

Investigaciones Económicas
Documentos de trabajo | 2019
N° 86



ie | BCRA
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Investigaciones Económicas

Documentos de trabajo | 2019

N° 86

*Crecimiento, Productividad y Cambio Tecnológico
en el Sector Agropecuario. Alguna Evidencia
para la Economía Argentina, 1985-2018*

Luis Lanteri
Banco Central de la República Argentina

Enero de 2019



ie | BCRA
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS

Documentos de trabajo, N° 86

***Crecimiento, Productividad y Cambio Tecnológico
en el Sector Agropecuario. Alguna Evidencia para la Economía Argentina, 1985-2018***

Luis Lanteri
Banco Central de la República Argentina

Octubre de 2019

Octubre de 2019
ISSN 1850-3977
Edición electrónica

Reconquista 266, C1003ABF
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Teléfono | 54 11 4348-3582
Correo electrónico | investig@bcra.gob.ar
Página web | www.bcra.gob.ar

Las opiniones vertidas en este trabajo son exclusiva responsabilidad de los autores y no reflejan necesariamente la posición del Banco Central de la República Argentina. La serie Documentos de trabajo está compuesta por material preliminar que se hace circular con el propósito de estimular el debate académico y recibir comentarios. Toda referencia que desee efectuarse a estos Documentos deberá contar con la autorización del o los autores.

RESUMEN NO TÉCNICO

Pregunta de investigación

La agricultura constituye un sector clave en la economía argentina. El sector agropecuario ha sido siempre el mayor aportante de divisas del país y lo continúa siendo en el presente. Aunque, el porcentaje de participación de las exportaciones, provenientes del agro y de la agroindustria (MOA), ha caído algo en años recientes, respecto de los valores históricos, la capacidad del sector agrícola y de su agroindustria, para generar divisas, sigue superando a la de cualquier otro sector de la economía. Debido a ello, conocer las tasas de crecimiento de la PTF (productividad total de los factores), del sector agropecuario, así como las relaciones de sustitución y sesgo tecnológico, correspondientes a los factores productivos, podría resultar de interés para el diseño de las políticas macroeconómicas, que involucren a la agricultura.

Contribución

En el trabajo, se calculan las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores (PTF), para el sector agropecuario argentino, de acuerdo con la teoría neoclásica del crecimiento (período 1985-2018). A su vez, se estima una función de costos translogarítmica, con cuatro factores de producción (tierra, capital, mano de obra y consumo de fertilizantes), a fin de computar las Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución entre los factores y el sesgo del cambio tecnológico, seguido en el sector, durante el mismo período. Este sistema de ecuaciones simultáneas es estimado a través del método SUR desarrollado por Zellner.

Resultados

Mientras que el producto agropecuario agregado (PIB Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura, a precios constantes) creció a una tasa anual promedio del 1,47 %, en el período 1985-2018, la productividad total de los factores habría mostrado una tasa de crecimiento negativa (-1,43 % anual), durante el mismo lapso. Para el sector agropecuario agregado, los incrementos en la productividad laboral se habrían alcanzado principalmente a partir de los cambios en la razón tierra/mano de obra (0,84 % anual), dado que la productividad por hectárea se contrajo a una tasa anual del 0,09 %. Por su parte, la función de costos translogarítmica, con cuatro factores de producción sugiere que el sesgo tecnológico habría sido ahorrador de mano de obra y de capital (maquinarias) e intensivo en el consumo de fertilizantes. Se concluye que, para expandir la producción agregada del sector agropecuario, y mejorar así los saldos exportables, debería profundizarse el uso de tecnologías, que permitan incrementar la productividad por hectárea, haciendo al sector agropecuario menos vulnerable, frente a las condiciones climáticas adversas, como las que afectaron la producción agrícola en la última década. En contraste, una estrategia de crecimiento, basada en la expansión del recurso tierra solo sería sostenible, en el mediano y largo plazo, si el país pudiera disponer en el futuro de una vasta superficie de tierras para deforestar, o de grandes extensiones de campos, dedicados a la ganadería, que puedan ser destinados, como producción alternativa, a la actividad agrícola.

Crecimiento, Productividad y Cambio Tecnológico en el Sector Agropecuario. Alguna Evidencia para la Economía Argentina, 1985-2018.

Luis N. Lanteri¹

Resumen

En este trabajo, se calculan las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores (PTF), correspondientes al sector agropecuario argentino, de acuerdo con la teoría neoclásica del crecimiento (período 1985-2018). A su vez, se estima una función de costos translogarítmica, con cuatro factores de producción (tierra, capital, mano de obra y consumo de fertilizantes), a fin de computar las Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución entre los factores y el sesgo del cambio tecnológico, seguido en el sector, durante el mismo período. Este sistema de ecuaciones simultáneas es estimado a través del método SUR desarrollado por Zellner. Los resultados encontrados no permiten ser tan concluyentes respecto de la validez de la teoría de la innovación inducida, para la agricultura argentina.

Palabras claves: sector agropecuario, productividad, función de costos translogarítmica, sesgo tecnológico, teoría de la innovación inducida.

Códigos JEL: C51, O47, Q10.

Summary

In this paper, we calculated the growth rates of total factor productivity (TFP), corresponding to the Argentine agricultural sector, according to the neoclassical theory of growth (period 1985-2018). In turn, we estimated a translogarithmic cost function, with four factors of production (land, capital, labor and fertilizer consumption), in order to compute the Allen-Uzawa partial elasticities of substitution between the factors and the bias of technological change followed in the sector, during the same period. This system of simultaneous equations is estimated through the SUR method developed by Zellner. The results found do not allow us to be so conclusive regarding the validity of the theory of induced innovation, for Argentine agriculture.

Keywords: agricultural sector, productivity, translogarithmic cost function, technological bias, theory of induced innovation.

¹ Las opiniones contenidas en el trabajo corresponden exclusivamente al autor y son de su entera responsabilidad.

Introducción

La agricultura constituye un sector clave en la economía argentina. El sector agropecuario ha sido siempre el mayor aportante de divisas del país y lo continúa siendo en el presente.

Históricamente, las exportaciones provenientes del agro y de la agroindustria (MOA) representaron alrededor del 70%/80% del total de exportaciones. Aunque este porcentaje ha caído algo en años recientes, (al 63.8%, en promedio, en 2016/2018), la capacidad del sector agrícola y de su agroindustria, para generar divisas, sigue superando a la de cualquier otro sector de la economía.

A pesar de ello, la importancia relativa de la agricultura en Argentina ha ido declinando con el correr del tiempo. Mientras que a comienzos de la década de los años cincuenta (1950/1954) el sector agropecuario generaba alrededor del 19% del PIB a precios constantes y empleaba algo más del 20% de la fuerza laboral, en 2016/2018 estos porcentajes declinaron a alrededor del 7%, tanto en lo que respecta a su contribución al producto, como en la participación del agro en el empleo de la economía.

En las últimas décadas, el sector agropecuario hizo esfuerzos para incrementar la producción y la productividad por hectárea. Ello se logró principalmente en el sector agrícola, a diferencia del ganadero, lo que se evidencia en las diferentes tasas de crecimiento de estos dos subsectores.

Así, entre los períodos 1985/1987 y 2016/2018, mientras que la producción de los principales granos (girasol, maíz, soja, sorgo y trigo) creció a una tasa promedio del 3.9% anual, el stock de ganado vacuno se mantuvo prácticamente constante.²

El incremento en la producción de granos podría atribuirse a varios factores, tales como la introducción de variedades mejoradas, el empleo de semillas transgénicas, la aplicación de mayores cantidades de fertilizantes, las prácticas del doble cultivo trigo-soja en una misma campaña agrícola (zona pampeana) y la de siembra directa, la difusión de tecnologías para el manejo de los cultivos y un mayor uso de agroquímicos.

A su vez, la difusión de los ‘pools de siembra’, permitió a algunos productores trabajar grandes extensiones de tierras (entre propias y arrendadas), alcanzar economías de escala y optimizar el

² En los últimos años, se han difundido los sistemas de ‘feedlots’, para el engorde del ganado vacuno, lo que permite acelerar la terminación de los animales, con destino al consumo interno, o a la exportación.

uso de los recursos, favoreciendo así los aumentos de producción y de productividad en la agricultura.

Sin embargo, los incrementos de producción también deberían asignarse a la incorporación de varios millones de hectáreas, en las provincias del norte del país, a partir del desmonte del bosque nativo y de la utilización de estas tierras para la producción agrícola y, en particular, para el cultivo de soja.

En líneas generales, la producción agrícola en Argentina proviene de dos grandes regiones, que difieren en sus características ecológicas: la pampa húmeda y el resto del país (esta última está constituida por agregado de diferentes áreas, especializadas en la producción de determinados ‘commodities’).

De la región pampeana (cubre alrededor de 56 millones de hectáreas, en el centro-este del país) proviene el grueso de las divisas que genera la economía. Más del 70% de los cereales y oleaginosas, y un porcentaje considerable de la ganadería se origina en esta región.

Las otras regiones agrícolas relevantes son: i- el noreste: especializado en cítricos, algodón, arroz, tabaco, te, soja y ganadería; ii- el noroeste: produce tabaco, azúcar, cítricos, soja, vegetales y ganadería; iii- cuyo: especializado en la producción de uvas y frutales y iv- la Patagonia: donde la producción de ganado ovino, y en menor medida los frutales, constituyen la principal actividad. Estas producciones se destinan, en un porcentaje apreciable, al consumo interno.

Dada la importancia que reviste el sector agropecuario en la economía argentina, podría resultar de interés conocer la evolución de la producción agregada del sector y las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores, en las últimas décadas (variable que, como sugieren Sotelsek et al., 2019, podría experimentar problemas de medición). Asimismo, sería relevante determinar el sesgo del cambio tecnológico seguido en la agricultura, así como las relaciones, de complementariedad, o sustitución, que se observan entre los principales factores, utilizados en el proceso productivo.

Las funciones de costos translogarítmicas, empleadas en este trabajo, no imponen a priori el supuesto de ‘separabilidad entre los factores’, supuesto que determina que las elasticidades parciales de sustitución presenten valores similares.³ Las funciones translogarítmicas permiten

³ En un contexto de varios factores de producción, las estimaciones a través de la forma funcional CES (constante elasticidad de sustitución) arrojarán elasticidades parciales de sustitución constantes, e iguales, lo que excluye la posibilidad de complementariedad entre cualquier par de factores, mientras que en la función Cobb-Douglas las elasticidades parciales de sustitución, entre todos los pares de factores, resultan iguales a la unidad.

mayores posibilidades, de forma que los factores, podrían ser, según el caso, complementarios, o sustitutos, en producción. El impacto de los cambios en el precio relativo de un determinado factor, sobre las remuneraciones y la distribución del ingreso de los restantes factores, podría diferir de acuerdo a las relaciones (de complementariedad, o sustitución), que se observen entre los mismos.

El resto del trabajo se desarrolla como sigue. En la sección uno, se presenta la metodología utilizada para la estimación de las tasas de crecimiento de la productividad, en el sector agropecuario argentino, y se muestran los resultados encontrados, para las últimas tres décadas. En la sección dos, se emplea una función de costos translogarítmica, a fin de determinar el grado de sustitución, entre los factores y el sesgo del cambio tecnológico adoptado en el sector. Por último, se comentan las principales conclusiones del trabajo.

1.Productividad total de los factores (PTF), en el sector agropecuario. Metodología empleada.

Para la estimación de las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores (PTF) suele emplearse una metodología basada en el concepto de la función de producción agregada (Solow, 1957).

A partir de la teoría neoclásica del crecimiento sería posible relacionar la producción generada en el sector agropecuario con los factores productivos (o insumos), utilizados en su elaboración, así como con la variable tiempo:

$$Y = F(A, K, L, F, T) \quad (1)$$

donde Y representa el producto agregado del sector agropecuario, A el factor tierra (superficie cultivada), K el acervo de capital en equipo durable de producción, L la mano de obra ocupada, F el consumo de fertilizantes y T el tiempo.

La tasa de crecimiento de la productividad total de los factores ($dPTF/dT \cdot 1/PTF$) se define como la tasa de crecimiento del producto con respecto al tiempo, manteniendo constantes los factores e insumos empleados en el proceso productivo:

$$dPTF/dT \cdot 1/PTF = \partial \ln Y / \partial T(A, K, L, F, T) \quad (2)$$

Para la estimación de la productividad, se emplea, un índice Divisia, denominado índice translogarítmico de la productividad total de los factores. En símbolos sería:

$$\begin{aligned}
(dPTF/dT*1/PTF)_{t-1,t} = & [\ln Y(t) - \ln Y(t-1)] - E_a[\ln A(t)-\ln A(t-1)] - E_k[\ln K(t)-\ln K(t-1)] - \\
& E_l[\ln L(t) - \ln L(t-1)] - E_f[\ln F(t) - \ln F(t-1)]
\end{aligned} \quad (3)$$

donde $(dPTF/dT*1/PTF)_{t-1,t}$ representa la tasa de crecimiento de la productividad total de los factores entre los períodos $t-1$ y t y E_a , E_k , E_l y E_f indican las elasticidades ‘promedio’ del producto con respecto al factor tierra, al acervo de capital en equipo durable, a la mano de obra ocupada y al insumo fertilizantes (siendo ε_i las respectivas elasticidades del producto respecto de los factores, o insumos), o sea:

$$E_a = 1/2 (\varepsilon_{at-1} + \varepsilon_{at}) \quad (4)$$

$$E_k = 1/2 (\varepsilon_{kt-1} + \varepsilon_{kt})$$

$$E_l = 1/2 (\varepsilon_{lt-1} + \varepsilon_{lt})$$

$$E_f = 1/2 (\varepsilon_{ft-1} + \varepsilon_{ft})$$

De acuerdo con Hu y Khan (1996), podrían emplearse los valores observados de las tasas de ponderación de los factores en el producto, como "proxy" de las elasticidades ‘promedio’ del producto respecto de los factores productivos. De esta forma:

$$dPTF/dT*1/PTF = (dY/dT*1/Y) - \sum_i (dX_i/dT*1/X_i)_{t-1,t} * [1/2*(S_{it-1}+S_{it})], \quad i=A,K,L,F \quad (5)$$

donde $(dY/dT*1/Y)$ representa las tasas de crecimiento del producto, $(dX_i/dT*1/X_i)$ las tasas de crecimiento del factor i ($i= A, K, L, F$) y S_i la ponderación del factor (o insumo) i en el producto, siendo S_i la participación del costo del factor (insumo) i en el costo variable total, o sea: $S_i = (P_i*X_i)/\sum_i (P_i*X_i)$.

Las tasas de crecimiento del producto corresponden a las tasas de crecimiento del PBI del sector agropecuario agregado, en moneda constante, las del factor tierra a la superficie cultivada de los principales granos, las del capital al stock de capital en equipo durable de producción, la de la mano de obra al personal ocupado en la agricultura y la de los insumos al consumo total de fertilizantes.

Las tasas de crecimiento de la productividad total de los factores estarían reflejando la diferencia entre las tasas de crecimiento del producto y la sumatoria de las contribuciones de los factores al

producto. Estas contribuciones resultan, a su vez, iguales a las tasas de crecimiento de cada factor por la participación del costo del factor en el costo variable total.⁴

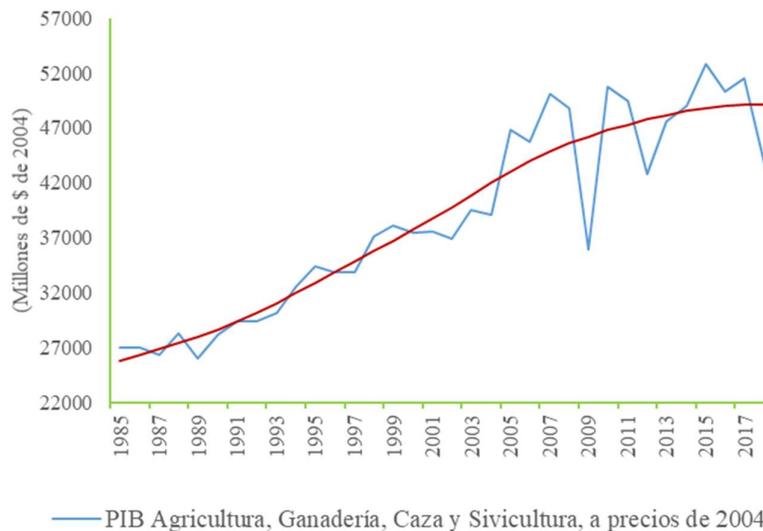
La estimación de la productividad total de los factores, realizada en este trabajo, no considera los cambios en la calidad de los factores productivos (por ejemplo, debidos a la educación de la mano de obra) y, por tanto, incorpora solamente el concepto "bruto" de la productividad.

2.1. Estimación de la PTF para el sector agropecuario argentino (1985-2018).

En Argentina, el producto agropecuario agregado (PIB Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura) creció al 1.47% anual, entre 1985 y 2018 (ver Gráfico 1).

En el mismo período, el factor tierra creció al 1.56% anual, el stock en equipo durable del sector al 2.20%, la mano de obra ocupada al 0.71% y el consumo de fertilizantes al 8.47% anual. El producto por trabajador creció a una tasa promedio más baja (0.76% anual) que el producto agregado, mientras que el producto por hectárea se redujo al 0.09% anual, entre 1985 y 2018.

Gráfico 1. PIB Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura y tendencia de largo plazo (filtro HP), 1985-2018.



⁴ Para Krugman (1994) 'la productividad no es todo, pero en el largo plazo es casi todo'.

Para la estimación de la productividad total de los factores (PTF), se emplea un índice Divisia y las participaciones de los factores (S_i), correspondientes a la expresión (5), siendo S_i el promedio del período base (t-1) y del período final (t). Entre 1985 y 2018, la PTF se redujo a una tasa del 1.43% anual (Tabla 1).

El comportamiento del producto agregado, durante el período considerado, podría separarse, a su vez, en dos grandes subperíodos: del año base (1985) hasta 2007 y de este último año hasta 2018.

Entre 1985 y el año 2007, la producción del sector creció al 2.85% anual, acompañada por la incorporación de tecnologías y por condiciones climáticas, que no generaron grandes disrupciones en la producción agregada.

Tabla 1. Producto agregado, productividades parciales y productividad total de los factores (PTF), en el sector agropecuario de Argentina. Tasas promedio anuales de crecimiento. En porcentajes.									
Período	Producto agregado Y	Factores productivos (insumos)				PTF	Productividades parciales		
		A	K	L	F		Y/L	Y/A	A/L
1985-2018	1.47	1.56	2.20	0.71	8.47	-1.43	0.76	-0.09	0.84
$S_i = (S_{t-1}+S_t)/2$		0.293	0.183	0.309	0.215				
1985-2018	1.47	1.56	2.20	0.71	8.47	-1.46	0.76	-0.09	0.84
$S_i = \sum S/n$, siendo n el número de períodos		0.265	0.192	0.336	0.208				
1985-2018	1.47	1.56	2.20	0.71	8.47	-0.21	0.76	-0.09	0.84
Ponderaciones: Lema (2009)		0.330	0.310	0.330	0.030				
1985-2007	2.85	1.27	1.53	1.72	12.21	-1.17	1.11	1.56	-0.44
$S_i = (S_{t-1}+S_t)/2$		0.264	0.184	0.319	0.233				
2007-2018	-1.23	2.14	3.55	-1.29	1.35	-2.74	0.05	-3.30	3.46
$S_i = (S_{t-1}+S_t)/2$		0.346	0.116	0.145	0.393				

Fuente: elaboración propia (ver Anexo I, para las fuentes de las series empleadas). Notación: Y: PIB Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura; A factor tierra; K stock de equipo durable en la agricultura; L mano de obra ocupada; F consumo de fertilizantes; PTF productividad total de los factores; Y/L productividad laboral; Y/A productividad por hectárea; A/L ratio tierra - mano de obra ocupada. Para las ponderaciones, se emplea la siguiente notación: 1- $S_i = (S_{t-1}+S_t)/2$, las ponderaciones corresponden al promedio del año base (t-1) y del período final (t). 2- Las ponderaciones representan el promedio de todos los períodos: $S_i = \sum S/n$, donde n representa al número de períodos. 3- Las ponderaciones corresponden a las empleadas en el trabajo de Lema (2009). Datos anuales.

A partir del pico de producción registrado en 2007, se observa una retracción en la producción agropecuaria, debido a problemas de producción y a las condiciones climáticas adversas (sequías), que tuvieron lugar en los años 2009, 2012 y 2018, y que redujeron drásticamente los rendimientos

promedios por hectárea. Estos factores negativos influyeron para que el producto agregado se contrajera al 1.23% anual entre 2007 y 2018.

Debido al mayor crecimiento que experimentó la producción, entre 1985 y 2007, y a la menor expansión en alguno de los factores (tierra, capital), la PTF se contrae menos en este primer subperíodo, en comparación con 2007-2018 (-1.17% anual, frente a -2.74% anual).

En particular, se destaca la caída en la productividad por hectárea (Y/A), durante el subperíodo 2007-2018 (-3.30% anual), debido al mayor empleo del factor tierra y a la retracción observada en la producción agregada.

Para completar, se realizan dos ejercicios adicionales. En primer lugar, se considera que las ponderaciones representan el promedio de todos los períodos, o sea $S_i = \Sigma S/n$, donde n es el número de períodos. A su vez, se consideran las ponderaciones, utilizadas en el trabajo de Lema (2009).

En ambos casos, la PTF del sector agropecuario agregado también se contrae (-1.46% y -0.21% anual, respectivamente), aunque en el segundo caso la tasa negativa resulta ser más moderada.⁵

Algunos autores, como Trindade et al. (2015), también se han interrogado sobre el probable retraimiento de la productividad en el agro sudamericano, en los últimos años.

Cabe agregar que, entre 1985-2017 (año este último no afectado por la sequía), el producto agregado creció al 2.04% anual y la PTF se contrajo al 0.57% anual (el factor tierra lo hizo al 1.50% anual, tasa cercana a la del período 1985-2018).

2. Teoría de la innovación inducida y medición del sesgo del cambio tecnológico con varios factores de producción.

La teoría de la innovación inducida, planteada por Hayami y Ruttan (1985), establece que las economías podrían impulsar determinados cambios tecnológicos, a partir de las señales de precios observadas en los mercados. Ello permitiría aliviar las restricciones al crecimiento, originadas en la escasez de algunos factores productivos.

⁵ Sobre los temas de crecimiento, productividad y tecnología en el sector agropecuario, pueden consultarse los trabajos de: Ballesteros (1958), Dias Avila y Evenson (2010), Elías (1985), Kuroda (1987), Lachaud et al. (2015), Lema (2015), Ludena (2010), Mundlak (2005), Nin-Pratt et al. (2015), Reca y Verstraeten (1977), Ruttan (2002), Sturzenegger (2015), Thirtle (1982) y Trindade et al. (2015), entre otros.

Para esta teoría, los cambios en los precios relativos de los factores (incrementos en el precio de un factor relativo a otros) inducirían ciertos cambios tecnológicos, tendientes a facilitar la sustitución de los factores escasos, por los factores más abundantes.

Los casos más paradigmáticos serían los de los Estados Unidos y de Japón, ocurridos en décadas pasadas.

En Japón, país donde la tierra resulta el factor más escaso y la mano de obra el más abundante, se desarrollaron tecnologías biológicas (semillas) ahorradoras del factor tierra, las que, junto con el consumo de fertilizantes, permitieron alcanzar significativas mejoras en la productividad por hectárea.

En los Estados Unidos, economía con mayor abundancia del factor tierra y escasez relativa de mano de obra, se difundieron las tecnologías mecánicas (maquinarias), que permitieron ahorrar mano de obra e incrementar la superficie cultivada por trabajador (Olmstead y Rhode, 1993).⁶

En el modelo de Hayami y Ruttan se supone que el cambio tecnológico es neutral y que el sesgo tecnológico es causado básicamente por los cambios en los precios relativos de los factores de producción.

2.1. Funciones de costos translogarítmicas.

A fin de explicar el cambio tecnológico adoptado en el sector agropecuario argentino, así como las relaciones observadas entre los factores, en las últimas tres décadas, se emplea una función de costos translogarítmica, con cuatro factores de producción (tierra, capital, mano de obra y fertilizantes). La función de costos es estimada para el período 1985-2018.⁷

Esta metodología intenta separar los cambios observados en la participación de los factores, en dos componentes: uno que mide la sustitución de los factores a lo largo de la isocuantas y otro

⁶ Los cambios en el producto por trabajador (Y/L, productividad laboral) podrían descomponerse en cambios del producto por hectárea (Y/A, productividad de la tierra) y en cambios en la superficie cultivada por trabajador (A/L), de forma que: $Y/L = Y/A * A/L$. En los Estados Unidos la superficie cultivada por trabajador se incrementó más rápidamente que en Japón, mientras que en el país asiático fueron los cambios en el producto por hectárea (productividad de la tierra) los más relevantes.

⁷ La ‘dualidad’ entre la función de costos y la función de transformación (función de producción) determina que ambas funciones contengan similar información sobre la estructura de producción. Las condiciones de regularidad, sobre las funciones de costos, implican que éstas sean: i- linealmente homogéneas en todos los precios de los factores para cada producto, ii- positivas y monótonicamente crecientes en los precios de los factores y iii- cóncavas en los precios de los factores (Burgess, 1975; Irmen et al., 2017).

que permite determinar los cambios no neutrales en la isocuanta (es decir, el sesgo del cambio tecnológico).

Sea la siguiente función de costos:

$$C = F (P_1, P_2, \dots, P_n, Y, T) \quad (6)$$

donde:

C: función de costos a minimizar

P_i : precios de los n factores de producción

Y: producto agregado

T: índice de cambio tecnológico

En la expresión (6), las variables de precios identifican el efecto sustitución entre los factores, mientras que el índice de cambio tecnológico capturaría, tanto el sesgo tecnológico inducido por precios, como el sesgo tecnológico no inducido.

El sesgo del cambio tecnológico (a una tasa exógena constante) podría ser introducido en la función de costos translogarítmica:

$$\ln C = \ln V_o + V_y \ln Y + V_t \ln T + \sum_i V_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j V_{ij} \ln P_i \ln P_j \quad (7)$$

Diferenciando la función de costos, se obtiene la función de participación de los factores:

$$\partial \ln C / \partial \ln P_i = S_i = V_i + \sum_j V_{ij} \ln P_j + V_{it} \ln T; \quad (i = 1, \dots, n) \quad (8)$$

donde V_{it} representa la tasa (exógena y constante) de cambio tecnológico, correspondiente al sesgo del factor i. El cambio tecnológico sería intensivo en el empleo del factor i, neutral o ahorrador del factor i, dependiendo de que el signo del coeficiente V_{it} resulte positivo, cero o negativo, respectivamente.

En el trabajo, se emplea un sistema de ecuaciones simultáneas, correspondiente a una función de participación de los factores en el costo, similar a la indicada en la expresión (9), con sus respectivas restricciones (datos anuales), sistema que es estimado a partir del método SUR desarrollado por Zellner (1962):

$$S_i = V_i + \sum_j V_{ij} \ln P_{jt} + V_{it} \ln T + \mu_t \quad (9)$$

con las siguientes restricciones:

$$V_{ij} = V_{ji}, \quad \forall i, j; \quad i \neq j \quad (\text{restricción de simetría})$$

$$\sum_i V_{ij} = 0, \quad \sum_j V_{ij} = 0 \quad \forall i, j \quad (\text{restricción de homogeneidad})$$

$$\sum_i V_{it} = 0$$

$$\sum_i V_i = 1$$

donde:

$i, j = 1, \dots, 4$ son los índices correspondientes a los factores de producción ($i, j = A, K, L, F$)

$t = 1, \dots, 34$ indica los períodos de tiempo

S_i = participación en el costo del factor i , $S_i = (P_i * X_i) / C$

C : costo total. $C = \sum_i (P_i * X_i)$; ($i = A, K, L, F$)

P_i : precio del factor i /índice de precios de los productos agropecuarios

X_i : cantidad del factor i

El algoritmo de Zellner itera hasta que la matriz de covarianzas de los residuos converge a una matriz identidad, obteniendo así una estimación que resulta asintóticamente equivalente a la estimación 'Full Information Maximum Likelihood'. De esta forma, la estimación sería invariante con respecto a la elección de las ecuaciones omitidas en el modelo estimado (una de las ecuaciones de participación de los factores en el costo se omite en la estimación, ya que no sería linealmente independiente).⁸ El método SUR, que sería consistente y más eficiente que Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), supone que los términos de error estarían correlacionados a través de las ecuaciones del modelo.

Tal como se mencionó anteriormente, la participación del costo del factor i , en el costo de producción (S_i), surge de dividir el costo de cada factor ($P_i * X_i$) por el costo total C . El costo total se define como la suma de los costos individuales de los cuatro factores considerados. En este

⁸ La función translogarítmica estimada incluye tres de las ecuaciones de participación de los factores en el costo total (S_i, S_r, S_a), y las variables de precios y de tendencia expresadas en logaritmos.

caso, las S_i representan el promedio de las participaciones de los factores en el costo, correspondiente al período estimado (1985-2018), o sea $S_i = \Sigma S/n$, donde n indica el número de períodos.

Los coeficientes obtenidos V_{ij} , a partir de la estimación de la función translogarítmica, podrían ser transformados en estimaciones puntuales de las Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución (σ_{ij}) y en las elasticidades de demanda de los factores (η_{ji}), empleando las expresiones desarrolladas originalmente por Binswanger y Ruttan (1978):

$$\sigma_{ij} = [V_{ij} / (S_i * S_j)] + 1, \quad \forall i, j, i \neq j \quad (10)$$

$$\sigma_{ii} = (1 / S_i^2) * (V_{ii} + S_i^2 - S_i), \quad \forall i$$

$$\eta_{ji} = (V_{ii} / S_i) + S_i - 1, \quad \forall i$$

Se considera que una elasticidad de sustitución positiva entre dos factores ($\sigma_{ij} > 0$) corresponde a sustitutos en producción, mientras que una elasticidad negativa ($\sigma_{ij} < 0$) hace referencia a factores complementarios.

Los errores estándar de los coeficientes (SE), indicados entre paréntesis debajo de cada elasticidad, en la Tabla 2, son estimados a partir de las siguientes expresiones (las elasticidades sin el error estándar surgen de las restricciones de homogeneidad lineal):

$$SE(\eta_{ji}) = SE(V_{ii}) / S_i \quad (11)$$

$$SE(\sigma_{ij}) = SE(V_{ij}) / (S_i * S_j)$$

2.2. Elasticidades de sustitución y sesgo del cambio tecnológico en el sector agropecuario argentino. Resultados encontrados para el período 1985-2018.

Los coeficientes estimados (V_{ij}), a través de la función de costos translogarítmica, resultan significativos al nivel del 5% en todos los casos, mientras que los coeficientes de las variables de tendencia son significativos en dos de las tres ecuaciones estimadas (el coeficiente correspondiente a S_a no resulta significativo al 5%).

Los coeficientes V_{ij} , podrían ser mejor interpretados a partir de las elasticidades precio-propio y de las Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución entre los factores, tal como se muestran en la Tabla 2. Los valores de las elasticidades son computados empleando las participaciones promedio del costo de los factores en el costo total (S_i), para el período 1985-2018 (el comportamiento de las S_i , puede verse en el Gráfico2, en el Anexo II).

En el caso de la agricultura argentina, los valores de las elasticidades de demanda presentan el signo negativo correcto, salvo para los fertilizantes, mientras que la demanda del factor tierra sería la más inelástica.

Tabla 2. Elasticidades precio-propio y Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución entre los factores, correspondientes al sector agropecuario argentino. Período 1985-2018.					
		Factor			
		L	F	A	K
Elasticidades precio-propio		-0.172	0.133	-0.108	-3.535
		(0.0520)	(0.0959)	(0.0569)	
Factor					
Allen-Uzawa elasticidades parciales de sustitución entre los factores	L	-0.513	-0.210	0.037	1.079
		(0.1549)	(0.1991)	(0.1242)	
	F		0.639	-0.013	-0.302
			(0.4609)	(0.2648)	
	A			-0.409	0.519
				(0.2146)	
	K				-18.411
Fuente: estimación propia. Notación: L: mano de obra ocupada en el sector; F: consumo de fertilizantes; A: superficie cultivada; K: stock de equipo durable de producción (maquinarias). Error estándar entre paréntesis. Las elasticidades sin el error estándar surgen de las condiciones de homogeneidad lineal. Las elasticidades parciales de sustitución positivas corresponden a factores sustitutos y las negativas a complementarios. En todos los casos, las participaciones de los factores en el costo corresponden al promedio del período 1985-2018 ($S_i = \sum S/n$, donde n indica el número de períodos). Datos anuales.					

Las elasticidades de sustitución deberían ser positivas para factores sustitutos y negativas para los complementarios. De acuerdo con los resultados, la mano de obra y los bienes durables de producción (capital), la mano de obra y la tierra y la tierra y los bienes de capital serían sustitutos, mientras que en los restantes pares de factores: mano de obra y fertilizantes, fertilizantes y tierra y fertilizantes y capital se observarían relaciones de complementariedad.

De esta forma, se verificaría la sustitución entre la mano de obra y el stock en equipo durable de producción (maquinarias), tal como observaron Hayami y Ruttan, en décadas pasadas, para los Estados Unidos, pero no entre fertilizantes y el factor tierra (caso de Japón).⁹

La relación de sustitución entre la mano de obra y el capital (maquinarias) es un tema que ha preocupado a los economistas desde que David Ricardo escribiera el capítulo 'On Machinery' en la tercera edición de sus 'Principios'. Sobre el particular, Aghion y Howitt (1991) sostienen que, si prevalecieran las relaciones de complementariedad, entre estos dos pares de factores, la incorporación de más capital reduciría el desempleo (al aumentar el empleo), mientras que si

⁹ La tecnología que permite una expansión de la superficie cultivada por trabajador, asociada con el empleo de maquinarias, implicaría también una relación de complementariedad entre tierra y maquinarias, que no se da en estos resultados (tierra y capital aparecen como factores sustitutos).

prevalecieran relaciones de sustitución entre ellos dominaría lo que estos autores denominan ‘destrucción creativa’.

El cambio tecnológico, seguido durante el período 1985-2018, habría sido ahorrador de mano de obra, ahorrador de bienes de capital (maquinarias) e intensivo en el empleo de fertilizantes (en el caso del factor tierra, el coeficiente respectivo no resulta significativo al 5%).

Respecto de la relación entre el sesgo del cambio tecnológico y la teoría de la innovación inducida no se puede ser del todo concluyente. Si bien el sesgo tecnológico ahorrador de mano de obra y ahorrador de bienes de capital, podría estar asociado, especialmente en el primer caso, a la tendencia creciente en los precios relativos de estos factores, en particular a partir del año 2003 (2003-2015, en el caso de los salarios), no resulta tan explicable el sesgo en favor del empleo más intensivo de fertilizantes, dado que sus precios relativos mostraron también un comportamiento creciente, durante la mayor parte del período analizado (ver Gráfico 3, en Anexo III).

3. Conclusiones.

En este trabajo, se tratan de estimar los cambios en la productividad total de los factores, en el sector agropecuario argentino, así como el sesgo del cambio tecnológico seguido en este sector, en las últimas tres décadas (1985-2018).

Mientras que el producto agropecuario agregado (PIB Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura, a precios constantes) creció a una tasa anual promedio del 1.47% en dicho período, la productividad total de los factores habría mostrado una tasa de crecimiento negativa (-1.43% anual), durante el mismo lapso.

De acuerdo con la identidad de la productividad laboral ($Y/L = A/L * Y/A$), una mayor productividad laboral (Y/L) podría ser alcanzada, incrementando la razón entre la tierra y la mano de obra (A/L), a través de mejoras en la productividad por hectárea (Y/A), o por ambas cosas a la vez.

Para el sector agropecuario agregado, los incrementos en la productividad laboral se habrían alcanzado principalmente a partir de los cambios en la razón tierra/mano de obra (0.84% anual), dado que la productividad por hectárea se contrajo a una tasa anual del 0.09%, durante el período 1985-2018 (en dicho período, la tasa de crecimiento del factor tierra, 1.56% anual, fue más alta

que la de la mano de obra ocupada en el sector, 0.71% anual).¹⁰ El empleo del factor tierra se habría intensificado durante el subperíodo 2007-2018 (ver, Gráfico 4, en Anexo IV).

Por su parte, la función de costos translogarítmica, con cuatro factores de producción (tierra, capital, mano de obra y fertilizantes), estimada para el período 1985-2018, sugiere que el sesgo tecnológico habría sido ahorrador de mano de obra y de capital (maquinarias) e intensivo en el consumo de fertilizantes (el coeficiente de la variable de tendencia para el factor tierra presenta signo negativo, pero no es significativo al 5%).

Si bien la elasticidad de sustitución positiva, encontrada para los bienes durables de producción (capital, maquinarias) y la mano de obra, sería compatible con la teoría de la innovación inducida (no así la complementariedad entre los fertilizantes y el factor tierra), los resultados relacionados con el sesgo del cambio tecnológico no permiten ser tan concluyentes, sobre la validez de esta teoría para el sector agropecuario argentino (el cambio tecnológico habría sido ahorrador de mano de obra y, a su vez, de capital, y, por otro lado, intensivo en el consumo de fertilizantes, pero no significativamente ahorrador del factor tierra).

Para expandir la producción agregada del sector agropecuario, y mejorar así los saldos exportables, debería profundizarse el uso de tecnologías, que permitan incrementar la productividad por hectárea, haciendo al sector agropecuario menos vulnerable, frente a las condiciones climáticas adversas, como las que afectaron la producción agrícola en la última década.

En contraste, una estrategia de crecimiento, basada en la expansión del recurso tierra solo sería sostenible, en el mediano y largo plazo, si el país pudiera disponer en el futuro de una vasta superficie de tierras para deforestar, o de grandes extensiones de campos, dedicados a la ganadería, que puedan ser destinados, como producción alternativa, a la actividad agrícola.

¹⁰ La expresión de la productividad laboral, estimada por mínimos cuadrados, para 1985-2018, muestra los siguientes resultados: $\ln Y/L = 0.62 * \ln A/L + 0.38 * \ln Y/A$; ($R^2 = 0.80$, error estándar entre paréntesis).
(0.040) (0.039)

Ambos coeficientes resultan significativos al 5%, mientras que el coeficiente de A/L sería mayor que el correspondiente a Y/A (ln indica el logaritmo natural).

Referencias

Aghion, P. y Howitt, P. (1991). "Unemployment. A Symptom of Stagnation or a Side-effect of Growth?". *European Economic Review*. (35). 535-541.

Ballesteros, M. (1958). "Argentine Agriculture, 1908-1954: a Study in Growth and Decline". Ph.D diss. University of Chicago.

Binswanger, H. y Ruttan, V. (1978). "Induced Innovation, Technology, Institutions and Development". The Johns Hopkins University Press.

Burgess, D. (1975). "Duality Theory and Pitfalls in the Specification on Technologies". *Journal of Econometrics*. (3). 105-121.

Dias Avila, F. y Evenson, R. (2010). "Total Factor Productivity Growth in Agriculture: The Role of Technological Capital". Capítulo 72, *Handbook of Agricultural Economics*. (4). 3769-3822. Elsevier. North Holland, Amsterdam.

Elías, V. (1985). "Government Expenditures on Agriculture and Agricultural Growth in Latin America". IFPRI. Research Report n° 50.

Hayami, Y. y Ruttan, V. (1985). "Agricultural Development: an International Perspective". Johns Hopkins University Press.

Hu, Z. y Khan, M. (1996). "Why is China Growing so Fast?". IMF Working Papers Serie. WP n° 96/75.

Irmen, A. y Maussner, A. (2017). "A Note on the Characterization of the Neoclassical Production Function". *Macroeconomic Dynamics*. (21). 1827-35.

Krugman, P. (1994). "The Age of Diminished Expectations" (edición revisada y actualizada). The MIT Press.

Kuroda, Y. (1987). "The Production Structure and Demand for Labor in Post-war Japanese Agriculture, 1952-82". *American Journal of Agricultural Economics*. (69). 328-337.

Lachaud, M., Bravo-Ureta, B. y Ludena, C. (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, WP n° 607.

Lema, D. (2009). “Factores de crecimiento y productividad agrícola en la Argentina, entre 1968 y 2008”. INTA-UCEMA.

Lema, D. (2015). “Crecimiento y productividad total de los factores en la agricultura argentina y países del cono sur”. Grupo del Banco Mundial.

Ludena, C. (2010). “Agricultural Productivity Growth, Efficiency Change and Technical Progress in Latin America and the Caribbean”. IDB Working Paper Series, WP n° 186.

Mundlak, Y. (2005). “Economic Growth: Lessons from Two Centuries of American Agriculture”. Journal of Economic Literature. (XLIII). 989-1024.

Nin-Pratt, A., Falconi C., Ludena C. y Martel P. (2015). “Productivity and the Performance of Agriculture in Latin America and the Caribbean: From the Lost Decade to the Commodity Boom”. IDB Working Paper Series, WP n° 608.

Olmstead, A. y Rhode, P. (1993). “Induced Innovation in American Agriculture: a Reconsideration”. Journal of Political Economy. (101). 100-118.

Reca, L y Verstraeten, J. (1977). “La formación del producto agropecuario argentino. Antecedentes y posibilidades”. Desarrollo Económico. (17). 371-389.

Ricardo, D. (1821). “On the Principles of Political Economy and Taxation”. Londres. John Murray. Tercera versión.

Ruttan, V. (2002). “Productivity Growth in World Agriculture: Sources and Constraints”. Journal of Economic Perspectives. (16). 161-184.

Solow, R. (1957). “Technical Change and the Aggregate Production Function”. Review of Economics and Statistics. (39). 312-320.

Sotelsek-Salem, D. y Laborda Castillo, L. (2019). “Desarrollo y productividad agrícola en América Latina. El problema de medición”. Universidad de Alcalá. España.

Sturzenegger, A. (2015). “Renta Agrícola y macroeconomía, tecnología, precios externos y política comercial externa argentina, 2000-2015”. Grupo del Banco Mundial.

Thirtle, C. (1982). “Induced Innovation in the United States Field Crops, 1939-78”. Ph.D. diss. Columbia University.

Trindade, F. y Fulginiti, L. (2015). “Is there a Slowdown in Agricultural Productivity Growth in South America?”. *Agricultural Economics*. (46). 69-81.

Zellner, A. (1962). “An Efficient Method of Estimating Seemingly Unrelated Regression Equations and Tests for Aggregation Bias”. *Journal of the American Statistical Association*. (57). 348–368.

Anexo I. Datos empleados en las estimaciones.

Índice de producción agregada (Y): representa el PIB del sector Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura, a precios de 2004. Los datos anteriores a esa fecha se obtienen a partir de información de las Cuentas Nacionales correspondientes a las bases a precios de 1993 y 1986, respectivamente. Fuente: INDEC.

Área cultivada (A): comprende la superficie sembrada (primer año de la campaña agrícola) de los principales granos (algodón, alpiste, avena, cebada cervecera, cebada forrajera, centeno, girasol, lino, maíz, maní, mijo, poroto seco, soja, sorgo, trigo y trigo candeal), en hectáreas. Fuente: Secretaria de Agroindustria.

En Argentina, es usual la práctica del doble cultivo trigo-soja en una misma campaña agrícola, particularmente en la zona pampeana. Debido a ello, y a efectos de no computar dos veces la misma superficie agrícola, se deducen 4 millones de hectáreas, en cada período, del total cultivado en el país, a partir de la campaña 2005/06 (ver, sobre el particular, la estimación de Lema, 2009). En las campañas anteriores, donde la práctica del doble cultivo no estaba tan difundida, se deducen 2 millones de has por campaña a partir de 1989/90 y 3 millones de has a partir de la campaña 1998/99.¹¹

Stock de capital en equipo durable de producción (K): corresponde a la participación del PIB de Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura en el PIB total, a precios constantes, multiplicada por el stock de equipo durable de producción correspondiente al total de la economía. El stock de equipo durable surge de un stock inicial en el año 1980, de la inversión anual en equipo durable a precios constantes y de aplicar una tasa de amortización del 9.75% anual (equivaldría a una vida útil promedio para estos bienes de alrededor de diez años). Para la obtención del stock de capital, se empleó un sistema de amortización lineal y la expresión del inventario perpetuo: $S_t = S_{t-1} + I_t - \delta * S_{t-1}$, donde S_t es el acervo de capital del período, I_t la inversión a precios constantes y δ la tasa de amortización. La inversión a precios constantes proviene de las bases de las Cuentas Nacionales, a precios de 2004, 1993 y 1986. Fuente: elaborado sobre la base de datos del INDEC.

Mano de obra ocupada en el sector (L): representa la participación del PIB de Agricultura, Ganadería, Caza y Silvicultura en el PIB total, a precios constantes, multiplicada por las personas ocupadas en la economía (esta última proviene de la población económicamente activa y de la

¹¹ Para la campaña 2018/2019, se estima que la superficie sembrada sería 3.5% superior a la de la campaña anterior, de acuerdo con la información disponible a mediados de 2019.

tasa de empleo, la cual considera tanto a los desocupados, como a los sub ocupados). Fuente: estimación a partir de datos del INDEC.

Consumo de fertilizantes (F): indica el consumo de nitrógeno, fósforo y potasio, para el total del país, en miles de toneladas. Fuente: Fertilizar.

Precio del factor tierra (PrA): corresponde a los precios de la hectárea en dólares, para la zona núcleo del país, multiplicados por el tipo de cambio promedio del período.

Precio de equipo durable de producción (PrK): se emplean los precios implícitos de la inversión, a partir de los datos de las Cuentas Nacionales, correspondientes a las bases a precios de 2004, 1993 y 1986, como 'proxy' de los precios estos bienes. Fuente: INDEC.

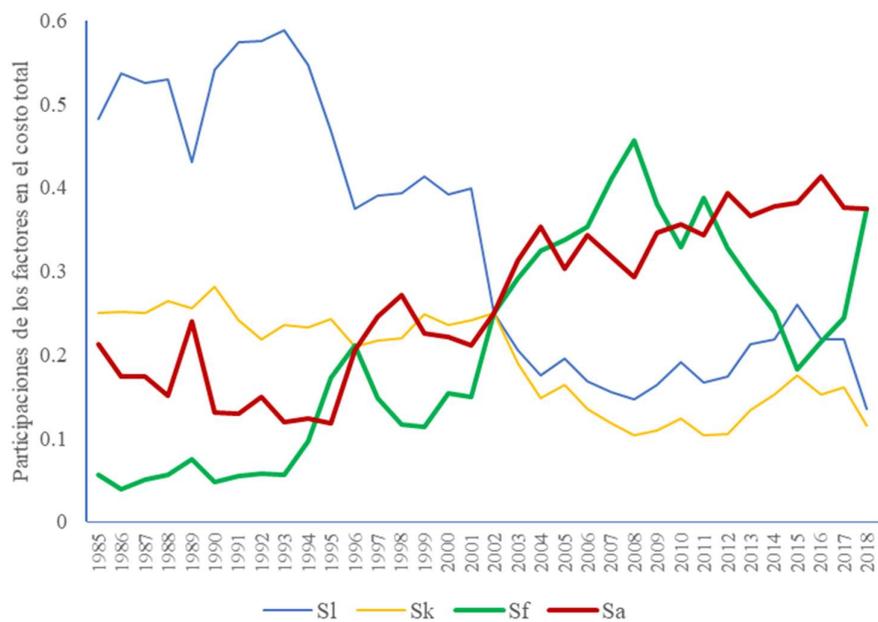
Precio del factor trabajo (PrL): representa el índice de los salarios no registrados de la economía. Fuente: INDEC.

Precio de los fertilizantes (PrF): indican los precios internacionales de estos insumos, considerando una ponderación del 50% para los nitrogenados (urea), 30% para fósforo y 20% para potasio, multiplicados por el tipo de cambio promedio del período (el 63% de los fertilizantes, en el período 2016/2018, fueron de origen importado). Fuente: elaborado con datos de las Estadísticas Financieras Internacionales del FMI.

Deflactor: los precios de los insumos y de los factores de producción fueron deflactados por el índice de precios al por mayor agropecuario (INDEC).

Periodicidad de las series: los datos empleados en las estimaciones son de periodicidad anual. Todas las series fueron normalizadas, llevándolas a índices con base 2002 = 100, a efectos de realizar las estimaciones.

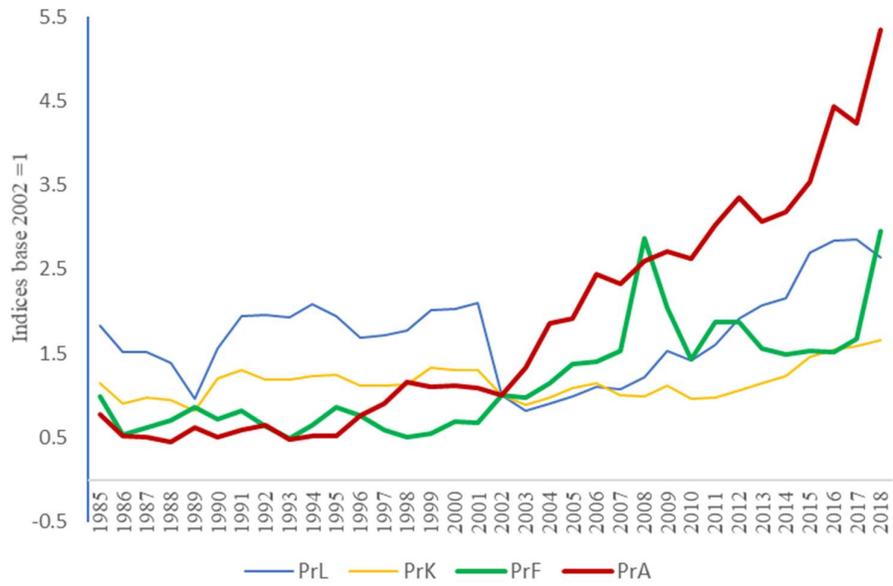
Anexo II. Gráfico 2. Evolución de la participación del costo de los factores en el costo variable total.



Fuente: estimación propia (ver en Anexo I las fuentes de los datos).

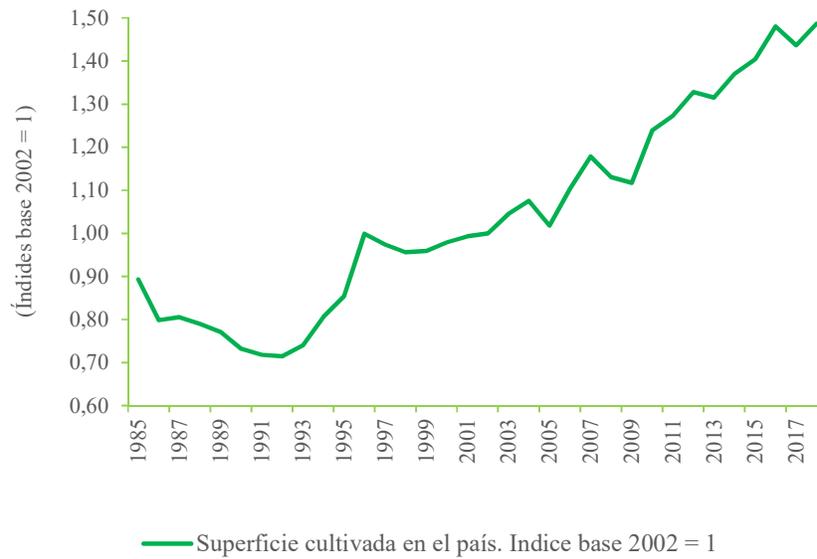
Notación: S_l: participación de la mano de obra; S_k: participación en bienes de equipo durable; S_f: participación en consumo de fertilizantes y S_a: participación del factor tierra.

Anexo III. Gráfico 3. Precios relativos de los factores productivos (precio factor/precio productos agropecuarios. Índices base 2002 = 1.



Fuente: ver en Anexo I las fuentes de los datos.

Anexo IV. Gráfico 4. Superficie sembrada en el país de los principales granos (neto del área dedicada al doble cultivo trigo-soja), 1985-2018.



Fuente: elaborado a partir de datos de la Secretaría de Agroindustria.

Reconquista 266, C1003ABF
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina
Phone | 54 11 4348-3582
E-mail | investig@bcra.gob.ar
Web | www.bcra.gob.ar



ie | BCRA
INVESTIGACIONES ECONÓMICAS