



ASOCIACION ARGENTINA
DE ECONOMIA POLITICA

ANALES | ASOCIACION ARGENTINA DE ECONOMIA POLITICA

LIII Reunión Anual

Noviembre de 2018

ISSN 1852-0022

ISBN 978-987-28590-6-0

Los Retornos Económicos de la Investigación
Agropecuaria en Argentina

Lema Daniel
Hermo Santiago

Retornos Económicos de la Investigación Agropecuaria en Argentina

Resumen

En este trabajo presentamos una estimación cuantitativa del impacto sobre la productividad agropecuaria de la investigación pública en ciencia y tecnología calculando tasas internas de retorno y ratios beneficio costo. Las estimaciones muestran una elasticidad de la TFP con respecto al stock de conocimiento público que varían en un rango entre 0.20 y 0.34 dependiendo de las especificaciones. Estos valores son similares a los reportados en trabajos previos que utilizan metodologías comparables. También consistente con la literatura previa se muestra que la inversión en investigación agrícola tiene tasas de retorno positivas y significativas. Las TIR estimadas varían entre el 6% y el 12% dependiendo de las tasas de descuento y especificaciones definidas. Asimismo, los ratios Beneficio-Costo estimados son relativamente elevados, entre 35 y 63, para los distintos escenarios definidos, implicando también un alto retorno asociado a los gastos en actividades de investigación.

Abstract

We present estimates of the impact of public research in science and technology on agricultural productivity. Estimates show an elasticity of TFP to the stock of public knowledge that vary in a range between 0.20 and 0.34 depending on the specifications. These values are similar to those reported in previous studies that use comparable methodologies. Investment in agricultural research have positive and significant rates of return. Estimates of IRR vary between 6% and 12% depending on discount rates and specifications. Likewise, Benefit-Cost ratios are relatively high, between 35 and 63, implying a high return associated with the expenses in research activities.

1. Introducción

La evolución de la Productividad Total de los Factores (PTF) es un indicador de la capacidad productiva de una economía. Para la producción agropecuaria, que en general se asume como tomadora de precios, las tasas de crecimiento de la productividad son un indicador fundamental para analizar el comportamiento relativo del sector dado que un aumento de productividad es equivalente a una reducción real de los costos de producción. En la Argentina tanto para el sector agrícola primario como para el sector procesador, el crecimiento de la productividad tiene un valor crucial para mantener la rentabilidad en el largo plazo. En un país que es tomador de precios en la mayoría de los productos agrícolas el crecimiento de la productividad es en última instancia el factor que determina la conveniencia relativa del negocio agropecuario.

En la literatura de economía agrícola existe una importante tradición de estudios sobre la evolución de la productividad y de los factores que contribuyen a su crecimiento. La TFP puede cambiar como consecuencia de cambios tecnológicos, mejoras de eficiencia y mejoras en la escala de producción. El cambio tecnológico es uno de los factores que ha recibido mayor atención como causa del crecimiento de la productividad. La explicación del origen de los cambios tecnológicos y la innovación en la agricultura es multicausal, pero existe cierto consenso acerca del importante rol de la investigación pública y privada como determinantes del proceso de cambio.

Muchos estudios económicos han encontrado evidencia de que las inversiones en investigación y desarrollo de tecnología agrícola generan importantes tasas de retorno social (Fuglie and Heisey, 2007). Estos estudios sugieren que existe un potencial relevante para realizar ganancias sociales derivadas de la inversión en investigación básica y aplicada en agricultura (Alston et al., 1994). El desarrollo de nuevas tecnologías (nuevas variedades de semillas, mejoramiento genético animal, técnicas agronómicas, etc.) y su adopción por parte de los productores mejora el uso de recursos y aumenta la eficiencia productiva, lo que se manifiesta en mayores rendimientos por hectárea e incrementos agregados de producción. La medición de la evolución de la TFP agrícola permite evaluar estos cambios y provee información sobre los factores que determinan el cambio productivo.

El conocimiento sobre la evolución de la productividad y sus principales determinantes puede ser relevante para la asignación de recursos públicos destinados a investigación, así como para los productores que tienen un interés particular en la generación y adopción de nuevas tecnologías para la reducción de costos de producción. En este sentido, también resulta relevante conocer la eficiencia y el impacto de los fondos públicos destinados a la investigación y extensión agropecuaria.

La mayoría de los estudios sobre impactos de la investigación agrícola se han realizado en países desarrollados que cuentan con muy completas bases de datos sobre gastos públicos y privados en investigación, así como información detallada acerca de la evolución de la productividad (Alston et al. 2000). En general, no existen muchos trabajos que analicen estos impactos en países en desarrollo y con sectores agropecuarios relevantes.

Considerando la importancia del sector agropecuario argentino, su evolución reciente y su inserción en el comercio internacional de commodities agrícolas resulta de interés evaluar cuál ha sido la potencial contribución de la investigación pública en agricultura. A lo largo de los últimos 60 años se han dedicado importantes recursos fiscales en esta área y disponer de estimaciones de la tasa interna de retorno (TIR) de estas inversiones puede proveer información relevante para una evaluación de las políticas públicas en investigación y desarrollo agropecuario.

El objetivo de este trabajo es presentar una estimación del impacto de la investigación pública en ciencia y tecnología agropecuaria en la PTF de la agricultura argentina. Se estima primero mediante un modelo de regresión el efecto marginal de los gastos en investigación agropecuaria sobre la PTF sectorial y los resultados se usan luego para construir estimaciones de la TIR de los gastos públicos en investigación. Para las estimaciones se utilizan datos de producción e insumos para calcular la PTF mediante números índices y se aproxima el gasto en investigación agropecuaria mediante el presupuesto total de Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) desde el año 1962 hasta el año 2015.

El resto del trabajo se organiza de la manera siguiente, se presenta primero una revisión de la literatura, la evolución del sector agropecuario, la investigación y la productividad total de los factores. Luego se presenta el modelo conceptual que vincula la productividad y la investigación, los resultados de las estimaciones y los cálculos de tasas de retorno y ratios de beneficio-costo. Se concluye con comentarios finales.

2. Retornos a la Investigación Agrícola: Revisión de la literatura

En los últimos años la literatura sobre la evolución de la productividad agregada en agricultura y sus fuentes ha sido creciente (Fuglie et al. 2012). El trabajo de Griliches (1958) es el que inicia la literatura moderna sobre estimación de los retornos económicos de la innovación en agricultura. A partir de una estimación de costos y beneficios sociales de la adopción del maíz

híbrido en el sector agrícola estadounidense, el autor calcula ratios beneficio-costo entre 70 y 150 (Grilliches, 1958)

La literatura posterior sobre impactos económicos de la investigación agrícola avanza a partir de la teoría de excedentes económicos y su medición desarrollada por Harberger (1971). Para el caso agropecuario Alston et al. (1995) extienden esta metodología y presentan diversas alternativas empíricas de estimación. Uno de los problemas centrales del análisis es el de la atribución causal entre cambios de productividad y gastos de investigación. Estos métodos muchas veces asumen que todo aumento de productividad se debe a la investigación que se traduce en cambio tecnológico. Este supuesto seguramente no resulta adecuado para analizar los cambios de productividad agregada del sector agropecuario ya que no contempla posibles cambios en eficiencia y escala que también impactan sobre la PTF.

Alston y Pardey (2001) analizan estos problemas y concluyen que en general las estimaciones están sesgadas de forma positiva. Este hecho manifiesta en la estimación de muy altas tasas de retorno que generan dudas sobre su confiabilidad. Por ejemplo, Hurdey, Pardey y Rao (2016) realizan un meta-análisis de la literatura de estimación de retornos económicos a la investigación en agricultura analizando 2.627 estimaciones y encuentran que la tasa de retorno promedio estimada es 59,6%. Como señalan Alston, Andersen, James y Pardey (2011), tasas de retorno de tal magnitud son altamente improbables. Para el caso de Argentina, un trabajo realizado por el INTA hacia principios de los años noventa (Cirio y Castronovo, 1993) compila varias investigaciones para productos particulares utilizando el enfoque de excedentes económicos y encuentran TIRs entre el 30 y 50%.

La literatura más moderna utiliza análisis de regresión con controles para analizar el impacto de la investigación pública¹. Además de controlar por los efectos no observables, otro punto relevante para considerar en la evaluación son los rezagos entre la inversión, la adopción de la tecnología en el mercado y la posterior obtención de beneficios. En este sentido, Grilliches (1957) también es pionero en estudiar los beneficios económicos y los factores que determinan la adopción de una nueva tecnología, analizando en particular el caso del maíz híbrido en los EE. UU. Alston, Andersen, James y Pardey (2010) presentan un resumen de la literatura que generaliza el enfoque de Grilliches para diversos entornos y tecnologías. La idea central es que, inicialmente, una tecnología se adopta de forma relativamente lenta, pero a una tasa creciente. A medida que la tecnología se populariza, cada vez más productores la adoptan. Finalmente la tasa de adopción se desacelera y luego cae, a medida que nuevas tecnologías se vuelven disponibles. Esta estructura se puede representar por una curva de adopción en forma de “S” (ver Gráfico 1).

¹ En particular, se han aplicado estos métodos para evaluar el impacto de Institutos de Investigación Agropecuaria (INIAs) sobre la productividad agropecuaria y, a partir de allí, calcular algún indicador que resuma los retornos a la investigación.

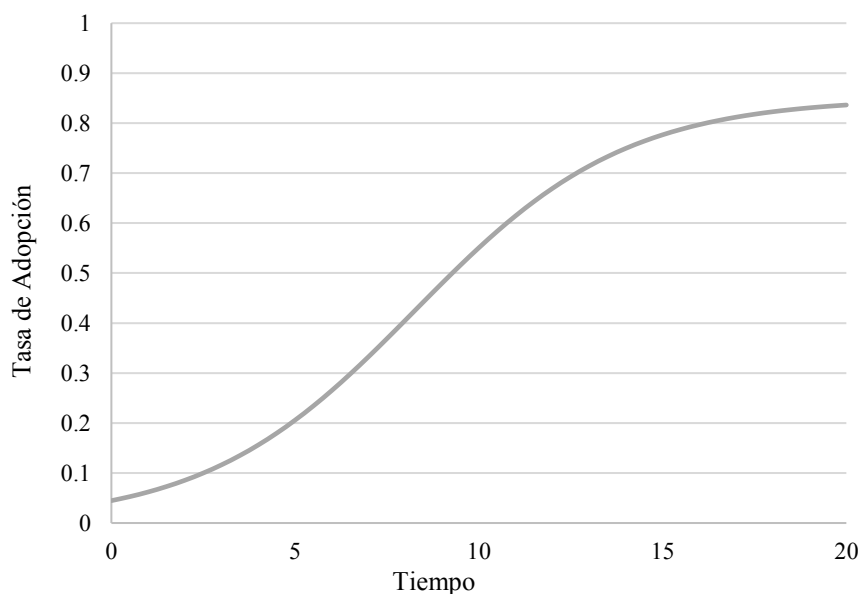


Gráfico 1: Tasa de adopción de una nueva tecnología.

La literatura actual incorpora esta idea mediante una estructura de rezagos en los modelos econométricos que evalúan el efecto de los gastos en investigación y desarrollo. Como se detallará más adelante, se suele suponer que la productividad depende de un stock de conocimiento, el cual se construye con los gastos pasados en investigación y extensión agropecuaria. La forma funcional para los rezagos que se suele utilizar está dada por la distribución gamma, aunque otras formas funcionales también son usuales en la literatura.

Un trabajo reciente de Bevejillo, Alston y Tumber (2012) es un ejemplo de una evaluación integral sobre los efectos de la investigación agrícola. Los autores obtienen datos sobre productividad agregada del sector agropecuario y de gastos en inversión pública para estimar un modelo econométrico en el caso del INIA-Uruguay. Mediante este modelo estiman elasticidades gasto-productividad y luego utilizan estas estimaciones para calcular los retornos marginales a la investigación. Estos autores encuentran una ratio beneficio-costos marginal superior a 40, una tasa interna de retorno (TIR) superior al 30%, y una TIR modificada, que descuenta con distintas tasas costos y beneficios, en el rango 21-27%. Para el caso de Australia, Khan (2015) con un método similar presenta una estimación del ratio beneficio-costos de 10-20, una TIR de 20% y TIR modificada de 12%. El caso de los gastos de investigación del Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA) de Catalunya es analizado utilizando la misma metodología por Guesmi y Gil en un trabajo reciente (2017). En línea con los resultados de la literatura, los autores encuentran retornos ratios beneficio-costos en el rango 30-40 y TIR modificada levemente superior al 20%. Para el caso de Estados Unidos podemos mencionar dos trabajos. Alston et al (2010) realizan un detallado análisis basado en datos de más de 100 años y 48 estados utilizando estimaciones econométricas y análisis beneficio-costos. Estos autores estiman una tasa interna de retorno marginal promedio entre estados de 23,4%. Plastina y Fulginiti (2012) utilizando métodos similares encuentran una TIR del 17%. Vale mencionar que ambos estudios incluyen cuantificaciones de los “derrames” de las inversiones en investigación entre estados, lo cual hace que la tasa de retorno “social” sea todavía mayor.

En síntesis, identificamos en la literatura tres estrategias para la estimación de los retornos económicos de la investigación agropecuaria.

(1) Uso de micro-datos a nivel de empresa: desafortunadamente, esta estrategia no es posible debido a la falta de datos a nivel empresa-productor.

(2) TIR en base a gastos y beneficios estimados utilizando métodos de excedente económico: esta estrategia se suele utilizar para estimar los retornos de investigaciones en casos particulares, como el maíz, la soja o la ganadería vacuna. No resulta adecuada si se desea realizar una evaluación integral de impacto económico.

(3) Estimación causal sobre la base de datos agregados: mediante análisis de regresión se pretende dilucidar qué porción de la mejora de la productividad es atribuible a las inversiones públicas y, luego, se calcula algún indicador de los retornos.

En este trabajo para realizar la evaluación global de los impactos económicos de la investigación pública en la agricultura argentina seguiremos la última de las estrategias mencionadas. Nuestra contribución es fundamentalmente empírica ya que no hay evidencia previa sobre los retornos agregados a la investigación pública en la agricultura de Argentina. A diferencia de los estudios previos que se focalizaron en productos específicos y estimaron excedentes económicos utilizando un enfoque de equilibrio parcial (Cirio y Castronovo, 1993), en este trabajo utilizamos un indicador agregado de TFP y a partir de este se derivan las TIR asociadas a impactos productivos.

3. El Sector Agropecuario en Argentina

El sector agropecuario argentino ha mostrado en los últimos años un gran dinamismo y alta capacidad para la innovación y adopción de nuevas tecnologías. Debe destacarse que a partir de la segunda mitad del Siglo XX el sector agropecuario argentino fue afectado por sistemáticas distorsiones de precios que se instrumentaron a través de impuestos a las exportaciones, tipos de cambio diferenciales y restricciones cuantitativas a las exportaciones de productos (Sturzenegger 1989, 2006). Mundlak, Cavallo y Domenech (1989) muestran que las políticas distorsivas aplicadas tuvieron un importante impacto negativo sobre las tasas de crecimiento del sector y de la economía en general. El producto del sector agropecuario creció a un ritmo de 1,4% anual promedio entre 1940 y 1972, lo que es una tasa modesta comparada con el 1.8% anual en el período 1908-1920 y el 2.2% anual en 1920-1940 (Fulginiti y Perrin, 1990); y también con el 1.9% de crecimiento de la agricultura de los EE.UU en el mismo período. Mundlak et al. (1989) estiman que el ingreso en los 55 años que siguieron a 1930 hubiera sido un 63 % mayor en caso de no existir estas distorsiones, lo que implica que el sector agropecuario podría haber crecido a una tasa aproximada del 2,5% anual. Fulginiti y Perrin (1989) estiman elasticidades de oferta agropecuaria que superan la unidad para la mayoría de los productos agropecuarios y cuantifican que la eliminación de distorsiones hubiera llevado a tasas de crecimiento similares a las de los EE.UU.

No obstante, a fines del siglo XX el sector experimenta un renovado dinamismo, impulsado por cambios en la política agropecuaria que implicó la eliminación de impuestos y restricciones al comercio exterior entre 1990 y 2002. Asimismo, se incorporaron innovaciones tecnológicas que se tradujeron en significativas mejoras de productividad. Se destaca principalmente la introducción de la siembra directa y los cultivos transgénicos, los cuales desencadenaron una verdadera revolución en el sector agrícola. Lema (2015) estima un aumento en la productividad total de factores (PTF) en la agricultura de 3,89% anual promedio entre 1990 y 2001, con las cantidades producidas creciendo un 4,39% anual y los insumos un 0,5% anual. De acuerdo con estas estimaciones, este fue el aumento de productividad del sector más rápido en el período 1961-2013. Un trabajo realizado por la Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas (FIEL, 2001) estima que la productividad agropecuaria se ha desempeñado muy bien en relación al resto de la economía: en el período 1981-1999 estiman un crecimiento

de la PTF del sector agropecuario del 2,2% promedio anual, lo cual contrapone con un crecimiento de la PTF del producto total de -2% entre 1981-1990 y 2,2% entre 1991-1999.

Si bien a partir del año 2002 se reintrodujeron los impuestos a las exportaciones agropecuarias y el nivel de restricciones cuantitativas y distorsiones al comercio fue creciente, el elevado nivel de precios internacionales de bienes primarios, característica central de la primera década del nuevo milenio, continuó impulsando al proceso de adopción tecnológica e innovación, particularmente en la producción de granos. La producción de granos creció de 33,3 millones de toneladas en 1990 a 119,1 millones en 2015, a un ritmo de 5,19% anual (Sturzenegger, 2015). No obstante, el crecimiento de la productividad se desaceleró ligeramente, hasta 2,59% anual promedio en 2002-2007 (Lema et al., 2015).

La promoción del cambio tecnológico y la inversión en investigación agropecuaria es principalmente desarrollada en Argentina a través del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) mediante una extensa red de actividades de extensión, información y comunicación. Creado en el año 1956, el INTA ha desarrollado múltiples programas y actividades con el objetivo de promover la adopción de tecnologías y mejorar productividad y eficiencia del sector agropecuario. Actualmente, el INTA cuenta con 15 centros regionales, 6 centros de investigación y una planta de personal de 7349 agentes, de los cuales el 49% son profesionales (INTA, 2016a). En 2017 el INTA contó con un presupuesto de 5,500 millones de pesos, o 289 millones de dólares al tipo de cambio de 19,50 de fines de 2017 (datos oficiales del Ministerio de Agroindustria). Los desarrollos tecnológicos del INTA han sido diversos y sus innovaciones en muchos casos se han difundido exitosamente en el sector agropecuario. Un caso relevante es el desarrollo de la vacuna anti-aftosa desarrollada por el Dr. Scholein Rivenson (doctor en medicina veterinaria y reconocido investigador que trabajó muchos años en el INTA) en la década de 1970. Aunque no existen evaluaciones económicas específicas de este desarrollo, los retornos probablemente han sido importantes, al punto que el logro de que Argentina fuera declarado “país libre de aftosa con vacunación” en 1997² se atribuye parcialmente a la disponibilidad de esta vacuna.

Como se mencionó previamente, el impacto de algunos desarrollos específicos del Instituto ha sido evaluado económicamente, encontrándose en general altas tasas de retorno. Un caso interesante es el de la investigación para el mejoramiento genético del trigo (Macagno y Gómez Chao, 1992). Trabajos de fitomejoramiento del INTA, sumado a la labor de criaderos privados, permitió la transferencia y difusión de nuevos cultivares con germoplasma mejorado por el CIMMYT³ de México durante los años 70. Utilizando un modelo de excedentes económicos para estimar los beneficios netos de la adopción del trigo “mejicano” se calculó una TIR de las inversiones públicas y privadas fue del 32%. En Cirio y Castronovo (1993) y en Lema, Penna y Rodríguez (2000) se pueden encontrar investigaciones similares que encuentran retornos positivos en maíz, girasol, algodón, leche, papa y otros. El INTA además ha realizado investigaciones en muchas otras áreas con potencial de impacto en el sector agropecuario. Algunas de ellas son el desarrollo de cultivos resistentes a herbicidas, vacunas y prevención de enfermedades, nuevas técnicas de manejo agronómico, tecnologías de mapeo de suelos, agricultura de precisión, silo bolsas, agrobótica y nanotecnología (INTA, 2016b).

No obstante, analizar casos de inversión exitosa o enumerar los planes que llevó adelante el Instituto en el pasado no permite una evaluación cuantitativa del impacto de la investigación

² La Nación (18 de Julio de 2001). “Falleció Rivenson, el creador de la vacuna antiaftosa.”

³ Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. En este centro desarrollaba sus actividades del Dr. Norman Borlaug, Premio Nobel de la Paz por sus contribuciones al desarrollo de la agricultura para la alimentación.

pública en el sector agropecuario. Las inversiones realizadas tienen que ser productivas, en el sentido que deben desarrollar y promover tecnologías que los empresarios agropecuarios luego adopten, en un proceso de cambio técnico que derive en mejoras de PTF agregada. Desarrollos que no son adoptados por el sector privado o no mejoran la productividad implicarán un costo, sin beneficios asociados. En este sentido, el objetivo de la evaluación será estimar el impacto de la investigación sobre la productividad y obtener estimaciones de la TIR asociada a las inversiones.

4. Productividad Total de los Factores en la Agricultura Argentina

La estimación de la productividad total de factores se realiza en base a los resultados previos presentados por Lema (2015). Las series y estimaciones realizadas por este autor se actualizaron hasta 2016. Las series de datos, cuya fuente es FAOSTAT, se actualizaron y se tomaron nuevas series completas en los casos en que hubieran sido modificadas (por ejemplo, los índices de producción reportados por en FAOSTAT fueron actualizados por esa institución). En otros simplemente se agregaron los nuevos valores disponibles. Los datos provenientes de otras fuentes se actualizaron hasta 2016. En las pocas situaciones que no había datos disponibles se realizaron proyecciones o estimaciones completando las series.

Los insumos utilizados para Agricultura son área cultivada, trabajo, fertilizantes, maquinarias, semillas.⁴ Por su parte, los insumos utilizados para Ganadería son pasturas, trabajo, fertilizantes, alimento para animales, maquinarias y stock de capital animal. La tasa de crecimiento de la productividad total de factores (PTF) se calculó según

$$tfp_t = q_t - \sum_j C_j x_j,$$

donde $q_t = \frac{1}{I_t^Q} \frac{\partial I_t^Q}{\partial t}$ representa la tasa de cambio del índice de producción, x_j representa la tasa de cambio del insumo j , y C_j es la proporción del costo total (o *share*) que representa el insumo j .⁵ Dias Avila y Evenson (2010) reportan los shares de costos del sector agrícola y ganadero para la Argentina y otros países para los períodos 1961-1980 y 1980-2001 (Tablas A.3.A y A.3.B en pp. 3809-3812), los cuales son utilizados por Lema (2015). En nuestra estimación tomamos estas participaciones y las re-escalamos para que de manera consistente su sumatoria sea igual a la unidad⁶. Luego de estimar la PTF para agricultura y ganadería de forma separada, calculamos un promedio ponderado por las participaciones de estos sectores en el producto agropecuario para obtener la PTF del sector en su conjunto.

Período	Sector Agropecuario			Cultivos agrícolas			Ganadería		
	Producto	Insumos	PTF	Producto	Insumos	PTF	Producto	Insumos	PTF
1961-1989	1.91%	0.00%	1.91%	2.87%	0.11%	2.76%	0.94%	-0.11%	1.05%
1989-2006	2.82%	0.43%	2.39%	4.07%	0.47%	3.60%	0.89%	0.36%	0.53%
2006-2016	2.02%	0.42%	1.60%	2.60%	0.40%	2.20%	0.78%	0.47%	0.31%

Cuadro 1: Tasas de cambio de producto, insumos y PTF por períodos

⁴ En la estimación de la PTF para agricultura se ignoró el insumo “fuerza de tracción animal” (*animal power*, en inglés). La razón es que la serie de datos obtenida de este insumo no es confiable.

⁵ Ver Dias Avila y Evenson (2010, pp. 3771-3774) para una derivación del índice de PTF.

⁶ Llamativamente, los shares reportados por Dias Avila y Evenson (2010) suman más que uno. Si X_j es la cantidad utilizada de insumo j , y w_j es su precio, el share se define como $C_j = w_j X_j / \sum_{i=1}^J w_i X_i$, donde J es la cantidad de insumos. Como vemos, por definición los shares deben sumar uno.

El Cuadro 1 muestra tasas de crecimiento promedio de la producción, el uso de insumos, y la PTF para tres períodos: 1961-1989, 1989-2006, 2006-2016. Como se puede apreciar, la productividad se mostró más dinámica en lo que respecta a *cultivos agrícolas*, siendo el período de mayor crecimiento 1989-2006, el cual corresponde a importantes avances tecnológicos tales como la introducción de la siembra directa y las semillas transgénicas. El crecimiento de la productividad superior al 2% para toda la muestra revela un verdadero éxito del sector, especialmente en una economía tan volátil como la argentina. La *ganadería*, por su parte, mostró un crecimiento de la productividad algo menor, levemente superior al 1% en el primer período e inferior al 1% en el resto. En particular, el período de menor crecimiento es 2006-2016, el cual coincidió con una fuerte intervención gubernamental en el comercio exterior del sector.

El Gráfico 2 muestra la serie de datos de PTF que se utilizará como variable dependiente en el modelo de regresión, en conjunto con el índice de producción reportado por FAOSTAT y el de insumos construido para el trabajo, con año base en 1973. Se observa que el uso de insumos creció relativamente poco, por lo que la serie de productividad se mueve de forma muy similar a la producción⁷. En los datos se puede observar el impacto de la hiperinflación de 1989, que hizo caer la productividad, y de la crisis de 2002 que marcó una desaceleración del fuerte crecimiento de los 90.

Entre 1973 y 2016 la producción agropecuaria se multiplicó por 3,35. Si el uso de insumos no se hubiera modificado, la producción habría crecido en un factor de 2,75. Para comparación, en ese mismo período el Producto Bruto Interno (PBI) se multiplicó por 2,30, mientras que el PBI per cápita se multiplicó por 1,35. La productividad agropecuaria creció más rápido que la economía argentina. Ahora bien, ¿qué significa esto exactamente? ¿Son suficientes los cambios tecnológicos para explicar esta fuerte suba en la producción? Seguramente que estos representan una parte importante de la historia, pero una historia que se limite solo a la introducción de nuevas tecnologías será incompleta. Mejoras en la calidad de los insumos que aumentan la productividad por hectárea sembrada, o mejoras organizacionales en la producción derivadas de acumulación de capital humano también son un factor importante (Alston et al 1995, pp.130-133). Nuestro objetivo será cuantificar qué porción de esas subas se puede atribuir a las actividades del INTA.

⁷ Un patrón similar puede observarse para los datos de PTF estimados por el Servicio de Investigación Económica del Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA, Economic Research Service, 2017)

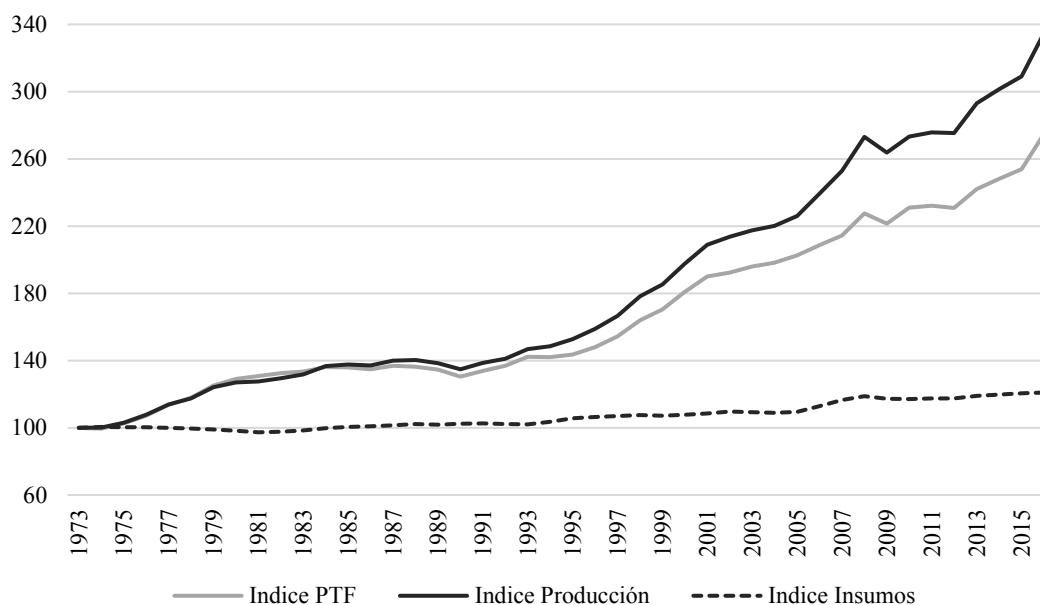


Figura 3: Índices de Producción, Insumos y Productividad Total de Factores del sector agropecuario. 1973-2016.

5. Inversión Pública en Investigación Agrícola

El patrón de gasto en investigación pública en Argentina está fuertemente asociado a la actividad del INTA que se toma como fuente para aproximar las actividades de investigación. El INTA funciona como organismo público desde el año 1956 y a partir de información administrativa (INTA, 2015) fue posible obtener una base de datos muy completa sobre los ejecuciones presupuestarias desde el año 1962 hasta el año 2015 (INTA, 2015). Estos gastos están clasificados en gastos en personal, gastos operativos, inversiones y transferencias. Desafortunadamente, no fue posible discriminar según gastos en investigación y desarrollo (R&D) y en actividades de extensión agropecuaria, por lo que no resulta imposible evaluar en forma independiente el impacto diferencial de esos dos tipos de gastos. Para completar las series de datos, obtuvimos información presupuestaria para los años 1958-1961 en Pellegrini (2014), y para los años 2016 y 2017 de los presupuestos del Ministerio de Agricultura⁸. De esta forma completamos una serie presupuestaria entre los años 1958 y 2017. Los valores presupuestarios corrientes se transforman a pesos constantes del diciembre de 2016 utilizando el Índice de Precios al Consumidor (IPC)⁹. El Gráfico 3 muestra las series de datos completas en valores constantes.

Se observa que los gastos presupuestarios presentan una fuerte correlación con los shocks macroeconómicos de la economía argentina. Por ejemplo, se puede ver claramente las caídas abruptas del gasto real al momento de varias crisis macroeconómicas: el *rodrigazo* (1975), la hiperinflación (1989) y la salida de la convertibilidad (2002).

⁸ Los datos para 2016 y 2017 no se encuentran separados según las cuatro categorías mencionadas en el texto. En consecuencia, la separación del gasto total en personal y otros fue estimada.

⁹ Se trata del IPC de INDEC entre 1958 y 2006, y el IPC de PriceStats entre 2006 y 2017.

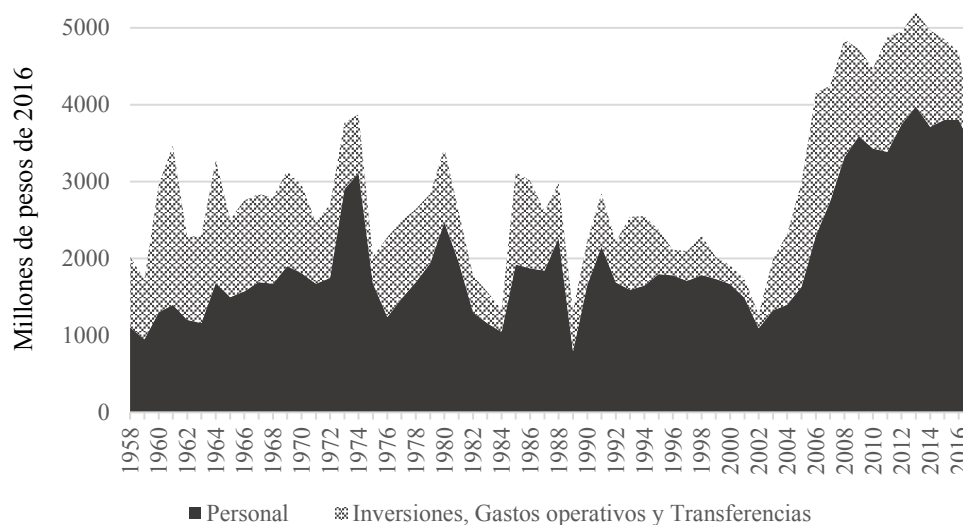


Gráfico 3. Gastos presupuestarios del INTA en pesos constantes

Además de datos presupuestarios se construyó también una serie del tamaño de la planta de personal (Gráfico 4). Considerando estos dos indicadores podemos separar las fluctuaciones del gasto en períodos diferenciados:

- (1) Crecimiento sostenido entre 1958-1980: El crecimiento se vio influenciado por una suba en el personal. El gasto cayó fuertemente luego de 1975, y se recuperó levemente hasta 1980. Dado que la planta de personal siguió su tendencia alcista, es probable que la remuneración real al trabajo haya caído fuertemente durante aquella crisis.
- (2) Estancamiento en la década de 1980: El personal se mantuvo prácticamente estable, mientras que el gasto real fluctuó al ritmo de los shocks macroeconómicos.
- (3) Achicamiento entre 1991 y 2002: El ajuste estructural del estado durante la década de 1990 llegó también al INTA. El personal se redujo un 25% en el año 1991, manteniéndose constante durante el resto de la década. El gasto se mostró estable, con una caída fuerte en el bienio 2000-2002.
- (4) Crecimiento explosivo entre 2003 y 2015: Luego de la crisis de 2002 el estado se encontró con muchos recursos. Asimismo, los altos precios internacionales aumentaron la importancia de la recaudación ligada al sector agropecuario. En consonancia con el descomunal aumento del gasto público en aquellos años, el gasto del INTA explotó en términos reales. No obstante, gran parte de esta mejora estuvo explicada por un rápido aumento de la planta de personal.
- (5) Incipiente caída en 2016 y 2017: Con el nuevo cambio de mando político el gasto parece haber cambiado de tendencia una vez más. Las presiones para reducir el déficit fiscal se reflejaron en el INTA con una disminución del gasto presupuestario real.

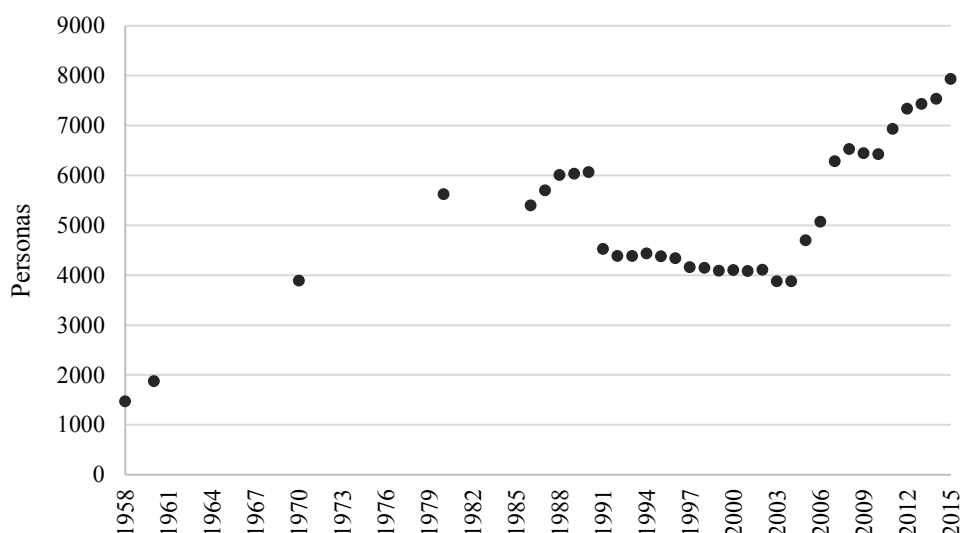


Gráfico 4: Dotación Total de Personal del INTA

Como vemos los gastos parecen responder más a vaivenes políticos o shocks macroeconómicos que a cambios en el sector agropecuario. En este sentido, se puede argumentar que el gasto del INTA es exógeno a la productividad, lo cual es un relevante para su utilización como regresor en las estimaciones econométricas. Es decir, podría suponerse de manera adecuada que la productividad total de factores no determina los gastos del INTA, eliminando la posibilidad de una causalidad inversa a la supuesta por el modelo, ya que la productividad agropecuaria no parece afectar directamente sobre los cambios en el gasto.

6. Un Modelo de Productividad e Investigación Agrícola

Para estimar el impacto económico de la investigación se propone un modelo conceptual que vincula los gastos en investigación con la PTF agropecuaria. Supongamos que PTF_t representa la productividad en t , \mathbf{R}_t un vector de $1 \times L_R$ que incluye los gastos públicos en investigación desde el período actual hacia el período L_R (el máximo rezago supuesto por el modelo), \mathbf{E}_t un vector de $1 \times L_E$ que incluye los gastos en extensión, \mathbf{RP}_t un vector de $1 \times L_{RP}$ que incluye gastos privados en R&D, o alternativamente el gasto realizado por países vecinos que derramen sobre la productividad local (cada uno con su rezago máximo L_E y L_{RP}), C_t representa las condiciones climáticas en el período t , y X_t es una variable proxy de factores económicos que afecten la productividad (por ej. alguna medición de la protección efectiva sobre el sector o la evolución del los términos del intercambio).¹⁰ Siguiendo a Alston et al. (2011), podemos escribir

$$PTF_t = f(\mathbf{R}_t, \mathbf{E}_t, \mathbf{RP}_t, C_t, X_t). \quad (1)$$

Suponiendo que la relación se puede representar por una función lineal en logaritmos, la estimación demandaría incluir $L_R + L_E + L_{RP} + 3$ parámetros, lo cual limitaría los grados de libertad en la estimación (se dispone en general de series de tiempo relativamente cortas). Por este motivo, se supone que la productividad depende de un stock de conocimiento público que

¹⁰ Alston et al. (1995) incluye una variable \mathbf{Z}_t de variables institucionales y de infraestructura en la función de producción agregada (pp. 104-111), la cual es luego ignorada por considerar que no tiene un impacto significativo en las estimaciones. Es muy probable que esos factores sean preponderantes en el caso argentino.

puede ser utilizado por los productores en el proceso productivo.¹¹ Para ello, en vez de utilizar directamente los flujos de gastos en investigación y extensión, con su estructura de rezagos temporales, como variables explicativas en (1), se construye con ellos una variable de stock, SK_t , que resume la dinámica de acumulación de conocimiento, y que luego será incluida en la estimación.

$$SK_t = g(L_t, L_{t-1}, \dots, L_{t-L_R}, E_t, E_{t-1}, \dots, E_{t-L_E})$$

Supongamos que construimos el stock de conocimiento público en base a los gastos del INTA en investigación y extensión, así como un stock de conocimiento privado SP_t . Luego, la función de producción resultará

$$PTF_t = f(SK_t, SP_t, C_t, X_t). \quad (2)$$

De esta forma reducimos sensiblemente la cantidad de parámetros a estimar. Si asumimos que f es lineal en logaritmos, podemos escribir (2) como la siguiente ecuación estimable

$$\ln PTF_t = \beta_0 + \beta_1 \ln SK_t + \beta_2 \ln SP_t + \beta_3 \ln C_t + \beta_4 \ln X_t + \varepsilon_t, \quad (3)$$

donde ε_t es un término de error que se supone independiente e idénticamente distribuido. La ecuación (3) se estimará por el método de mínimos cuadrados ordinarios (OLS). Asimismo, se estimarán modelos con tendencia lineal y otras variables que puedan ser relevantes, intentado testear la robustez de los resultados. El *supuesto de identificación* central del modelo es que no existen variables omitidas que generen sesgo en los parámetros, por lo que éstos deberían ser estables ante la inclusión de nuevas variables irrelevantes.

Notemos que los parámetros β_i son directamente interpretables: representan la elasticidad de la productividad total de factores respecto a la variable i . Por ejemplo, β_1 indica la elasticidad de la PTF respecto al stock de conocimiento público. La forma funcional de la ecuación (3) asume que las elasticidades son constantes, lo cual corresponde con una tecnología implícita de tipo Cobb-Douglas. Podrían agregarse términos de interacción para modificar este supuesto (Evenson, 2001), utilizando la forma funcional flexible translogarítmica. No obstante, incrementar la flexibilidad implica mayor cantidad de parámetros a estimar, lo que reduce los grados de libertad y eficiencia en la estimación.

Para la construcción de la variable de stock de conocimiento debe tenerse en cuenta que un proyecto de investigación en nuevas tecnologías comienza con altos costos y pocos, o ningún, beneficio inicial. Es decir, los flujos de ingresos ocurren con rezago temporal (ver Alston, 2010, capítulo 8). Supongamos, por ejemplo el desarrollo de una nueva variedad de semillas: inicialmente, se deben afrontar los altos costos de investigación y desarrollo, luego, unos años más tarde, la nueva variedad debe comercializarse y difundirse entre los productores, quienes la adoptarán si efectivamente perciben que pueden obtener un mayor beneficio. Tal como se señaló previamente, la adopción tecnológica lleva tiempo, aunque suele representar un patrón similar a una curva logística. En los primeros años la tasa de adopción es lenta, luego en niveles medios el avance técnico se difunde rápidamente y la tasa de adopción se acelera, hasta llegar a un 80-90% donde vuelve a desacelerar. Eventualmente, el cultivo se deja de utilizar y es reemplazado por nuevas variedades.¹²

El patrón de impacto de la tecnología sobre la productividad a lo largo del tiempo se trata de modelar suponiendo que los gastos actuales en investigación y desarrollo sólo se transforman

¹¹ Implícitamente, estamos suponiendo una función de producción que depende de factores productivos convencionales (como trabajo, insumos, stock de capital físico) más un stock de conocimiento.

¹² Ver Griliches (1957) para un trabajo pionero sobre el tema. Alston (2010, pp.248-258) muestra estimaciones actualizadas para Estados Unidos. Macagno y Gómez Chao (1992) muestran una estimación de la adopción de trigo con germoplasma mejicano para Argentina (ver Figura 1, pp. 114).

en conocimiento utilizable en la producción con cierto rezago temporal. Así, el stock de conocimiento público en t , SK_t , será

$$SK_t = \sum_{k=0}^L b_k (R_{t-k} + E_{t-k}), \quad (4)$$

donde los b_k son ponderadores que cumplen $\sum b_k = 1$ (el stock de conocimiento privado se estimará del mismo modo). Es decir, estamos suponiendo que el stock en el período presente es una suma ponderada de los gastos pasados en R&D y extensión, hasta el rezago máximo impuesto (que suponemos igual entre investigación y extensión, $L_R = L_E = L$).

La extensión del rezago máximo es una cuestión discutida extensamente en la literatura especializada. Muchos trabajos utilizan 25-30 años, aunque Alston et al. (2010) encuentra evidencia de que gastos de hasta 50 años en el pasado tienen impacto en la productividad actual. Para la aplicación empírica, la extensión de las series de datos disponibles impone una restricción importante para la modelización.

Otra cuestión relevante es la forma que adoptarán los ponderadores b_k utilizados para construir el stock (ver Gráfico 5). Suponemos que el gasto de los períodos inmediatamente anteriores al actual ($t = 0$) tendrá un impacto muy bajo en la productividad, pues esas investigaciones todavía no generan frutos. (De hecho, podríamos imponer un período de gestación antes del cual la investigación tendrá impacto nulo en la productividad). Los ponderadores serán crecientes hacia el pasado, pues el impacto del gasto inicialmente crece, alcanzando su punto máximo entre 10 y 15 años atrás en los ejemplos de la figura. Más allá del máximo los ponderadores serán decrecientes, pues el conocimiento generado con aquellas inversiones va perdiendo peso en el stock de conocimiento actual.

Existen dos formas funcionales utilizadas ampliamente en los estudios empíricos y se presentan en el gráfico: la trapezoidal, y la distribución gamma que depende de dos parámetros, λ y δ . Siguiendo la práctica más reciente en la literatura, utilizaremos la distribución gamma (Alston et al. 2010)¹³.

La estimación de λ y δ suele realizarse mediante un procedimiento de búsqueda. Se construye una grilla de valores posibles para los parámetros, los cuales generarán ponderadores que se consideran razonables a priori. Luego, se utilizan los ponderadores de cada estimación seleccionada para construir el stock de conocimiento. Finalmente, se estima el modelo de regresión (3) para cada posible combinación de parámetros y se seleccionan los modelos con un mejor desempeño estadístico (Alston et al., 2010).

¹³ Los trabajos más recientes sobre estimaciones de impacto de investigación, Bervejillo et al. (2012), Khan (2015) y Gil y Guesmi (2017), utilizan la distribución gamma.

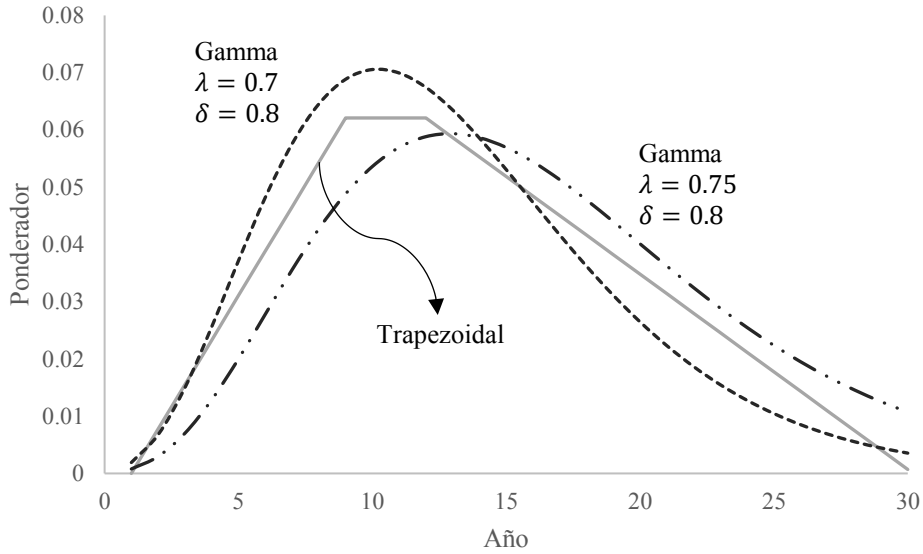


Gráfico 5: Estructura de ponderadores para construir el stock de conocimiento

Este método propuesto por Alston (2010) es flexible en el sentido que se supone una forma funcional para los rezagos y se permite que los datos indiquen los parámetros particulares que mejor se adecúan a ellos. Sin embargo, presenta la debilidad de que se prueban muchas combinaciones de parámetros y puede ocurrir que se consiga un buen ajuste como resultado de este artificio.

7. El Stock de Conocimiento

Para la construcción de la serie de stock de conocimiento disponemos de una serie temporal de los gastos anuales del INTA desde 1958. La variable *stock de conocimiento público* (SK) es:

$$SK_t = g(L_t, L_{t-1}, \dots, L_{t-\bar{L}}),$$

donde SK_t es el stock en t , L_t es el gasto del INTA en t , y \bar{L} representa el máximo rezago supuesto en el modelo. Se estima SK_t como una suma ponderada de los gastos pasados, donde los ponderadores se obtienen de una distribución gamma.

$$SK_t = \sum_{k=0}^{\bar{L}} b_k L_{t-k}$$

Seguindo a Alston et al. (2010), obtenemos los ponderadores de

$$b_k = \frac{(k - g + 1)^{\delta/(1-\delta)} \lambda^{(k-g)}}{\sum_{i=0}^{\bar{L}} (i - g + 1)^{\delta/(1-\delta)} \lambda^{(k-g)}}$$

donde g es un rezago de gestación antes del cual la investigación no tiene ningún efecto sobre la productividad, y λ y δ son parámetros que determinan la forma específica de la distribución gamma a utilizar. Para la elección de los valores de los parámetros se estiman modelos de regresión para diversas combinaciones de parámetros y se utiliza el que mejor se ajuste a los datos.

En el trabajo original de Alston et al. (2010) muestran los ponderadores que se obtiene al utilizar todas las combinaciones posibles de λ y δ con los valores 0,60, 0,65, 0,75, 0,80, 0,85, 0,90 y 0,95, resultando en 64 posibles conjuntos de ponderadores. Seguimos el mismo procedimiento y seleccionamos algunos stocks de conocimiento construidos con distintas

combinaciones de parámetros que resultan aceptables y comparables con la literatura previa. En el apéndice A se muestran los stocks de conocimiento estimados con los parámetros $\lambda = 0,65, 0,75, 0,85, 0,95$ y $\delta = 0,75, 0,80, 0,85, 0,90$. Las figuras A.1, A.2 y A.3 dan los resultados para un lag máximo supuesto de 15, 20 y 25 años, respectivamente. Por cuestiones de espacio, se muestran 8 variables SK de 64 posibles (usamos los valores de λ y δ utilizados por Alston et al., 2010). Las figuras seleccionadas ilustran y resumen el patrón subyacente al conjunto total de estimaciones.

En todos los casos, los stocks de conocimiento parecen cambiar de una forma predecible. Con λ y δ “bajos”, los ponderadores dan mucha importancia a los gastos recientes. Por lo tanto, se observa un stock relativamente estable hasta los 2000, con algún pico en la década de 1990 - antes que se empiece a sentir el ajuste del INTA que comenzó en 1990- una caída fuerte en 2003-2007 -que corresponde a la contracción del gasto de la crisis de 2001, y un fuerte aumento hacia el final del período. A medida que nos movemos hacia el sudeste entre las figuras, con mayores λ y δ , los stocks cambian. Ahora, se observa un crecimiento fuerte en los primeros años, seguido por un período de estancamiento entre 1990-2006 (aunque con oscilaciones alrededor de una tendencia plana), y una caída hacia el final del período.

8. Resultados de las Estimaciones

El modelo base

El modelo básico para las estimaciones asume que la productividad del sector agropecuario (PTF) depende de factores como la inversión privada, los precios relativos del sector, el stock de capital humano de la economía, y el stock de conocimiento público generado por los gastos en investigación y desarrollo (R&D) y extensión del INTA.

Asumiendo que la relación es lineal en logaritmos, queda definido nuestro modelo base como

$$\ln PTF_t = \beta_0 + \eta_{SK} \ln SK_t + \boldsymbol{\gamma}' \mathbf{X}_t + u_t, \quad (5)$$

donde \mathbf{X}_t representa un conjunto de controles, y η_{SK} es la elasticidad de la productividad ante un aumento en el stock de conocimiento público (el parámetro de interés).

En principio analizamos las propiedades de las series de tiempo para detectar la posible presencia de raíces unitarias (no estacionariedad). Realizamos tests de Dickey-Fuller aumentado (ADF) sobre la variable explicada, $\ln TFP$, las variables stock de conocimiento público y el control $\ln TOT$. El Cuadro 2 reporta los resultados para los tests ADF sobre las variables $\ln TFP$ y $\ln TOT$ y sus primeras diferencias. La hipótesis de existencia de una raíz unitaria en las variables en niveles no se puede rechazar para ninguna de las especificaciones del test. Sin embargo, se rechaza la existencia de raíz unitaria para las series en primeras diferencias. Estos resultados indican que las variables $\ln TFP$ y $\ln TOT$ tienen orden de integración 1 y se hacen estacionarias mediante la primera diferenciación.

P-value para..	$\ln TFP$	$D(\ln TFP)$	$\ln TOT$	$D(\ln TOT)$
D-F	0.9920	0.0000	0.6631	0.0000
D-F con deriva	0.7928	0.0000	0.1132	0.0000
D-F con tendencia	0.9365	0.0003	0.5571	0.0000

Cuadro 2: Test Dickey-Fuller para modelos simples, con deriva y con tendencia.

Los Cuadros 3 y 4 muestran los resultados del test para las 64 variables de stock de conocimiento en nivel logarítmico y en primera diferencia, respectivamente. En cada celda se responde a la pregunta “¿se rechaza la hipótesis nula H_0 de raíz unitaria con un nivel de significancia del 5%?” Vemos que, para los niveles, en la mayoría de los casos no se rechaza H_0 -tienen raíz unitaria-, mientras que para las primeras diferencias se rechaza la hipótesis nula para aquellos stocks con λ y δ “alto” -no tienen raíz unitaria-.

La no estacionariedad de las series en niveles implica que el uso de MCO puede resultar en “regresión espuria”. En ese caso una recomendación es estimar la regresión con las variables en primeras diferencias (Enders, 1995, pp. 219.). Por lo tanto, el modelo a estimar es ahora

$$\Delta \ln PTF_t = \beta_0 + \eta_{SK} \Delta \ln SK_t + \gamma' \Delta X_t + \varepsilon_t, \quad (6)$$

donde ε_t se asume i.i.d., y como control usamos únicamente el logaritmo de los términos de intercambio.

$\lambda \setminus \delta$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,60	No	No	No	No	No	No	No	No
0,65	No	No	No	No	No	No	No	No
0,70	No	No	No	No	No	No	No	No
0,75	No	No	No	No	No	No	No	No
0,80	No	No	No	No	No	No	No	No
0,85	No	No	No	No	No	No	No	No
0,90	No	No	No	No	No	No	No	Sí
0,95	No	No	No	No	No	No	No	Sí

Cuadro 3: Test Dickey-Fuller para stocks de conocimiento en niveles. Casos en los que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria al 5%.

$\lambda \setminus \delta$	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95
0,60	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí
0,65	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí
0,70	No	No	No	No	No	No	Sí	Sí
0,75	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
0,80	No	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí
0,85	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
0,90	No	No	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
0,95	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí

Cuadro 4: Test Dickey-Fuller para stocks de conocimiento en primera diferencia. Casos en los que se rechaza la hipótesis nula de raíz unitaria al 5%.

Finalmente, vale mencionar que los tests de Durbin-Watson realizados dan como resultado un estadístico de prueba DW entre 1,50 y 1,45 para los mejores modelos. Para un modelo con 45 observaciones y 2 variables de control (sin contar la constante) tenemos $dL = 1,245$ y $dU = 1,425$. Por lo tanto, podemos aceptar la hipótesis de ausencia de autocorrelación para los 15 modelos.

El Cuadro 5 muestra los resultados de las estimaciones con mejor ajuste y también la estimación con peor ajuste (RSS). El valor del estimador de interés η_{SK} se encuentra en el

rango de elasticidad reportado en la literatura que utiliza esta metodología¹⁴. En general, para los primeros 15 modelos estimados, la elasticidad de la TFP con respecto al stock del conocimiento es $0,22 < \eta_{SK} < 0,31$ y es estadísticamente significativa.

Parámetros de SK	$\lambda = 0,60$ $\delta = 0,80$	$\lambda = 0,75$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,70$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,85$ $\delta = 0,80$	$\lambda = 0,80$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,90$ $\delta = 0,80$	$\lambda = 0,70$ $\delta = 0,70$
η_{SK}	0,29 (0,09)	0,30 (0,10)	0,31 (0,10)	0,30 (0,10)	0,26 (0,09)	0,26 (0,09)	0,01 (0,11)
$\Delta \ln TOT$	0,12 (0,04)	0,12 (0,04)	0,11 (0,04)	0,11 (0,04)	0,11 (0,04)	0,11 (0,04)	0,07 (0,04)
rss	0,0192	0,0193	0,0196	0,0196	0,0196	0,0197	0,0240
R^2	0,2493	0,2436	0,2339	0,2330	0,2306	0,2269	0,0610
Ranking	1	2	3	4	5	6	64
DW	1,4986	1,4895	1,4754	1,4710	1,4674	1,4617	1,3553
¿SK es I(1)?	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	No
Parámetros de SK	$\lambda = 0,60$ $\delta = 0,80$	$\lambda = 0,75$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,70$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,85$ $\delta = 0,80$	$\lambda = 0,80$ $\delta = 0,85$	$\lambda = 0,75$ $\delta = 0,65$	$\lambda = 0,70$ $\delta = 0,70$
η_{SK}	0,29 (0,09)	0,30 (0,10)	0,31 (0,10)	0,30 (0,10)	0,26 (0,09)	0,01 (0,11)	0,01 (0,11)
$\ln TOT$	0,12 (0,04)	0,12 (0,04)	0,11 (0,04)	0,11 (0,04)	0,11 (0,04)	0,07 (0,04)	0,07 (0,04)
rss	0,0192	0,0193	0,0196	0,0196	0,0196	0,0240	0,0240
R^2	0,2493	0,2436	0,2339	0,2330	0,2306	0,0613	0,0610
Ranking	1	2	3	4	5	63	64
DW	1,4986	1,4895	1,4754	1,4710	1,4674	1,3551	1,3553
SK es I(1)	Sí	Sí	No	Sí	Sí	No	No

Cuadro 5: Modelos seleccionados. Estimación en primeras diferencias.

A los efectos ilustrativos, el Gráfico 4 muestra los stocks que resultaron en los mejores modelos. En el panel izquierdo se observan los 8 mejores, y en el derecho los modelos posicionados en las posiciones 9 a 15.¹⁵ El valor promedio de estas variables es 2,5 mil millones de pesos de 2016, con una variabilidad muy similar entre todos ellos. El stock fue muy volátil: aumentó de forma estable entre 1973 y 1990, luego cayó lentamente hasta el año 1997, entre 1997 y 2003 experimentó una suba abrupta, cayó a partir de 1997, y finalmente volvió a recuperarse luego del año 2010.

¹⁴ En un artículo reciente, Nin-Pratt y Falconi (2018) estiman por otro método una elasticidad similar para países de América Latina, obteniendo un valor de 0,21 para el caso de Argentina.

¹⁵ Los stocks están etiquetados como S_{ij} , donde i y j corresponden a la ubicación de los parámetros λ y δ entre las 8 posibilidades dadas por $\{0,60, 0,65, 0,70, 0,75, 0,80, 0,85, 0,90, 0,95\}$. Note el lector que los primeros 6 stocks del panel izquierdo corresponden con los valores de λ y δ dados en la tabla 1.

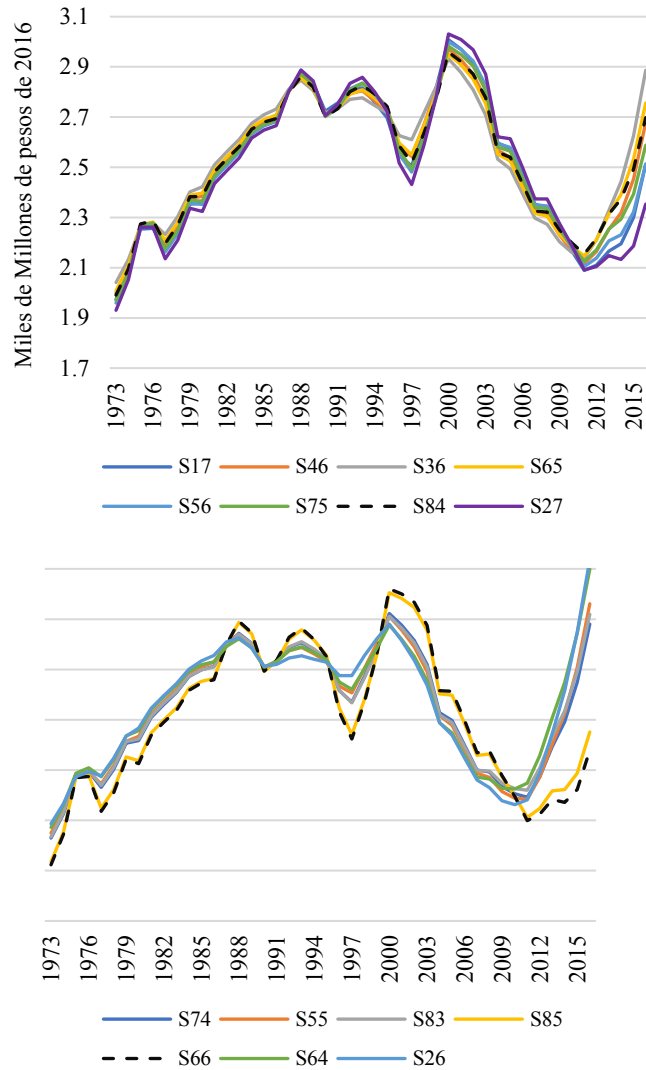


Gráfico 6: Stocks de conocimiento de los 15 modelos de mejor ajuste en primeras diferencias.

Análisis de Robustez: Inclusión de Variables de Control

El Cuadro 6 muestra los resultados de estimaciones para 4 stocks de conocimiento seleccionados en el modelo básico y en modelos con variables de control alternativas. Debe señalarse que los modelos estimados tienen distintos tamaños de muestra debido a que algunas de las series tienen datos limitados.

En principio se puede notar que la elasticidad de la productividad ante cambios en el stock de conocimiento, η_{SK} , parece cambiar del mismo modo para todos los stocks. Aunque positivo y significativo, el coeficiente del modelo básico (1) claramente está sesgado hacia abajo. Ante la inclusión de controles ese estimador aumenta.

El modelo 2 incluye las variables de términos de intercambio y PBI, que pretenden controlar por cambios en los precios del sector y en las políticas. El estimador del parámetro η_{SK} es mayor, alcanzando valores de 0.30-0.34. Asimismo, el impacto de estos factores es positivo. Tanto una mejora en los precios del sector como en el crecimiento de la economía están asociados con un incremento en la productividad del sector agropecuario.

	$(\lambda, \delta) = (0.60, 0.90)$				$(\lambda, \delta) = (0.85, 0.80)$			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
$\Delta \ln SK$	0.206* (0.09)	0.328* (0.09)	0.274* (0.10)	0.366* (0.10)	0.215* (0.10)	0.337* (0.10)	0.278* (0.11)	0.341* (0.09)
$\Delta \ln TOT$	-	0.107* (0.04)	0.090* (0.04)	0.060 (0.05)	-	0.102* (0.04)	0.085* (0.04)	0.053 (0.05)
$\Delta \ln GDP$	-	0.126* (0.06)	0.132* (0.06)	0.140* (0.06)	-	0.123* (0.06)	0.131* (0.06)	0.143* (0.06)
climate	-	-	0.00001 (0.00002)	-0.00001 (0.00002)	-	-	0.00001 (0.00002)	-0.00001 (0.00002)
$\ln Cultiv$	-	-	-	0.0073* (0.004)	-	-	-	0.0072* (0.004)
DW	1.3730	1.3931	1.3405	1.7499	1.3705	1.3548	1.3003	1.6963
R^2	0.1068	0.3214	0.2677	0.4011	0.0995	0.3024	0.2503	0.3950
N	43	43	42	37	43	43	42	37
Ránking	1	1	1	2	4	3	9	5

	$(\lambda, \delta) = (0.75, 0.80)$				$(\lambda, \delta) = (0.80, 0.85)$			
	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
$\Delta \ln SK$	0.206* (0.09)	0.341* (0.10)	0.283* (0.10)	0.356* (0.11)	0.187* (0.09)	0.299* (0.09)	0.250* (0.09)	0.343* (0.11)
$\Delta \ln TOT$	-	0.105* (0.04)	0.088* (0.04)	0.060 (0.05)	-	0.104* (0.04)	0.086* (0.04)	0.056 (0.05)
$\Delta \ln GDP$	-	0.125* (0.06)	0.132* (0.06)	0.138* (0.06)	-	0.124* (0.06)	0.133* (0.06)	0.138* (0.06)
climate	-	-	0.00001 (0.00002)	-0.00001 (0.00002)	-	-	0.00001 (0.00002)	-0.00001 (0.00002)
$\ln Cultiv$	-	-	-	0.0065 (0.004)	-	-	-	0.0061 (0.004)
DW	1.3754	1.3791	1.3208	1.6225	1.3576	1.3535	1.3180	1.5564
R^2	0.1048	0.3148	0.2595	0.3670	0.0957	0.3010	0.2610	0.3474
N	43	43	42	37	43	43	42	37
Ránking	2	2	3	12	5	4	2	16

Notas: El asterisco (*) indica significatividad estadística al 5%. Errores estándar en paréntesis. “Ránking” refiere a la posición del modelo según suma de residuos al cuadrado entre los 64 stocks posibles para esa especificación de la regresión.

Cuadro 6: Modelos en diferencias con distintos conjuntos de controles para stocks de conocimiento públicos seleccionados.

El modelo 3 incluye una variable que controla por variabilidad climática, aproximada por precipitaciones¹⁶ y que en general no resulta significativa estadísticamente. Si se observa una caída en el valor estimado de η_{SK} . No obstante, debe tenerse en cuenta que el tamaño de la muestra se ha restringido en esa estimación. Finalmente, el modelo 4 incluye una variable proxy de la intensidad de la investigación privada, aproximada por la cantidad de nuevos

¹⁶ Esta variable se define como la diferencia cuadrática entre la lluvia en los meses Diciembre-Enero-Febrero y el promedio histórico (los datos fueron obtenidos del [Banco Mundial](#), pero son sistematizados por la [Climatic Research Unit](#) de la University of East Anglia), la cual se encuentra disponible hasta 2015. La variable de clima es estacionaria, por lo cual se incluye en la estimación sin diferenciar.

cultivares de semillas inscritos en el Registro Nacional de Cultivares¹⁷. En esta especificación, sólo se obtiene significatividad para los primeros modelos. Esto se debe probablemente a un problema de multicolinealidad, ya que el número de cultivares inscritos está correlacionado con los términos de intercambio y el PBI. La elasticidad η_{SK} , por su parte, aumenta marginalmente respecto al modelo 3.

El Gráfico 7 muestra los coeficientes de elasticidad para distintas especificaciones del modelo y 6 stocks de conocimiento, utilizando siempre todos los datos disponibles para cada especificación (es decir, el tamaño de muestra es variable).¹⁸ Los modelos sin controles muestran un claro sesgo negativo. Notemos que incluir un control eliminar parte de este sesgo, mientras que incluir todos lleva a los coeficientes a aproximadamente 0,40. Este coeficiente, mayor al reportado en el Cuadro 6, se explica en parte por el no uso de la variable clima que permitió incluir la observación de 2016. Ciertamente, la elasticidad se encuentra en el rango 0.30-0.40, pero la inclusión (o exclusión) de algún valor atípico puede modificar la estimación puntual de forma significativa.

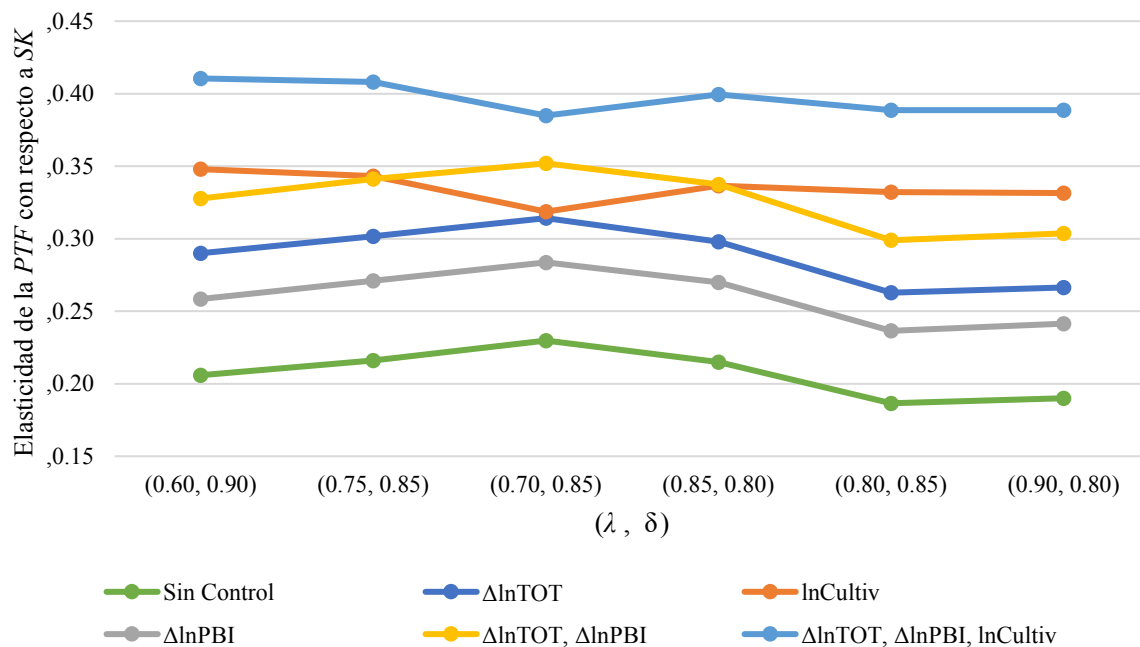


Figura 5: Coeficiente η_{SK} para especificaciones (definidas según los controles) y stocks seleccionados.

Consideramos que existen razones teóricas diversas (sesgo de variable omitida, por ejemplo) para justificar la inclusión de todas las variables de control consideradas -términos de intercambio, PBI, cultivares y clima-, por lo que la especificación final las incluirá. Además,

¹⁷ Se incluyen los nuevos cultivares registrados anualmente en el Registro Nacional de Cultivares (RNC) comenzando en 1979. De acuerdo a la ley N° 20247 que creó el registro, “La inscripción en el RNC no da derecho de propiedad, sino que habilita a las variedades vegetales en él inscritas, para su comercialización”. Quienes obtienen una nueva variedad vegetal tienen así incentivos a registrarla y, de ese modo, obtener los beneficios de su posterior comercialización.

¹⁸ Ahora, los modelos que incluyen los cultivares no son estrictamente comparables con los que no incluyen cultivares, pues la muestra de los primeros es 1979-2016, y de los segundos 1973-2016. Aquí no incluimos la variable clima. No obstante, los resultados no varían significativamente ante una muestra constante en el tiempo.

En cuanto al stock de conocimiento a utilizar, se selecciona el caracterizado por $\lambda = 0.90$ y $\delta = 0.60$ dado que es uno de los que tienen mejor ajuste transversal entre especificaciones.

Para estimar la tasa de retorno marginal y obtener resultados consistentes utilizaremos en la sección siguiente los resultados de modelos con la misma muestra, del período 1979-2016, excluyendo la variable de clima. Asimismo, estimaremos un modelo para 1973-2016 únicamente con los términos de intercambio como control, a fines comparativos. Veremos que, dado que la elasticidad estimada es menor en este último caso, así lo será la tasa de retorno.

9. Retornos a la investigación

Para calcular los retornos e impactos económicos de la investigación se dispone de los siguientes métodos en la literatura:

- (1) Estimar el valor presente de las ganancias de productividad y compararlo con el valor presente de los gastos públicos de investigación, ya sea estimando un ratio beneficio-costos o tasa interna de retorno, en lo que se suele denominar en la literatura “contabilidad del crecimiento” (*growth accounting*),
- (2) Aumentar marginalmente los gastos de investigación y realizar un ejercicio contrafáctico para comparar resultados de PTF entre el modelo con los gastos actuales e incrementales. Luego cuantificar las ganancias de productividad estimadas y compararlas con los costos.

Contabilidad del crecimiento

El índice de aumento de la productividad, PTF_t , indica el aumento del producto no atribuible a aumento del uso de insumos. Si el uso de insumos no se hubiera modificado entre 1973 hasta 2016, la producción del sector agropecuario habría aumentado en un factor de $PTF_{2016}/100 = 2,75$. Por su parte, el aumento del producto hasta 2016 atribuible al aumento de uso de insumos es $100/PTF_{2016} = 0,36$. Multiplicando el valor de la producción por 0,36 se obtiene cuánto hubiera sido la producción si la productividad fuese la misma que en 1973. Así, si el valor bruto de producción del sector agropecuario en 2016 fue de 865 mil millones de pesos corrientes (unos 54,1 mil millones de dólares, a un tipo de cambio de 16\$ del período), si no se hubiese incrementado la productividad la producción sería de 314,8 mil millones de pesos (19,7 mil millones de dólares).

Ahora bien, consideremos el valor real de la producción en el año t , V_t . El mismo puede dividirse en dos: (1) el valor hipotético que hubiera tenido la producción, dado el uso de insumos actual, si la productividad no hubiera crecido, $H_t = V_t \cdot (100/PTF_t)$; y (2) el valor residual $R_t = V_t - H_t = V_t \cdot (PTF_t - 100)/PTF_t$, el cual indica el aumento de la producción atribuible a las economías de escala, mejoras en eficiencia, y cambio tecnológico en general (el aumento de la PTF).

A medida que pasan los años, la porción del producto explicada por aumento de la productividad se incrementa. Con los datos disponibles calculamos el valor del producto bruto para cada año atribuible a mejoras en la productividad, la serie $(R_t)_{t=1973}^{2016}$. En el Cuadro 7 se reporta el valor presente actualizado a 2016 a diferentes tasas de interés. A una tasa de

reinversión del 5% anual, las ganancias de productividad del sector agropecuario equivalen a 17,6 billones¹⁹ de pesos (1,1 billones de dólares), o un único pago de 2,55 veces el PBI de 2016.

Tasa de descuento	de Valor presente (millones de \$ de 2016)	Como % del PBI 2016
3%	12.788.445,64	1,85
5%	17.637.686,92	2,55
10%	47.309.936,92	6,84

Cuadro 8: Valor presente de las ganancias de productividad

Utilizando una tasa de interés real \bar{r} , se pueden actualizar estos valores al 2016 y compararlos con los costos reales actualizados de investigación y extensión necesarios para aumentar la productividad. Suponemos que los costos tienen un rezago de 15 años, por lo que los computamos desde 1958 hasta 2001 (15 años menos que el inicio y el fin de la serie de mejoras en productividad). Luego, con estos datos calculamos el RBC y la TIR.

En el Cuadro 8 reportamos estas estimaciones, asumiendo distintos valores para el porcentaje de ganancias de productividad que se debe a los gastos en investigación del INTA. Estimamos también una tasa interna de retorno modificada (TIRM). La TIRM se obtiene de imponer una tasa de reinversión exógena de las ganancias de productividad, y obtener la tasa a la que se debería actualizar los costos para que igualen a los beneficios en valor presente. Esta corrección surge de la observación que reinvertir un flujo de fondos a tasas del 20 o 30% anual no resulta razonable económicamente (Kierulff, 2008). Formalmente, se resuelve el problema:

$$\sum_{t=L}^T \tilde{V}_t (1 + \bar{r})^{T-t} - \sum_{t=0}^{T-L} C_t (1 + r_{TIRM})^{T-t} = 0$$

donde \bar{r} es una tasa exógena a la que se supone que se puede reinvertir el beneficio obtenido en t hasta el período final T . Intuitivamente, r_{TIRM} es la tasa a la cual uno podría permitirse tomar prestado el flujo de costos de inversión, dado que generarán el flujo de beneficios $(\tilde{V}_t)_{t=L}^T$ a ser reinvertidos a la tasa \bar{r} .

Notemos que si se incrementa la proporción de las ganancias en productividad atribuidas al INTA, tanto el RBC como la TIR aumentan, pues estamos aumentando el flujo de beneficios. Por su parte, la TIR modificada cumple con el objetivo de disminuir la TIR original y obtener estimaciones más creíbles de la tasa de retorno. Las tasas continúan siendo aceptables luego de esta corrección y son similares a las reportadas por Alston et al (2011) para Estados Unidos y Bervejillo et al (2012) para Uruguay. Un retorno real del 6, 7 u 8% anual -las estimaciones menos optimistas de la TIRM- sugieren un retorno social razonable de los fondos aplicados a la investigación.

¹⁹ Utilizamos la terminología latina, donde en billón equivale a un millón de millón, i.e., 10^{12} .

Tasa de descuento	Ratio Beneficio-Costo			
	% de aumento en PTF atribuido al INTA			
	10%	25%	50%	100%
3%	3.6	9.0	18.0	36.0
5%	2.2	5.4	10.8	21.6
TIR				
	8.8%	13.2%	17.0%	21.0%
TIR modificada				
3%	6.3%	8.5%	10.1%	11.7%
5%	7.1%	9.2%	10.8%	12.4%

Cuadro 9: Ratio beneficio-costo, TIR y TIR modificada

La tasa de retorno marginal: el modelo preferido con muestra 1979-2016

Siguiendo a Alston et al. (2011) podemos calcular el impacto marginal de un aumento del gasto en investigación utilizando los resultados del modelo econométrico estimado. Supongamos, por ejemplo, que el gasto aumentara en una cantidad de pesos V en el momento $t = 1973$, el beneficio bruto anual de investigación (*gross anual research benefit*, o *GARB*) resultante será

$$GARB_t = \Delta \ln PTF_t \cdot V_t ,$$

donde $\Delta \ln PTF$ es el aumento proporcional en la productividad causado por el aumento marginal en el gasto ($\Delta \ln PTF = \ln PTF^1 - \ln PTF^0$), siendo $\ln PTF^1$ el valor estimado de la *PTF* bajo el gasto contrafáctico, y $\ln PTF^0$ el valor estimado de la *PTF* bajo el gasto realizado). Luego de calculados los beneficios brutos para cada año derivados del aumento en el gasto marginal en investigación y extensión podemos calcular el valor presente de esos beneficios, actualizados a una tasa real exógena \bar{r}

$$PVB = \sum_{t=1973}^{2016} GARB_t (1 + \bar{r})^{2016-t} .$$

Finalmente, se compara el *PVB* con los costos en valor presente del aumento de la productividad. Con estos datos se pueden calcular la tasa interna de retorno marginal y el ratio beneficio-costo marginal.

Utilizaremos el stock de conocimiento generado con $\lambda = 0.60$ y $\delta = 0.90$, estimado para los años 1979-2016 para estimar los retornos marginales a la investigación. Recordamos que utilizamos una muestra restringida debido a datos incompletos sobre cultivares y que las estimaciones son siempre en primeras diferencias.

Entonces, tomamos los valores del modelo estimado pero con un stock de conocimiento contrafáctico, generado a partir de un flujo de gastos en R&D y extensión con 1 millón de pesos extra en 1979 (los pesos son a precios de 2016, por lo que equivalen a unos USD 62.500 a un tipo de cambio de 16 \$/USD de fines de 2016). Este gasto marginalmente mayor se transformará en un stock levemente mayor en los años venideros, lo cual generará un aumento en la productividad. Luego, vemos cuánto mayor es la productividad predicha con el stock de conocimiento contrafáctico y la valorizamos utilizando el valor bruto de producción de ese año.

Finalmente, con el flujo de fondos de costos y beneficios aplicamos las tradicionales estrategias de ratio beneficio-costos y tasa interna de retorno.

El Cuadro 10 muestra los resultados del ejercicio. El modelo 1 regresa la diferencia logarítmica de la PTF únicamente contra la diferencia del stock de conocimiento, el modelo 2 agrega como controles la diferencia logarítmica de los términos de intercambio y del PBI, mientras que el modelo 3 consta del modelo 2 más el logaritmo de los cultivos.

Tasa de descuento	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3
	Ratio Beneficio Costo		
3%	43.9	55.4	63.1
5%	34.6	43.7	49.8
	TIR marginal		
	44.2%	47.7%	49.8%

Tabla 10: Ratio beneficio-costos y TIR marginal. Modelos con muestra restringida

La primera observación es que las estimaciones dan cuenta de una tasa de retorno marginal alta. Considerablemente mayor que el cálculo de contabilidad de crecimiento que podríamos interpretar como tasa de retorno “promedio”. Este hecho parece indicar que la inversión en agricultura se encuentra en una etapa de rendimientos crecientes. Este no suele ser el caso en otros artículos de la literatura, como Alston et al (2011). Ahora bien, al pasar del modelo 1 al modelo 3 vemos un aumento tanto en el RBC como la TIR. Esto se debe a que incluir más controles en la regresión *disminuye* el sesgo de estimación e incrementa la elasticidad de la productividad ante un cambio en el stock de conocimiento público. Por su parte, aumentar la tasa de descuento disminuye el RBC. La suba en la valuación presente de los costos, los cuales son actualizados con más intensidad por ser más lejanos en el tiempo, no es compensada por los incrementos en los beneficios unos años más tarde.

La tasa de retorno marginal: el modelo con menos variables de control pero muestra 1973-2016

Ahora, estimaremos la TIR marginal para un modelo con muestra completa utilizando el mismo stock, caracterizado por $\lambda = 0.60$ y $\delta = 0.90$. Como vimos antes, excluir el período 1973-1979 aumenta la elasticidad estimada, dado que estos son años de gastos crecientes y productividad estancada. Incluiremos en la regresión el stock, los términos de intercambio y el logaritmo del PBI. Excluimos los cultivos para poder utilizar todos los años disponibles.

Evaluamos una suba del gasto de 1 millón de pesos, pero ahora ejecutado en 1973. El Cuadro 11 muestra los resultados del RBC y la TIR marginal. Como vemos, la tasa de retorno en este caso es sensiblemente menor al modelo con muestra restringida (comparar con modelo 2), lo cual se explica por la menor elasticidad η_{SK} estimada al restringir la muestra. No obstante, la estimación sigue siendo alta. El RBC pasó de 55.4 a 29.7 (para la tasa de descuento de 3%), y la TIR disminuyó de 47.7% a 39.9%. Estos resultados sugieren que incluir la muestra completa cambia de manera relevante los resultados del ejercicio.

Tasa de descuento	$\lambda=0.60, \delta=0.90$
	Ratio Beneficio Costo
3%	29.71
5%	23.58
	TIR marginal
	39.9%

Cuadro 11: Ratio beneficio-costo y TIR marginal. Modelo con muestra completa y control por términos de intercambio.

10. Comentarios Finales

Las ganancias de productividad del sector agropecuario argentino en los últimos cincuenta años han sido considerables. Las estimaciones del índice de PTF presentadas en este trabajo muestran que pasó de un valor 100 en el año 1973 a 275 en el año 2016. Este importante crecimiento de la PTF es consecuencia de cambios en la tecnología, cambios en la eficiencia y en escala.

El primero de estos factores, el cambio tecnológico, es uno de los principales objetivos de la promoción de la investigación pública en ciencia y tecnología agropecuaria. Dado que el sector público en Argentina destina un presupuesto importante a estas actividades desde hace más de sesenta años a través de las acciones del INTA, resulta de interés cuantificar los impactos de la investigación y estimar los retornos económicos asociados. En este trabajo presentamos una estimación cuantitativa del impacto sobre la productividad agropecuaria de la investigación pública en ciencia y tecnología calculando tasas internas de retorno y ratios beneficio costo utilizando una metodología aplicada recientemente en otros países para casos similares (Alston et al. 2010).

Las estimaciones realizadas muestran una elasticidad de la TFP con respecto al stock de conocimiento público que varían en un rango entre 0.20 y 0.34 dependiendo de las especificaciones. Estos valores son similares a los reportados en trabajos previos que utilizan metodologías comparables. También consistente con la literatura previa se muestra que la inversión en investigación agrícola tiene tasas de retorno positivas y significativas. Las TIR estimadas varían entre el 6% y el 12% dependiendo de las tasas de descuento y especificaciones definidas. Asimismo, los ratios Beneficio-Costo estimados son relativamente elevados, entre 35 y 63, para los distintos escenarios definidos, implicando también un alto retorno asociado a las actividades de investigación.

Al menos en nuestro conocimiento, a pesar de la importancia del sector agropecuario y los importantes recursos públicos destinados a investigación agrícola, no existen trabajos que hayan realizado estimaciones Beneficio-Costo en esta área. Una de las limitaciones importantes para estos estudios es la falta de información adecuada. En este sentido, las bases de datos y especificaciones de los modelos utilizados en las estimaciones de este trabajo pueden mejorarse sustancialmente para tener estimaciones más confiables y precisas. Futuras investigaciones pueden profundizar estos aspectos y, en este sentido, la información presentada aquí pretende ser una contribución para la evaluación sistemática de las inversiones públicas en investigación agrícola.

Referencias

- Alston, J. M., & Pardey, P. G. (2001). Attribution and other problems in assessing the returns to agricultural R&D. *Agricultural economics*, 25(2-3), 141-152.
- Alston, J. M., Andersen M. A., James, J. S. & Pardey, P. G. (2010). *Persistence pays: U.S. agricultural productivity growth and the benefits from public R&D spending*. Springer.
- Alston, J. M., Andersen, M. A., James, J. S., & Pardey, P. G. (2011). The economic returns to US public agricultural research. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(5), 1257-1277.
- Alston, J. M., Bervejillo, J. E. & Tumber, K. P. (2012). The benefits from public agricultural research in Uruguay. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56(4), 475-497.
- Alston, J. M., Norton, G. W., & Pardey, P. G. (1995). *Science under scarcity. Principles and Practice for Agricultural Research Evaluation and Priority Setting*. CAB International. Wallingford, Oxon, UK.
- Bervejillo, J. E., Alston, J. M., & Tumber, K. P. (2012). The benefits from public agricultural research in Uruguay. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 56(4), 475-497.
- Chuldeighl, P., & Hardaker, T. (2017). Australian Agricultural Research: Institutional Changes, Performance and Measurement. Contributed presentation at the *61st AARES Annual Conference*, Brisbane, Australia, 7-10 February 2017
- Cirio, F. M., & Castronovo, A. J. (1993). *La investigación agrícola en la Argentina. Impactos y necesidades de inversión*. Actas del Simposio Internacional. University of Minnessota, INTA y IICA. Buenos Aires, Agosto, 1993.
- Dias Avila, A. F., & Evenson, R. E. (2010). Total factor productivity growth in agriculture: the role of technological capital. *Handbook of agricultural economics*, 4, 3769-3822.
- Enders, W. (1995). *Applied econometric time series*. John Wiley & Sons, Inc.
- Evenson, R. E. (2001). Economic impacts of agricultural research and extension. *Handbook of agricultural economics*, 1, 573-628.
- Ferreres, O. J. (2005). *Dos siglos de economía argentina (1810-2004): historia argentina en cifras*. Fundación Norte y Sur.
- FIEL (2001). El agro y el país: una estrategia para el futuro. *Documento de Trabajo No. 71*, Fundación de Investigaciones Económicas Latinoamericanas.
- Fuglie, K.O., and Heisey, P.W. (2007), 'Economic Returns to Public Agricultural Research', *ERS Economic Brief No. 10*. Washington DC: USDA.
- Gil, J. M. & Guesmi, B. (2017). Measuring the impact of agricultural research on Catalan Agricultural productivity. *XV EAAE Congress*, "Towards Sustainable Agri-food Systems: Balancing Between Markets and Society". Parma, Italia.
- Griliches, Z. (1957). Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change. *Econometrica, Journal of the Econometric Society*, 501-522.

- Griliches, Z. (1958). Research costs and social returns: Hybrid corn and related innovations. *Journal of political economy*, 66(5), 419-431.
- Harberger, A. C. (1971). Three basic postulates for applied welfare economics: An interpretive essay. *Journal of Economic literature*, 9(3), 785-797.
- Huffman, W. E. (2009). Measuring public agricultural research capital and its contribution to state agricultural productivity. *Working Paper No. 09002*, Iowa State University.
- Hurley, T. M., Pardey, P., Rao, X., & Andrade, R. S. (2016). *Returns to Food and Agricultural R&D Investments Worldwide, 1958-2015* (No. 249356). University of Minnesota, International Science and Technology Practice and Policy.
- INTA (2016). *60° aniversario. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 1956-2016*.
- Jin, Y., & Huffman, W. E. (2016). Measuring public agricultural research and extension and estimating their impacts on agricultural productivity: new insights from US evidence. *Agricultural economics*, 47(1), 15-31.
- Fuglie Keith, Sun Ling Wang and V. Eldon Ball (eds) (2012). "Productivity Growth in Agriculture: An International Perspective" CAB International, Wallingford (UK) and Cambridge, MA (USA).
- Khan, F. U. (2015). Productivity Growth and R&D Spending in Australian Broadacre Agriculture: Empirical Analyses by Using Alternative Approaches. *PhD thesis*, School of Economics and Finance, Curtin University.
- Lachaud, M. A., Bravo-Ureta, B. E., & Ludena, C. E. (2015). Agricultural productivity growth in Latin America and the Caribbean and other world regions: An analysis of climatic effects, convergence and catch-up. *IDB Working paper series N° IDB-WP-607*, Inter-American Development Bank.
- Lema, D. y Gatti, N. (2016). Estimación no Paramétrica de los Componentes del Cambio en la Productividad Agrícola de Argentina y Países Del Cono Sur 1961-2012. *LI Reunión Anual de la Asociación Argentina de Economía Política*. Tucumán, Argentina.
- Lema, Daniel (2015). "Crecimiento y Productividad Total de Factores en la Agricultura Argentina y Países del Cono Sur". Documentos de trabajo Banco Mundial, Buenos Aires, Argentina.
- Lema, D., Penna, J. A. & Rodríguez, E. (2000). Innovación tecnológica y sustitución de importaciones: La producción de semilla de papa en Argentina. *Documento de trabajo No. 11*, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Macagno, L., & Gómez Chao, V. (1992). Impacto de la Investigación en Trigo en la Argentina. Un análisis económico "ex-post". Capítulo 4.1 en *La investigación agrícola en la Argentina. Impactos y necesidades de inversión*, Cirio F.M. & Castronovo A. J. P. (editores), 1993.
- Mullen, J. (2013). Past Studies of the benefits of ACIAR research. A review
- Mundlak, Y., Cavallo, D., & Domenech, R. (1989). *Agriculture and economic growth in Argentina, 1913-84* (Vol. 76). Intl Food Policy Res Inst.

Nin-Pratt A., & Falconi, C. A. (2018). Agricultural R&D Investment, Knowledge Stocks and Productivity Growth in Latin America and the Caribbean. *International Food Policy Research Institute, IFPRI Discussion Paper 01730*, May 2018.

Pellegrini, P. A. (2014). Argentina: evolución del presupuesto y del personal del INTA (1958-2010). *Realidad Económica*, 285, 99-122.

Sturzenegger, A. C. (2015). Renta agrícola y macroeconomía, tecnología, precios externos y política comercial externa. *Serie de informes técnicos del Banco Mundial en Argentina, Paraguay y Uruguay*, No. 1, 2015.

USDA, Economic Research Service (2017), “Agricultural Productivity in the U.S. data series”.

Apéndice

Apéndice A

Stocks de conocimiento estimados para $\lambda = 0,65, 0,75, 0,85, 0,95$; $\delta = 0,75, 0,80, 0,85, 0,90$; y lag máximo supuesto de 15, 20 y 25 años.

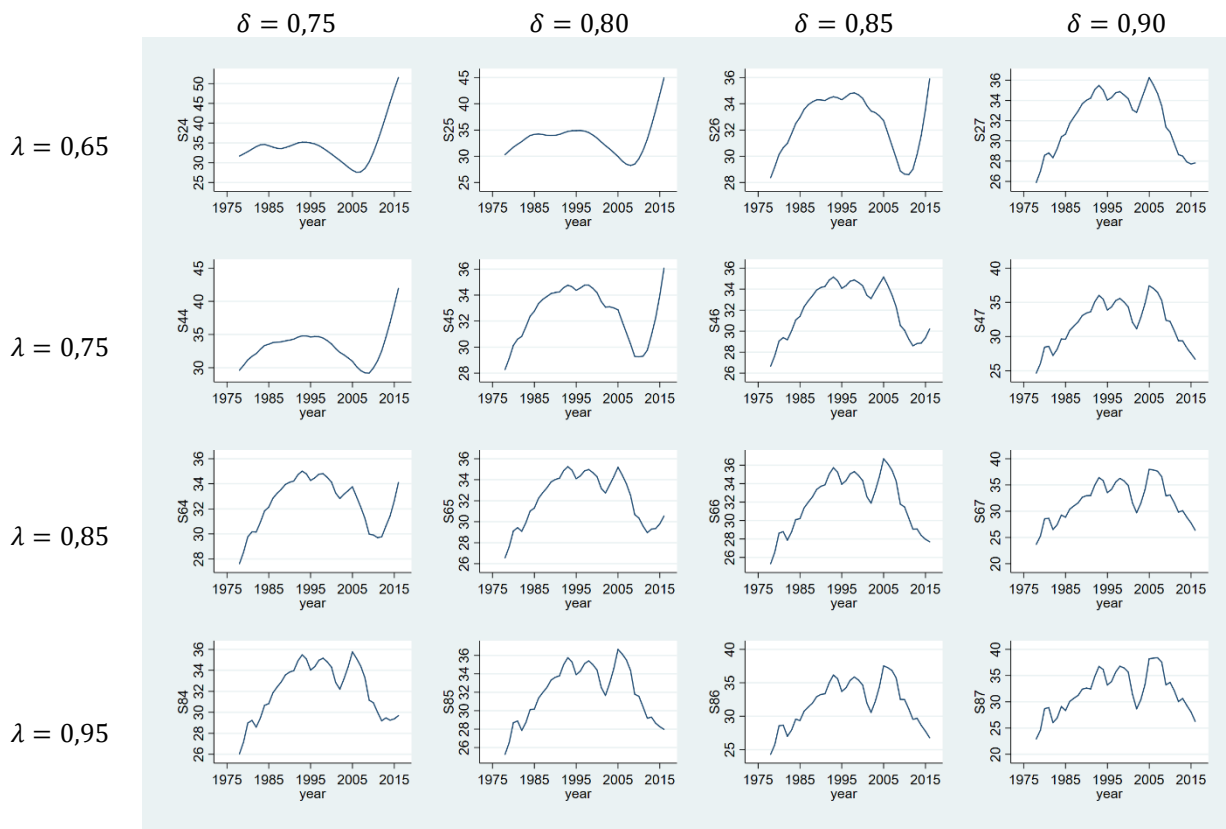


Figura A.1: Stocks de conocimiento público seleccionados. Lag máximo de 15 años.

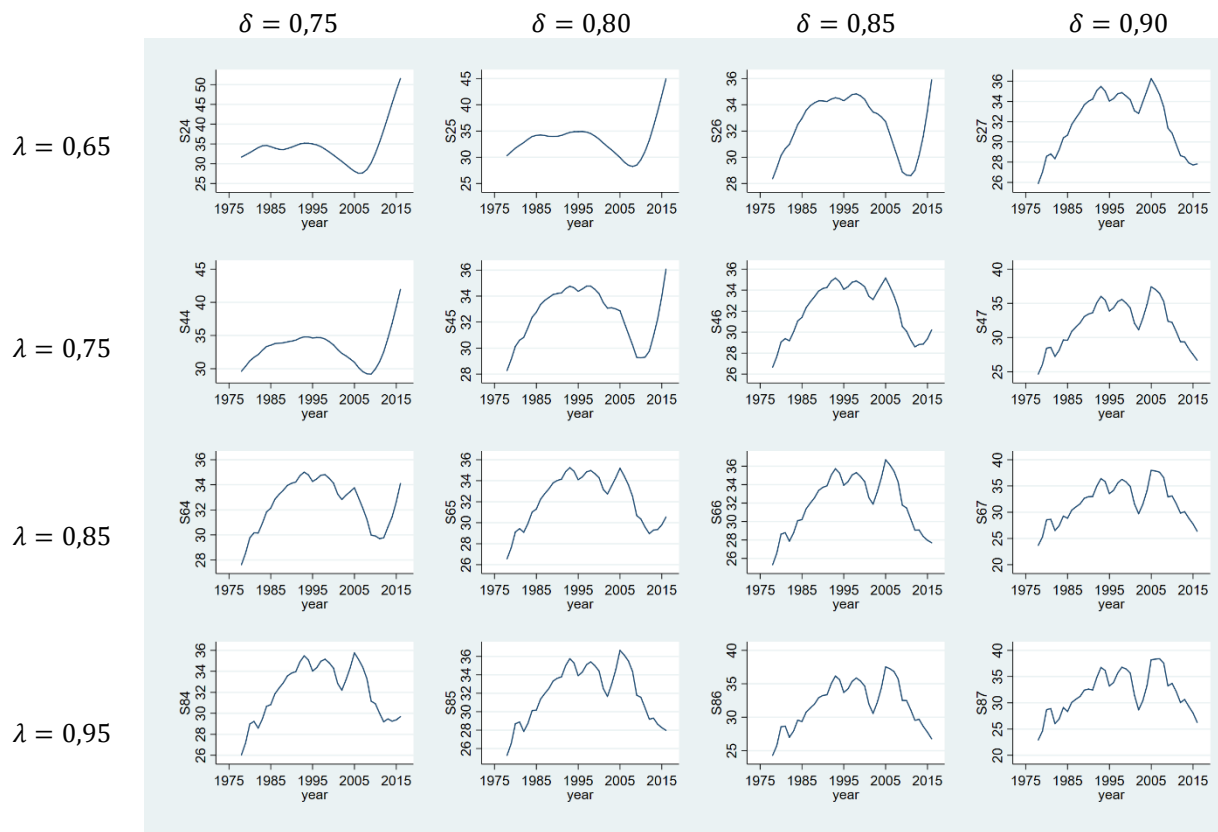


Figura A.2: Stocks de conocimiento público seleccionados. Lag máximo de 20 años.

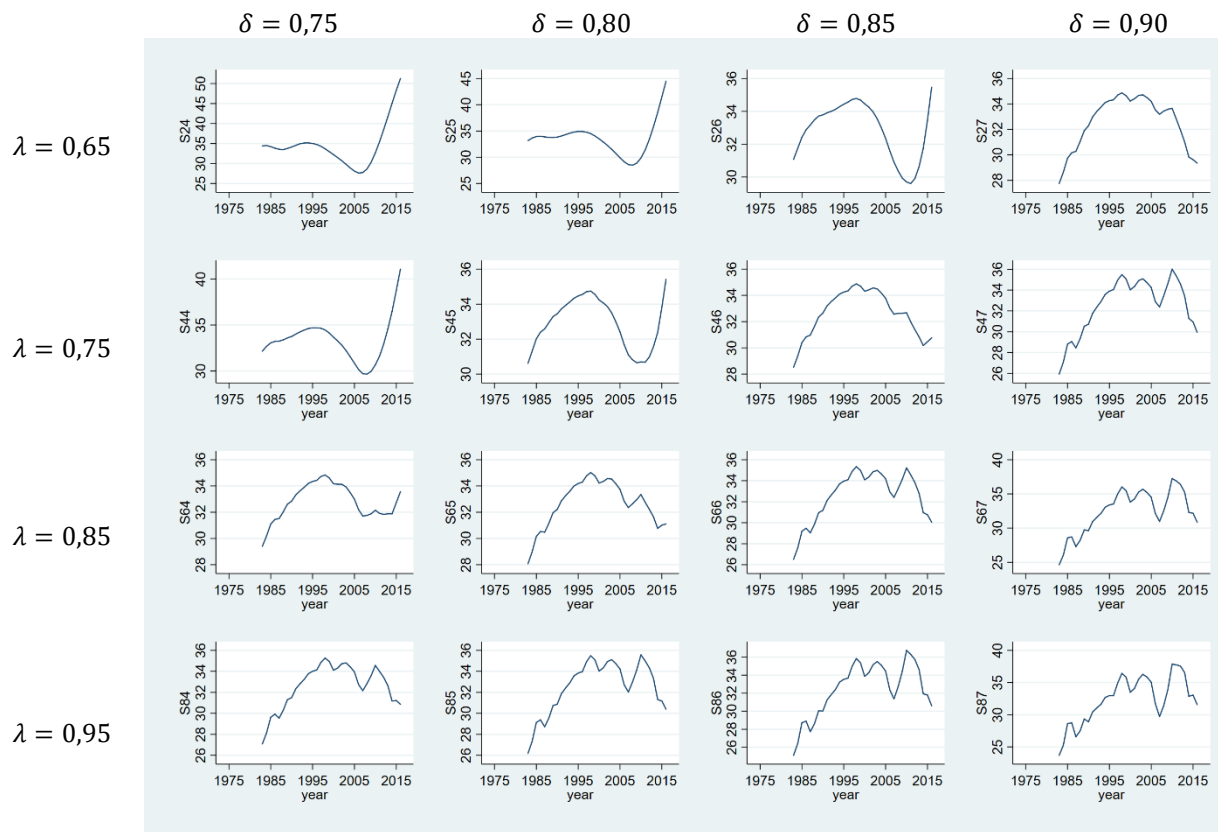


Figura A.3: Stocks de conocimiento público seleccionados. Lag máximo de 25 años.