.

Por último, sería interesante evaluar la inclusión de dos elementos en la EAI. Por un lado, podría recabarse la percepción de las firmas respecto a si las normas, estándares e impuestos impiden o desincentivan el desarrollo de proyectos de innovación, pues se pueden obtener recomendaciones de política interesantes. Varios estudios incorporan esta variable en sus análisis (Mohnen y Röller, 2005; Galia y Legros, 2004; Mohnen y Rosa, 2002). Por otro lado, sería deseable poder distinguir entre proyectos abandonados y pospuestos, pues es esperable que los obstáculos que enfrentan sean diferentes y deban mitigarse con diferentes combinaciones de instrumentos de política (e.g. Galia y Legros, 2004). Esto último es factible realizarlo, para estimaciones con datos de corte transversal, a partir de la próxima edición de la EAI (ola 2016-2018).

Referencias bibliográficas

- Ahuja, G., Lampert, C. M., & Tandon, V. (2008). 1 moving beyond Schumpeter: management research on the determinants of technological innovation. *Academy of Management annals*, 2(1), 1-98.
- Alvarez, R., & Crespi, G. A. (2015). Heterogeneous effects of financial constraints on innovation: Evidence from Chile. *Science and Public Policy*, 42(5), 711-724.
- Alvarez, R., & Grazzi, M. (2018). Innovation and entrepreneurship in Latin America: What do we know? What would we like to know?. *Estudios de economía*, 45(2), 157-171.
- Antonlioli, D., Marzucchi, A., & Savona, M. (2017). Pain shared, pain halved? Cooperation as a coping strategy for innovation barriers. *The Journal of Technology Transfer*, 42(4), 841-864.
- Arora, A. (1996). Testing for complementarities in reduced-form regressions: A note. *Economics letters*, 50(1), 51-55.
- Arza, V., & López, E. (2018). Obstacles to Innovation and Firm Size: A Quantitative Study for Argentina (No. IDB-TN-01436). Inter-American Development Bank.
- Athey, S., & Stern, S. (1998). An empirical framework for testing theories about complementarity in organizational design (No. w6600). National Bureau of Economic Research.
- Ballot, G., Fakhfakh, F., Galia, F., & Salter, A. (2015). The fateful triangle: Complementarities in performance between product, process and organizational innovation in France and the UK. *Research Policy*, 44(1), 217-232.
- Bello-Pintado, A., Berrutti, F., Bianchi, C., & Blanchard, P. (2019). Knowledge searching strategies, testing for complementarities on the innovation behavior of the firm (No. 19-18).
- Bianchi, C., Bianco, M., & Snoeck, M. (2014). Value attributed to STI activities and policies in Uruguay. In *Science, Technology and Innovation Policies for Development* (pp. 133-155). Springer, Cham.
- Bogers, M., Foss, N. J., & Lyngsie, J. (2018). The “human side” of open innovation: The role of employee diversity in firm-level openness. *Research Policy*, 47(1), 218-231.
- Borrás, S., & Edquist, C. (2013). The choice of innovation policy instruments. *Technological forecasting and social change*, 80(8), 1513-1522.
- Bukstein, D., Hernández, E., & Usher, X. (2018). Assessing the Impacts of Market Failures on Innovation Investment in Uruguay (No. IDB-TN-01457). Inter-American Development Bank.
- Canepa, A., & Stoneman, P. (2007). Financial constraints to innovation in the UK: evidence from CIS2 and CIS3. *Oxford economic papers*, 60(4), 711-730.
- Cassiman, B., & Golovko, E. (2011). Innovation and internationalization through exports. *Journal of International Business Studies*, 42(1), 56-75.
- Coad, A., Pellegrino, G., & Savona, M. (2016). Barriers to innovation and firm productivity. *Economics of Innovation and New Technology*, 25(3), 321-334.

- Cohen, W. M. (2010). Fifty years of empirical studies of innovative activity and performance. In *Handbook of the Economics of Innovation* (Vol. 1, pp. 129-213). North-Holland.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and learning: the two faces of R & D. *The economic journal*, 99(397), 569-596.
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, 35(1), 128-152.
- Crespi, G., Olivari, J., & Vargas, F. (2016). Productividad e innovación y la nueva economía de servicios en América Latina y el Caribe: retos e implicaciones de política. *La política de innovación en América Latina y el Caribe: Nuevos caminos*, 57.
- D'Este, P., Iammarino, S., Savona, M., & Von Tunzelmann, N. (2008). What hampers innovation? Evidence from the UK CIS4. SEWPS, SPRU Electronic Working Paper Series, Paper, (168).
- D'Este, P., Iammarino, S., Savona, M., & von Tunzelmann, N. (2012). What hampers innovation? Revealed barriers versus deterring barriers. *Research policy*, 41(2), 482-488.
- D'Este, P., Rentocchini, F., & 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*, 21(1), 1-19.
- De Fuentes, C., Santiago, F., & Temel, S. (2018). Perception of innovation barriers by successful and unsuccessful innovators in emerging economies. *The Journal of Technology Transfer*, 1-25.
- Dosi, G. (1988). The nature of the innovative process. *Technical change and economic theory*.
- Dutrénit, G., Natera, J. M., Anyul, M. P., & Vera-Cruz, A. O. (2019). Development profiles and accumulation of technological capabilities in Latin America. *Technological Forecasting and Social Change*, 145, 396-412.
- Frederiksen, L., & Lindbjerg, L. (2019). Are Innovation Barriers Really Hampering Innovation?: The Ability to Recognize Barriers as a Driver of Survival for Innovative Firms.
- Galia, F., & Legros, D. (2004). Complementarities between obstacles to innovation: evidence from France. *Research policy*, 33(8), 1185-1199.
- Grimpe, C., & Sofka, W. (2016). Complementarities in the search for innovation—Managing markets and relationships. *Research Policy*, 45(10), 2036-2053.
- Guisado-González, M., Wright, L. T., & Guisado-Tato, M. (2017). Product–process matrix and complementarity approach. *The Journal of Technology Transfer*, 42(3), 441-459.
- Hall, B. H. (2002). The financing of research and development. *Oxford review of economic policy*, 18(1), 35-51.
- Hall, B. H. (2010). The financing of innovative firms. *Review of Economics and Institutions*, 1(1).

- Hartono, A., & Kusumawardhani, R. (2019). Innovation barriers and their impact on innovation: Evidence from Indonesian manufacturing firms. *Global Business Review*, 0972150918801647.
- Heckman, J. J. (1979). Sample selection bias as a specification error. *Econometrica: Journal of the econometric society*, 153-161.
- Himmelberg, C. P., & Petersen, B. C. (1994). R&D and internal finance: A panel study of small firms in high-tech industries. *The Review of Economics and Statistics*, 76(1), 38-51.
- Holmstrom, B., & Milgrom, P. (1994). The firm as an incentive system. *The American economic review*, 972-991.
- Hottenrott, H., & Peters, B. (2012). Innovative capability and financing constraints for innovation: more money, more innovation?. *Review of Economics and Statistics*, 94(4), 1126-1142.
- Jaramillo, H., Lugones, G., Salazar, M., & de Ciencia, R. I. D. I. (2000). *Manual de Bogotá: normalización de indicadores de innovación tecnológica en América Latina y el Caribe*.
- Kaiser, U. (2002). An empirical test of models explaining research expenditures and research cooperation: evidence for the German service sector. *International Journal of Industrial Organization*, 20(6), 747-774.
- Kodde, D. A., & Palm, F. C. (1986). Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 1243-1248.
- Leiponen, A. (2005). Skills and innovation. *International Journal of Industrial Organization*, 23(5-6), 303-323.
- Love, J. H., Roper, S., & Mangiarotti, G. (2006). *Organising the innovation process: Complementarities in Innovation Networking*.
- Magro, E., & Wilson, J. R. (2013). Complex innovation policy systems: Towards an evaluation mix. *Research policy*, 42(9), 1647-1656.
- Mancusi, M. L., & Vezzulli, A. (2010, March). R&D, innovation and liquidity constraints. In *CONCORD 2010 conference*, Sevilla (pp. 3-4).
- Milgrom, P., & Roberts, J. (1990). The economics of modern manufacturing: Technology, strategy, and organization. *American economic review*, 80(3), 511-528.
- Milgrom, P., & Roberts, J. (1995). Complementarities and fit strategy, structure, and organizational change in manufacturing. *Journal of accounting and economics*, 19(2-3), 179-208.
- Mohnen, P., Palm, F. C., Van Der Loeff, S. S., & Tiwari, A. (2008). Financial constraints and other obstacles: are they a threat to innovation activity?. *De Economist*, 156(2), 201-214.
- Mohnen, P., & Röller, L. H. (2005). Complementarities in innovation policy. *European economic review*, 49(6), 1431-1450.
- Mohnen, P., & Rosa, J. M. (2002). Barriers to innovation in service industries in Canada. In *Institutions and Systems in the Geography of Innovation* (pp. 231-250). Springer, Boston, MA.

- Morero, H., Ortiz, P. A., & Wyss, F. (2014). Make or Buy to innovate in the Software sector.
- Motta, J. J., Morero, H., Borrastero, C., & Ortiz, P. A. (2013). Complementarities between innovation policies in emerging economies. The case of Argentina's software sector.
- OECD (2005) Oslo Manual. Guidelines for collecting, reporting and using data on innovation. 3th Edition. OECD, Paris.
- Pellegrino, G., & Savona, M. (2017). No money, no honey? Financial versus knowledge and demand constraints on innovation. *Research Policy*, 46(2), 510-521.
- Reed, W. R. (2015). On the practice of lagging variables to avoid simultaneity. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 77(6), 897-905.
- Resende, M., Strube, E., & Zeidan, R. (2014). Complementarity of innovation policies in Brazilian industry: An econometric study. *International Journal of Production Economics*, 158, 9-17.
- Santiago, F., De Fuentes, C., Dutrénit, G., & Gras, N. (2017). What hinders innovation performance of services and manufacturing firms in Mexico?. *Economics of Innovation and New Technology*, 26(3), 247-268.
- Savignac, F. (2008). Impact of financial constraints on innovation: What can be learned from a direct measure?. *Econ. Innov. New Techn.*, 17(6), 553-569.
- Schmiedeberg, C. (2008). Complementarities of innovation activities: An empirical analysis of the German manufacturing sector. *Research Policy*, 37(9), 1492-1503.
- Serrano-Bedia, A. M., López-Fernández, M. C., & García-Piqueres, G. (2018). Complementarity between innovation knowledge sources: Does the innovation performance measure matter?. *BRQ Business Research Quarterly*, 21(1), 53-67.
- Silva, M. J., Leitão, J., & Raposo, M. L. B. (2007). Barriers to Innovation faced by Manufacturing Firms in Portugal: How to overcome it?. Available at SSRN 1023825.
- Tobin, J. (1958). Estimation of relationships for limited dependent variables. *Econometrica: journal of the Econometric Society*, 24-36.
- Topkis, D. M. (1978). Minimizing a submodular function on a lattice. *Operations research*, 26(2), 305-321.
- Veugelers, R., & Cassiman, B. (1999). Make and buy in innovation strategies: evidence from Belgian manufacturing firms. *Research policy*, 28(1), 63-80.
- Wooldridge, J. (2002). *Econometrics of cross section and panel data*. Cambridge, MA: MIT Press, 2002a). "Inverse Probability Weighted M-Estimators for Sample Selection, Attrition and Stratification," *Portuguese Economic Journal*, 1, 117-139.
- Yoguel, G., & Robert, V. (2010). Capacities, processes, and feedbacks: the complex dynamics of development. *Seoul Journal of Economics* 23(2):187-237.
- Zahler, A., Goya, D., & Caamaño, M. (2018). The Role of Obstacles to Innovation on Innovative Activities.

Anexo 1 – Conceptos matemáticos

En este anexo se presentan algunos conceptos matemáticos relevantes en el marco de la metodología utilizada. En términos generales, las definiciones y teoremas presentados siguen la exposición realizada por Topkis (1978) y se complementan con conceptos obtenidos de Milgrom y Roberts (1995).

Definición 1: Orden parcial

Una relación binaria (R), en un conjunto (A), es un **orden parcial** si es reflexiva, antisimétrica y transitiva. Dados dos elementos (a, b) de A , se dice que R es reflexiva si se cumple que aRa , asimétrica si dado aRb y bRa entonces $a = b$, y transitiva si dado aRb y bRc entonces aRc .

Definición 2: Conjunto parcialmente ordenado (poset)

Se denomina **conjunto parcialmente ordenado** (*poset*, por sus siglas en inglés) a un conjunto (A) con un orden parcial (R) (Topkis, 1978).

Un ejemplo típico de *poset* es la relación ($\leq$) aplicada sobre el conjunto de número naturales ($\mathbb{N}$).

Definición 3: Operaciones join y meet

Dados dos elementos (a, b) de un *poset*, su **join** (*meet*), denotado $a \vee b$ ($a \wedge b$), será su menor límite superior (mayor límite inferior) (Topkis (1978)). En palabras de Milgrom y Roberts (1995), $a \vee b$ ($a \wedge b$) corresponde al más pequeño de los elementos mayores a a y b (más grande de los elementos menores a a y b). En el espacio $\mathbb{R}^n$, las operaciones *join* y *meet* se definen como $a \vee b = (\max\{a_1, b_1\}, \dots, \max\{a_n, b_n\})$ y $a \wedge b = (\min\{a_1, b_1\}, \dots, \min\{a_n, b_n\})$.

Definición 4: Retículo (lattice)

Un *poset* que contiene el *join* y *meet* de cada pareja de sus elementos se denomina **retículo** (*lattice*, en inglés) (Topkis, 1978). Como explicitan Milgrom y Roberts (1995), los números reales con su orden habitual son un retículo y también todo subconjunto de la línea real.

Definición 5: Supermodularidad (submodularidad) y complementariedad (sustituibilidad)

Sea f una función en un retículo S con rango en $\mathbb{R}$, si $\forall (x, x') \in S$,

$$f(x) + f(x') \leq f(x \wedge x') + f(x \vee x')$$

O lo que es lo mismo,

$$f(x) - f(x \wedge x') \leq f(x \vee x') - f(x')$$

Entonces, se dice que f es **supermodular** en S y sus argumentos son complementarios en el sentido de Edgeworth. Si se cumple la desigualdad estricta,

entonces, f es supermodular estricta en S . Si $-f$ es supermodular (estricta), entonces, f es **submodular** (estricta) (Topkis, 1978 y Milgrom y Roberts, 1995).

Considerando $\mathbb{R}^2$, la definición anterior dice que “(...) el cambio en f desde el mayor mínimo $(x \wedge x')$ a x es menor que aquel asociado con el movimiento de y al menor máximo $(x \vee x')$ (...) Aumentar una de las variables aumenta el retorno de incrementar la otra. Notar que la complementariedad es simétrica” (Milgrom y Roberts, 1995; traducción propia).

Definición 6: Función monótonamente creciente (isotone) y decreciente (antitone)

Sean (S, T) dos *poset*, una función $f: S \rightarrow T$ es monótonamente creciente o **isotone** (monótonamente decreciente o **antitone**) si $x \leq x'$ en S implica que $f(x) \leq f(x')$ ($f(x) \geq f(x')$) en T (Topkis, 1978).

Definición 7: Diferencias crecientes (isotone differences) y decrecientes (antitone differences)

Siguiendo a Topkis (1978), sean (X, T) dos *poset* y f una función en $S \subseteq X \times T$. Si $(f(x, z) - f(x, t))$ es **isotone** (**antitone**) en x para cada $t < z$, entonces f tiene **diferencias crecientes** (**decrecientes**) en x . Esto es, f tiene diferencias crecientes en x si para $x \leq x'$ se cumple que $f(x, z) - f(x, t) \leq f(x', z) - f(x', t)$.

Considérese el siguiente ejemplo ilustrativo, sea $t = x = 0$ y $z = x' = 1$, si f tiene diferencias crecientes en x , entonces, $f(0, 1) - f(0, 0) \leq f(1, 1) - f(1, 0)$ o lo que es lo mismo $f(1, 0) - f(0, 0) \leq f(1, 1) - f(0, 1)$.

Teorema 1: Supermodularidad (submodularidad) y diferencias crecientes (decrecientes)⁸

Sea S un retículo y f una función **supermodular** (submodular) en S , entonces, f tiene **diferencias crecientes** (decrecientes) en S (Topkis, 1978).

Definición 8: Cadena (chain)

Una **cadena** (*chain*) en un *poset* S es un subconjunto $C \subseteq S$ tal que cualquier pareja de elementos en C son comparables; es un subconjunto totalmente ordenado de un *poset*. Un *antichain* es un subconjunto de un *poset* en el cual dos elementos distintos son incomparables. Tal como explicitan Milgrom y Roberts (1995), todo subconjunto de los números reales con su orden habitual es una cadena al estar totalmente ordenado.

Teorema 2: Cadena y supermodularidad (submodularidad)

Atendiendo a Topkis (1978), si S_i es una **cadena** para $i = 1, \dots, n$ y f tiene diferencias crecientes (decrecientes) en $\times_{i=1}^n S_i$ entonces f es **supermodular** (submodular) en $\times_{i=1}^n S_i$.

⁸ Se presenta una versión simplificada del teorema, preservando la idea conceptual.

Implicancias de los teoremas 1 y 2:

Los teoremas 1 y 2 presentados previamente reducen la pregunta de supermodularidad (submodularidad) en un producto finito de cadenas, siguiendo a Topkis (1978), a explorar todas las parejas de derivadas cruzadas.

Si f es **dos veces diferenciable**, entonces, f es **supermodular** (submodular) si sólo si $\partial^2 f(x)/\partial x_i \partial x_j \leq 0$ para todo $i \neq j$ y x . Esto es, “el retorno marginal de incrementar alguno de los argumentos es creciente en el nivel de cualquier otro argumento” (Milgrom y Roberts, 1995; traducción propia).

Como señalan Mohnen y Röller (2005), haciendo referencia al resultado obtenido por Topkis (1978), “(...) es suficiente verificar complementariedades de a pares cuando hay más de dos dimensiones en el retículo (...). En otras palabras, una función es supermodular sobre un subconjunto de argumentos, si sólo si todos los componentes de ese subconjunto tomados de a pares satisfacen (...)” la definición 5 (traducción propia).

Anexo 2 – Preguntas seleccionadas de la EAI

La información sobre la percepción de las firmas uruguayas respecto a los obstáculos a la innovación se obtuvo de la EAI. En particular, de la sección titulada “factores que obstaculizan el desarrollo de actividades de innovación”, donde se solicita a las empresas evaluar el grado de importancia de una serie de factores que potencialmente obstaculizan el desarrollo de actividades de innovación. La pregunta dice: *“Indique el grado de importancia en que los siguientes factores han obstaculizado el desarrollo de actividades de innovación en su empresa durante el período 2013-2015”* (ejemplo tomado de la ola 2015) y se ofrecen cuatro respuestas posibles: “alta”, “media”, “baja” e “irrelevante”.

En total, se listan 14 factores agrupados en tres dimensiones: i) “Empresariales o micro-económicos”, ii) “Meso-económicos o de mercado” y iii) “Macro-económicos”. Los obstáculos seleccionados en la presente investigación son recabados dentro de los primeros dos grupos (Tabla A2.1).

Tabla A2.1: preguntas sobre obstáculos seleccionados en la EAI (*).

Descripción	Número de obstáculo en la EAI	Subgrupo al que pertenece
Escasez de personal capacitado	1	Empresariales o micro-económicos
Dificultades de acceso al financiamiento	7	Meso-económicos o de mercado
Escasas posibilidades de cooperación con otras empresas/instituciones	8	

(*) Última ola disponible (2015).

Fuente: elaboración propia en base a la EAI.

Anexo 3 – Anexo econométrico

1) Modelo IV-Tobit.

Tabla A3.1: Modelo IV-Tobit estimado.

Variable (a)	Variable dependiente			
	Esfuerzo innovador		Resultado innovador	
	Coef. (b)	p-valor	Coef. (b)	p-valor
111 (todos)	0,017	0,466	0,086	0,250
110 (cap, finan)	0,002	0,945	0,245 **	0,022
101 (cap, coop)	0,036	0,324	0,181	0,127
100 (cap)	-0,001	0,970	0,036	0,524
011 (finan, coop)	0,024	0,396	0,063	0,495
010 (finan)	0,069 **	0,021	0,153	0,117
001 (coop)	-0,020	0,489	-0,057	0,549
Tamaño	-0,034 **	0,024	-0,099 **	0,049
Edad	-0,001 ***	0,000	0,000	0,971
industria_d	-0,001	0,938	-0,156 ***	0,001
exportadora_d	0,007	0,566	0,148 ***	0,000
capital_extranjero_d	0,008	0,603	-0,019	0,702
profesionales_d	0,021	0,308	-0,118 *	0,091
vinculación_d	-0,008	0,717	-0,042	0,559
apoyo_público_d	0,030 **	0,035	0,056	0,229
y2012_d	-0,034 **	0,046	-0,028	0,621
y2015_d	-0,058 ***	0,008	0,069	0,338
logSigma	-1,709 ***	0,000	-0,589 ***	0,000
Constante	0,209 ***	0,004	0,551 **	0,021
Variables instrumentadas e instrumentos (e)				
Instrumentadas	Combinaciones de obstáculos			
Instrumentos	Rezagos de las combinaciones de obstáculos			
Cantidad de observaciones				
Censuradas a la izquierda	8		420	
Censuradas a la derecha	0		0	
No censuradas	1004		592	
Total	1012		1012	

(a) Las combinaciones de obstáculos se indican con una serie de tres números, donde 1 = obstáculo presente y 0 = no presenta obstáculo, "cap" significa escasez de personal capacitado, "finan" dificultades de acceso a financiamiento y "coop" escasas posibilidades de cooperación. Los obstáculos están en el orden = (cap finan coop), a la derecha se señala cuáles están activos. Se omite la combinación (000) (sin obstáculos) y se incorpora la constante al modelo, "_d" indica que se trata de una variable dummy, (b) (***) significativo al 1%, (**) al 5% y (*) al 10%, (c) medido a través del ratio entre la inversión en actividades innovadoras y las ventas de la firma, (d) aproximado mediante la proporción de ventas innovadoras, (e) las variables exógenas son sus propios instrumentos.

Fuente: elaboración propia.

2) Resultados obtenidos utilizando diferentes especificaciones.

Tabla A3.2: resultados de los test sobre diferentes especificaciones (a).

Especificación	Mohnen y Röller (2005) (b)					
	Esfuerzo innovador			Resultado innovador		
	Cap-Finan	Cap-Coop	Finan-Coop	Cap-Finan	Cap-Coop	Finan-Coop
IV Tobit	sub fuerte	super fuerte	Indef	sub fuerte	super débil	indef
IV Tobit IMR	sub débil	super fuerte	super fuerte	sub débil	super débil	indef
MCO	sub fuerte	super fuerte	sub fuerte	sub fuerte	super débil	indef
IV	Indef	Indef	Indef	Indef	indef	indef
Tobit	Indef	sub débil	Indef	Indef	indef	indef
Especificación	Ballot et al. (2015) (c)					
	Esfuerzo innovador			Resultado innovador		

3º Obstáculo (d)	Cap-Finan		Cap-Coop		Finan-Coop		Cap-Finan		Cap-Coop		Finan-Coop	
	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí	No	Sí
IV Tobit	no	No	super	No	no	no	no	No	no	no	no	sub
IV Tobit IMR	no	No	super	No	no	super	no	No	no	no	no	no
MCO	no	No	no	No	no	no	no	No	no	no	no	no
IV	no	No	super	No	no	no	no	No	no	no	no	no
Tobit	no	No	no	No	super	no	no	No	no	sub	no	no

(a) "MCO" hace alusión a un modelo sencillo estimado usando mínimos cuadrados ordinarios, "Tobit" es el modelo que controla por la censura, "IV" controla por endogeneidad a partir de variables instrumentales e "IMR" implica incluir el Inverso del ratio de Mills para controlar por selección. "Super" señala supermodularidad, "sub" submodularidad, "no" que no se encontró evidencia de ninguna de las relaciones antedichas e "indef" un resultado no concluyente. "Cap" hace referencia a escasez de personal capacitado, "finan" a dificultades de acceso a financiamiento y "coop" a escasas posibilidades de cooperación, (b) los resultados fueron obtenidos comparando el valor que toma el estadístico en la muestra con los valores críticos según Kodde y Palm (1986) para un nivel de significación del 10% (límite superior = 3.808 y límite inferior = 1.624) y siguiendo la Tabla 4 de la Sección 3 "Metodología", (c) según los p-valores de las pruebas, (d) "sí" señala que el tercer obstáculo está presente y "no" el contrario.

Fuente: elaboración propia.

3) **Diferenciación de los resultados según tamaño de la empresa.**

Se realizó un análisis que permite diferenciar a las empresas según su tamaño, pues es esperable que tengan un comportamiento innovador diferente y sean afectadas de forma desigual por los distintos tipos y combinaciones de obstáculos. Se consideraron, por un lado, micro, pequeñas y medianas empresas (MIPYMES) y, por otro, grandes empresas, según al personal ocupado por las mismas.

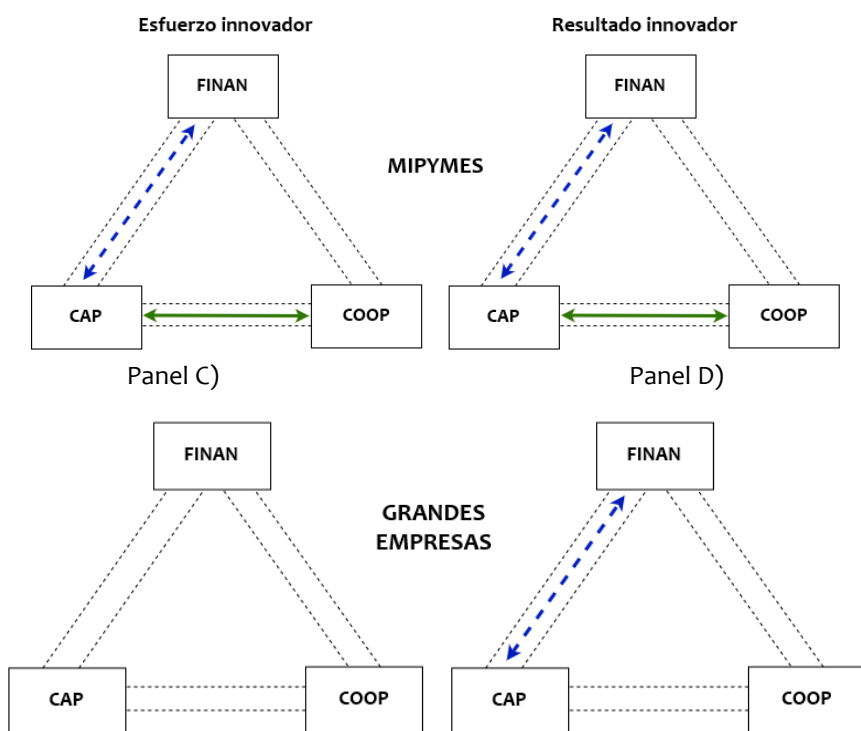
Los resultados de los tests *à la* Mohnen y Röller (2005) para la muestra completa se reproducen, casi con exactitud, en el caso de las MIPYMES, mientras que las empresas de mayor dimensión sólo mantienen un resultado; la sustituibilidad entre los obstáculos de capacitación y financiamiento (Diagrama A3.1).

Esta disparidad en los resultados sería consistente con la diferente percepción de obstáculos que tienen estos tipos de empresas; la proporción de firmas pequeñas que señala enfrentar más de un obstáculo es superior al guarismo registrado en las más grandes. Más de un 15% de las MIPYMES revela enfrentar los tres obstáculos de forma simultánea, mientras que esa proporción cae a 9% en las empresas de mayor porte. Arza y López (2018) encuentran, para Argentina, que la inversión en innovación se ve afectada más intensamente por obstáculos en el caso de las pequeñas y medianas empresas, especialmente por obstáculos relacionados con costos, entre los que se encuentran las dificultades de acceso a financiamiento.

Diagrama A3.1: resultados de los *test à la* Mohnen y Röller (2005) según tamaño de las firmas (*).

Panel A)

Panel B)



(*) La línea verde continua indica complementariedad y la azul punteada señala sustituibilidad. “Cap” hace referencia a “escasez de personal capacitado”, “Finan” a “dificultades de acceso al financiamiento” y “Coop” a “dificultades para cooperar con otras empresas/instituciones”. Las empresas se distinguen por tamaño según el personal ocupado.
Fuente: elaboración propia en base a Ballot et al. (2015).