

LA MECANIZACIÓN DEL AGRO EN URUGUAY 1908-2010, APLICACIÓN DE UN MODELO LOGÍSTICO PARA MEDIR SU TRAYECTORIA

PABLO CASTRO SCAVONE^{***}

Resumen

El principal objetivo de este artículo es estudiar el proceso de difusión del tractor en Uruguay, atendiendo a su expresión regional. Para ello, se propone construir un indicador de la mecanización agraria de los 19 departamentos de Uruguay en el largo plazo (1908-2010). A partir de la caracterización del parque de tractores y su evolución, se aplica un modelo logístico para determinar la dinámica de adopción y difusión de esta tecnología. La introducción del tractor constituyó un hito en el proceso de mecanización y evidenció una dinámica que presenta particularidades asociadas a la naturaleza y evolución del cambio tecnológico. En primer lugar, la introducción del tractor en el agro uruguayo respondió a un proceso de lenta adopción –y sustitución de otras técnicas– que constituyó una primera etapa de aprendizaje, difundiendo luego con rapidez en el entramado productivo aprovechando las ventajas en términos de eficiencia y reducción de costos. Finalmente, el proceso alcanzó un período de saturación que coincide con el surgimiento de nuevas técnicas de producción que, progresivamente, sustituyen a la entonces imperante. En segundo lugar, se constata que la dinámica tecnológica tiene una expresión regional, que en el caso de la mecanización muestra una mayor fortaleza en las regiones que hacen uso intensivo del factor tierra y que, en general, se asocian con la actividad agrícola. Se trata de un proceso que recoge el carácter localizado y dependiente del pasado de la innovación tecnológica y el cambio técnico.

Palabras clave: agricultura, mecanización, modelo logístico, difusión tecnológica, Uruguay.
Códigos JEL: N5, N7, N9 y R53

Abstract

The aim of this paper is to study the process of diffusion of the tractor in Uruguay, tracking its regional variation. For this purpose, it presents an indicator of the mechanization of agriculture in the 19 *departamentos* (or provinces) of Uruguay in the long term (1908-2010). From a characterization of the number of tractors in use and the evolution of this indicator, a logistic model is applied to determine the dynamics of adoption and diffusion of this technology. The introduction of the tractor constituted a milestone in the process of mechanization. It was a dynamic process that presents features associated with the nature and evolution of technological change. First, the introduction of the tractor in Uruguayan agriculture responded to a process of slow adoption and substitution of other techniques. This was the first stage of learning, that then spread quickly in agriculture farms, which received advantages in terms of efficiency and reduction of costs. Finally, the process reached a period of saturation that coincides with the emergence of new production techniques which, gradually, replaced those already in use. Secondly, it is noted that technological dynamics had regional variations, showing a greater strength in the regions that make intensive use of the land factor and that, in general, are associated with crop production. It is a process that depends on local characteristics and on past technological innovation and technical change.

Keywords: agriculture, mechanization, logistic model, technological diffusion, Uruguay.
JEL codes: N5, N7, N9 and R53

* Reconocimientos: este trabajo incorpora algunos de los resultados de mi tesis de maestría en Historia Económica. Agradezco a mi tutor, Henry Willebald, por seguir de cerca mi trabajo en esta etapa. También agradezco los valiosos comentarios de mis colegas del Instituto de Economía que, desde sus distintos saberes y experiencias, hicieron valiosos aportes al presente trabajo, en especial a Miguel Carriquiry, Adrián Rodríguez-Miranda y Carlos Bianchi. Finalmente, agradezco a Ismael Núñez por brindarme herramientas del análisis matemático que fueron de gran ayuda en esta investigación.

** Instituto de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República, Uruguay,
pablo.castro@iecon.ccee.edu.uy

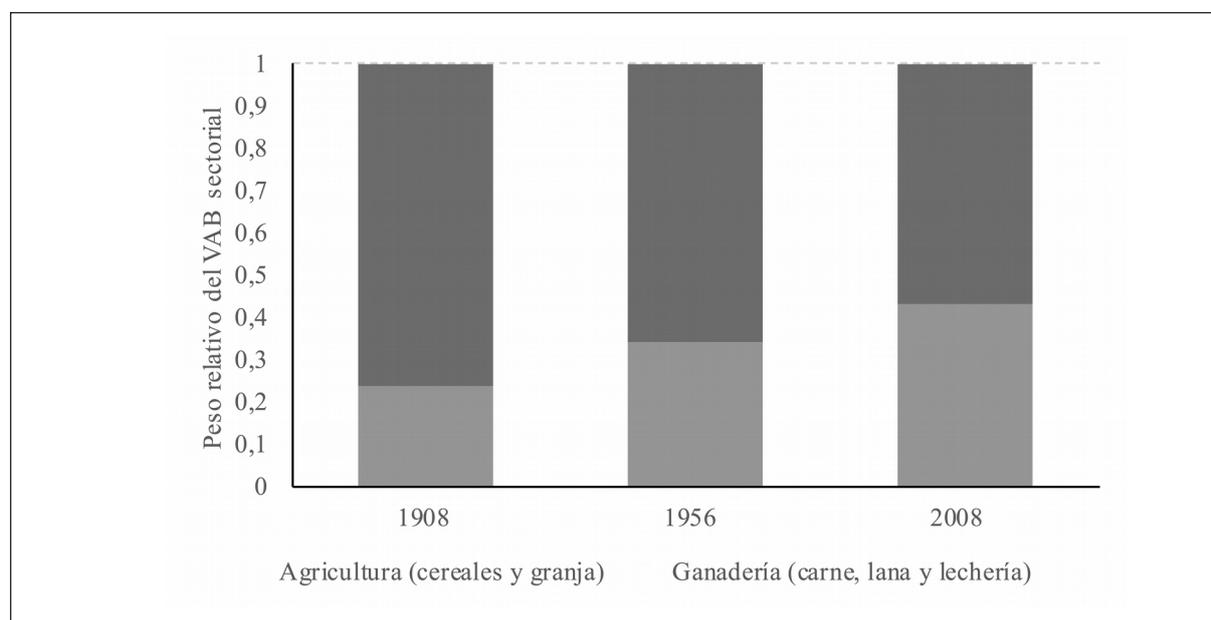
1. INTRODUCCIÓN

El sector agropecuario ha ocupado un lugar destacado en la estructura productiva de Uruguay desde su constitución como nación independiente y, aunque su importancia ha sido decreciente –en la generación de valor y la demanda de empleo– en relación con otros sectores, su permanente contribución exportadora y su articulación con el sector industrial y de servicios continúan siendo dos pilares del desempeño productivo nacional. Por otro lado, si bien el principal rubro productivo del sector agropecuario ha sido, históricamente, la ganadería, trabajos recientes han cuestionado el papel dominante y homogeneizador del latifundio ganadero y han destacado la importancia que tuvo la diversificación de la producción –ganadería, agricultura, agroindustrias– en la transformación del agro uruguayo (Beretta, 2011).

La creciente importancia que adquirió la agricultura desde fines del siglo XIX quedó de manifiesto en la expansión del área de cultivos. A principios de la década de 1890 se cultivaron 280 mil hectáreas de tierra, cifra que se triplicó a comienzos del siglo XX –en el censo de 1908 se reportaron 836 mil hectáreas cultivadas– y hacia 1913 se alcanzó casi el millón de hectáreas. Registros en torno al millón de hectáreas dedicadas a la agricultura han tendido a mantenerse durante el siglo XX, lo que representa aproximadamente el 50% de la superficie con capacidad de ser arable anualmente (Castro Scavone y Willebald, 2016).¹

En este contexto, la relativa estabilidad del área dedicada a la agricultura a lo largo del siglo XX contrasta con el aumento relativo del Valor Agregado Bruto (VAB) agrícola durante este período. En cien años –desde 1908 hasta 2008– el VAB agrícola se incrementó en 20 puntos porcentuales (ver Gráfico 1). Este incremento de la agricultura –conjuntamente con el crecimiento de la lechería y de la granja animal– dan cuenta de un cambio relevante en la estructura productiva del sector agropecuario durante el siglo XX (Castro Scavone, 2017).

GRÁFICO 1
Valor Agregado Bruto en el sector agropecuario uruguayo, 1908-2008

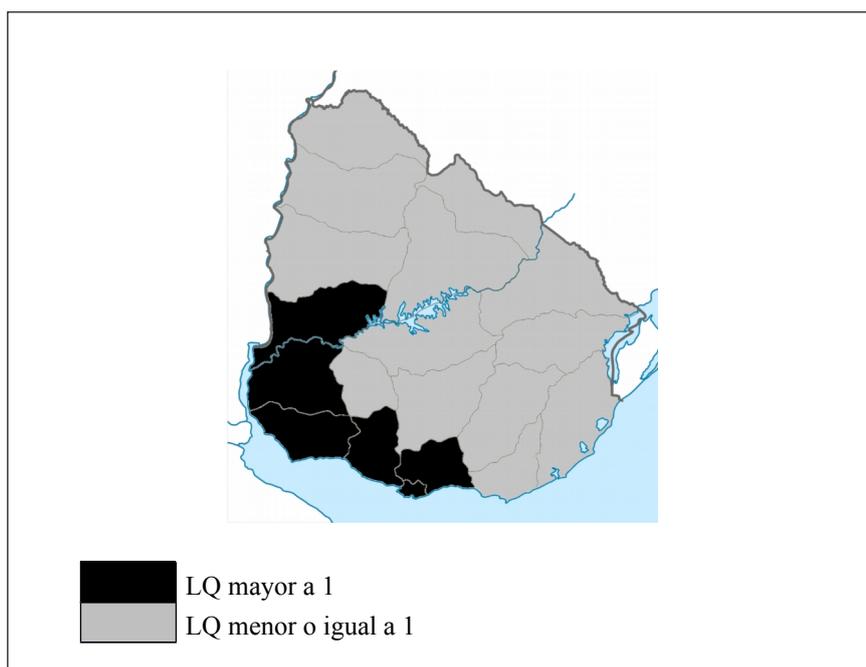


Fuente: elaboración propia en base a estimaciones previas presentadas en Castro Scavone (2017)

Por otra parte, la expansión de la agricultura tuvo su expresión regional en Uruguay. El cálculo de un indicador de la localización de la producción (LQ por sus siglas en inglés) para el promedio del período permite confirmar que la región sur y litoral de Uruguay ha configurado, históricamente, la zona agrícola del país (ver Figura 1).² A su vez, los departamentos que conforman esta región –Montevideo, Canelones, San José, Colonia, Soriano y Río Negro– se han caracterizado por presentar un mayor grado de diversificación de rubros, con una creciente participación de actividades intensivas en sus estructuras productivas (Castro Scavone, 2017).

En los últimos años –a partir de algunos trabajos que se han ocupado de estimar cuentas regionales de Uruguay en el largo plazo– se ha revitalizado el estudio de las disparidades regionales, atendiendo a todos los sectores de la economía (Martínez Galarraga et. al, 2016; Castro Scavone y Willebald, 2017a) y, específicamente, al sector agropecuario (Araújo et. al, 2015; Castro Scavone; 2017; Castro Scavone y Willebald, 2017b). Uno de los resultados destacados encontrados fue que la agricultura –y otras actividades intensivas como la granja y la lechería– se correlacionan positivamente con mayores niveles de concentración del ingreso agropecuario regional, y sus causas responden a factores geográficos de distinta naturaleza: calidad de la tierra, el tamaño de los establecimientos, el potencial de mercado (acceso y tamaño de los mercados regionales) y la tecnología (Castro Scavone y Willebald, 2017b).

FIGURA 1
Localización de la producción agrícola en los departamentos de Uruguay
(Promedio 1908-2008)



Fuente: elaboración propia en base a estimaciones previas presentadas en Castro Scavone (2017)

El estudio del proceso de mecanización en el agro uruguayo en el largo plazo que aquí se propone responde a estas inquietudes. Una de las hipótesis centrales del trabajo es que la agricultura ha sido históricamente la portadora de la mecanización de las actividades en el medio rural y que la difusión del tractor –principal representante de la mecanización– respondió a un proceso de prueba, experimentación y aprendizaje, que se inició en las zonas agrícolas y luego se difundió al resto del país.

La mecanización es un factor capaz de inducir mejoras de productividad, y su efecto puede darse por varias vías. Por un lado, permite aumentar la producción por hectárea de tierra, dado por mejoras en la preparación de la tierra para el cultivo –irrigación y nivelación de tierra son algunos ejemplos–, la aplicación de herbicidas y fertilizantes y la cosecha, entre otros factores. Por otro lado, el incremento de productividad provocado por la mecanización se manifiesta si se la evalúa en relación al trabajo.

Si bien el tractor es el elemento de mayor importancia en la mecanización, la incidencia que cabe atribuirle a la difusión del tractor y a su efecto sobre la productividad agrícola –que resulta de la sustitución de los métodos basados en la tracción animal por la motorización– está mediado por el uso de las herramientas mecánicas necesarias para cortar, arar, cosechar, etc. Es decir, el impacto de la motorización está, en gran medida, influenciado por el desarrollo previo de los implementos agrícolas transportados por mecanismos de tracción a sangre.

El uso del tractor como sustituto de los mecanismos de tracción a sangre permitió realizar con mayor eficiencia tareas agrícolas como arrastrar implementos y máquinas, dar movimiento a otras máquinas, accionar mecanismos de trabajo y cargar implementos de montaje, entre otras funciones. Reciente-

mente, el tractor y otras maquinarias modernas han cobrado renovada importancia en la agricultura de precisión basado en el uso de las tecnologías de información y comunicación (TIC) –GPS, sistemas de recopilación y análisis de información en tiempo real, etc.– lo que ha permitido mejorar la performance en el manejo de la variabilidad asociada a factores naturales –topografía, tipos de suelo, clima, etc.– y a la que es inducida en el proceso de trabajo –manejo de la fertilidad, rotación de cultivos, etc.– (Errea et al., 2011).

Las tendencias históricas en Uruguay señalan que la introducción del tractor sustituyó paulatinamente a la tracción a sangre. En 1937 existían 293.501 bueyes, lo que representaba la principal fuente de potencia en el agro uruguayo. Hacia fines de la década de 1980 la importancia de la tracción animal había prácticamente desaparecido –en 1986 la cantidad de bueyes era 27.000– (MGAP, 1987). El efecto en la productividad causado por la mecanización tuvo su correlato en los menores requerimientos de mano de obra. Es probable que sean múltiples los factores que explican el continuo despoblamiento de la campaña durante el siglo XX, pero sin dudas que la tecnología del tractor fue uno de ellos (Piñeiro, 2001). En el período que se analiza (1908-2010) el proceso de mecanización fue acompañado por un crecimiento del número de establecimientos y una disminución de la concentración de la propiedad de la tierra hasta mediados del siglo XX, pero luego, el incremento de inversión, que permitió profundizar el proceso de tractorización, se dio a la vez que la propiedad de la tierra tendió a concentrarse y se registró una reducción del número de establecimientos (MGAP, 1987).

La principal contribución de esta investigación es identificar el patrón de difusión de la tecnología del tractor de Uruguay en el largo plazo (1908-2010), atendiendo a su expresión regional.³ Interesa preguntarse ¿puede identificarse un patrón común en la difusión del tractor en los departamentos de Uruguay a lo largo del período de análisis (1908-2010)? ¿la dimensión y el ritmo que adquirió la difusión de la tecnología del tractor entre departamentos permiten identificar liderazgos y permanencias en determinadas zonas del país en el proceso de mecanización agrícola durante el siglo XX? Para responder estas preguntas se propone seguir los siguientes pasos. En primer lugar, se presenta un marco conceptual útil para analizar el proceso de adopción y difusión tecnológica, desde una perspectiva espacial y de largo plazo (Sección 2). En segundo lugar, se realiza un análisis descriptivo de la evolución del parque de tractores de Uruguay en el período 1908-2010, destacando la importancia de la agricultura, principal portadora de la mecanización (Sección 3). En tercer lugar, se aplica una metodología –novedosa para el caso de la mecanización agraria en Uruguay– basada en la estimación de funciones logísticas, que permite ajustar los datos reales referidos a la potencia total del parque de tractores de los 19 departamentos de Uruguay (Sección 4). Por último, se presentan los principales resultados de la investigación (Sección 5) y las conclusiones finales.

2. MARCO CONCEPTUAL: ADOPCIÓN Y DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA EN LAS ACTIVIDADES AGRARIAS

La perspectiva evolucionista y neoshumpeteriana del cambio técnico y la innovación brinda un marco conceptual que permite atender la naturaleza compleja del cambio técnico y el estudio de su evolución a lo largo del tiempo, destacando su carácter tácito, acumulativo y dependiente del pasado. Si bien los autores evolucionistas se han ocupado, en mayor medida, del sector industrial, es posible utilizar algunas de sus ideas centrales en el análisis del sector agropecuario.

Pavitt (1984) distingue cuatro tipos de sectores que permiten ubicar a las industrias en un determinado esquema técnico productivo: *supplier dominated*, *scale intensive*, *specialized suppliers* y *science based*. El sector *supplier dominated* –dominado por los proveedores– permite clasificar a las industrias tradicionales y, en buena medida, puede adaptarse al sector agropecuario.

En los sectores *supplier dominated* las fuentes de cambio técnico suelen ubicarse fuera del sector, como es el caso de las industrias productoras de insumos y bienes de capital, que proveen buena parte de las innovaciones que se incorporan en el sector agropecuario, o bien, de las instituciones de investigación y extensión en el ámbito estatal que juegan un rol destacado en la generación de conocimiento, en particular, en las mejoras que se dan a nivel del manejo en las actividades agrarias.

Por lo tanto, la generación y uso de las innovaciones en el sector agropecuario resulta de la relación entre las industrias ubicadas “hacia atrás” del sector, las instituciones públicas de investigación y el

propio sector agropecuario. En este marco, la reducción del precio relativo de los insumos y bienes de capital en relación a los productos agropecuarios será un estímulo para la incorporación de medios de producción portadores de “lo nuevo” y, a la vez, su difusión un estímulo para la generación de innovaciones en las industrias proveedoras. Por otra parte, las instituciones públicas de generación y difusión tecnológicas juegan un papel relevante en el sector agropecuario, muchas veces son las encargadas de “acercar” al productor o viabilizar el uso práctico de “paquetes tecnológicos” que requieren para su adopción un aprendizaje previo, en ocasiones inexistente. La importancia de la investigación y el extensionismo en las actividades agrarias adquiere especial relevancia si se tienen en cuenta las condiciones específicas de esta actividad, en particular, el marcado carácter tácito del uso de la técnica agrícola, en un medio que no puede ser industrializado por completo, sino que está sujeto a las condiciones naturales dadas por el clima, las características del suelo, los ciclos biológicos, etc. (Possas et al., 1996).

Aunque las fuentes principales de cambio técnico están fuera del sector agropecuario, no debe pensarse que la adopción de las nuevas técnicas resulta en un proceso automático, “la incorporación de nuevos medios de producción y/o de nuevas formas de hacer las cosas por la unidad agropecuaria implica un proceso de cambio técnico propiamente dicho en la unidad agropecuaria, proceso que puede ser más o menos complejo, pero que implica aprendizaje y modificaciones de la organización de la producción y, muchas veces del propio producto, y que necesariamente debe procesarse en el interior de la unidad de producción agropecuaria” (Scarlatto y Rubio, 1994, p. 174).

Las características que fueron señaladas del sector agropecuario –y en general en los sectores *supplier dominated*– otorgan un marcado protagonismo al mecanismo de aprendizaje (*learning by doing, learning by using*) en el proceso de difusión de las innovaciones. Indudablemente, desde esta perspectiva, el nivel tecnológico previo en las unidades productivas y el ritmo de aprendizaje y adopción de las nuevas técnicas será un determinante del ritmo de difusión del cambio técnico (Scarlatto y Rubio, 1994).

La difusión de la tecnología como campo específico de estudio en la economía ha sido objeto de una gran cantidad de investigaciones basada en diversos enfoques y variadas metodologías. Los pioneros trabajos realizados por Mansfield (1961) y Rogers (1962) han destacado que la difusión de la tecnología no se produce de manera instantánea en la estructura económica y social. Asimismo, la innovación y la difusión no son procesos que puedan ser separados en compartimentos estancos, sino que se integran y refuerzan recíprocamente (Rosenberg, 1976; Metcalfe, 1981). A su vez, la difusión de la tecnología responde, en gran medida, a un proceso de imitación y se puede argumentar que se trata de un proceso discontinuo, caracterizado por períodos de aceleración y desaceleración de la difusión.

La información y la reducción de incertidumbre resultan factores claves en las primeras etapas de la difusión de una tecnología, en las cuales los individuos interactúan y aprenden –sobre la base de la experimentación– una nueva forma de hacer las cosas. Al principio el aprendizaje está sujeto a una gran cantidad de errores y adaptaciones hasta que, lentamente, se alcanza la capacidad de aprendizaje. En un sistema social la difusión juega un papel central, en el que cada individuo –o adoptante– acepta o rechaza la innovación, en definitiva, la aceptación de una nueva idea es el resultado de la interacción humana (Rogers, 2003/1962). A su vez, los productores con menor aversión al riesgo son los primeros en adoptar una tecnología y, por lo tanto, la introducción de lo nuevo en el proceso productivo se difunde lentamente. Posteriormente, una vez que la información circula con mayor rapidez, la difusión se acelera y aumenta la cantidad de adoptantes. Finalmente, la difusión se enlentece hasta que, paulatinamente, los beneficios de la tecnología se agotan y se alcanza su madurez.

Desde este enfoque, la difusión de la tecnología puede ser modelada a través de una distribución normal que si se evalúa en términos acumulados adopta la forma de una “S”, capaz de ser representada por una función logística respecto al tiempo (Jarvis, 1981). La comunicación de las nuevas ideas –en particular, nuevas formas de hacer las cosas– entre individuos que forman parte de un entorno específico es lo esencial del proceso de difusión de la tecnología. Los individuos aprenden sobre la base de una trayectoria previa y en interacción permanente con sus pares en ese entorno. La adopción de la tecnología es un proceso dinámico que resulta de la experimentación en el uso de las nuevas técnicas y es la sucesiva adopción el proceso dinámico que explica la difusión de la tecnología. Algunos estudios empíricos han realizado propuestas novedosas, como es el caso de Griliches (1957), quien identificó la forma de “S” en el patrón de difusión del maíz híbrido y la maquinaria agrícola de Estados Unidos en el período (1933-1958) y Jarvis (1981) que analizó el patrón de difusión en la mejora de pasturas para el caso de Uruguay.

Los modelos de difusión basados en funciones matemáticas son herramientas analíticas útiles para conocer la penetración de la tecnología en el mercado potencial a lo largo del tiempo, el origen y el grado de saturación o nivel máximo de adopción. En términos generales, la forma funcional de los modelos de difusión puede ser planteada según la ecuación 1.

$$\frac{dN(t)}{dt} = g(t)[M - N(t)] \quad (1)$$

Con $N(t=t_0) = N_0$

Donde:

$$N(t) = \int_{t_0}^t n(t)dt \quad (2)$$

Tal que,

$\frac{dN(t)}{dt}$: Tasa de difusión en el tiempo t

$n(t)$: número no acumulativo de adoptantes en el tiempo t

$N(t)$: adopción acumulada en el tiempo t

M : número total de potenciales adoptantes en el tiempo

$g(t)$: coeficiente de difusión que determinará el tipo de curva de difusión

N_0 : número acumulado de adoptantes en el tiempo t_0

El modelo general de difusión puede presentar variaciones de acuerdo a las distintas hipótesis que se adopten sobre la naturaleza y dinámica de la adopción y difusión de la tecnología. Alcón et al. (2006) señalan la existencia de modelos de influencia externa, interna y mixta. Los modelos de influencia externa asumen que el sistema social no es determinante en la generación de conocimiento y, por tanto, los nuevos adoptantes reciben la información desde fuera del sistema, no hay en estos modelos consideraciones a la importancia de la trayectoria previa de aprendizaje basada en la interacción de individuos en el sistema. Este tipo de modelos suelen ser utilizados cuando la adopción previa no tiene importancia, como es el caso de sistemas aislados, de tecnologías sencillas, o bien, cuando la tecnología está disponible únicamente fuera del sistema. En oposición a este tipo de interpretaciones, los modelos de influencia interna destacan que “la transmisión de la información se produce por interacciones entre los miembros del sistema social, basándose la innovación en un proceso de imitación en el cual se modeliza la difusión de la información” (Alcón et al., 2006, p. 231). De este modo, la difusión responde a un proceso acumulativo de aprendizaje basado en el intercambio de información y experiencia, que a medida que se propaga en el sistema social va paulatinamente reduciendo la incertidumbre inicial y propagando la innovación –de forma similar a lo que en biología ocurre con la epidemia por contagio– (Baptista, 1999). Por último, los modelos mixtos incorporan ambos tipos de influencia, interna y externa.

En este trabajo se siguen estas inquietudes y, reconociendo que los procesos de difusión son el resultado de múltiples factores que alientan o frenan los patrones de difusión –barreras de status, ubicación geográfica, etc.–, se pretende identificar la trayectoria que sigue la innovación, atendiendo, fundamentalmente, los aspectos que describen la adopción y difusión de la tecnología a lo largo del tiempo. En este sentido, se optó por utilizar los modelos de influencia interna y, en particular, se propone un caso específico que refiere a que, dado que este proceso puede ser modelado por funciones con forma de “S”, se utiliza la función logística (ver Sección 4).

3. LA MECANIZACIÓN AGRARIA DE URUGUAY, EL CASO DEL TRACTOR

El proceso de introducción del tractor en Uruguay presentó una trayectoria diferenciada a lo largo del período de análisis. Si bien existen registros de tractores a comienzos del siglo XX, la importancia relativa del proceso de tractorización, en términos de cantidad y potencia, fue muy reducida durante la primera mitad del siglo.⁴ Si se considera como medida de la mecanización la potencia de tractores disponible a nivel nacional entre 1908 y 2010, siendo 2010 año donde se alcanza el máximo de la potencia acumulada, es recién a partir de la década de 1950 que el proceso comienza a adquirir mayor relevancia, pasando de una potencia acumulada de 60.978 (hp) a 475.106 (hp) entre 1943 y 1956, respectivamente. En la década de 1970 se supera el 50% de la potencia máxima de tractores en el período analizado –alcanzada en 2010–, y en la década de 1990 el proceso de difusión del tractor comienza a alcanzar su etapa de madurez (ver Sección 4, Cuadro 2). Recurriendo a la información censal puede observarse que si bien la potencia de tractores aumentó –aunque levemente– entre los años 2000 y 2010, la cantidad de tractores tendió a decrecer. Finalmente, si bien puede señalarse que la incorporación de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones –junto con la electrónica– permitieron usos más eficientes del tractor en las tareas agrícolas, la potencia mecánica sustituta de la tracción animal fue, hacia fines del siglo XX, un rasgo generalizado del agro uruguayo.

Por otra parte, atendiendo la expresión regional del proceso, puede señalarse que la introducción del tractor tuvo un primer impulso en las zonas agrícolas del país. El interés por el desarrollo de la agricultura fue puesto de manifiesto desde fines del siglo XIX por un conjunto de productores que lideraron el proceso de incorporación de tecnología. La mestización del ganado, uno de los ejes centrales de la trayectoria tecnológica del período de modernización agraria, pautó el liderazgo en materia de desarrollo tecnológico de los productores ubicados en la zona sur y litoral del país, que fueron los primeros adoptantes de esta tecnología. No es casual que la mecanización del agro tuviera en esta zona del país su campo de prueba y experimentación. Una vez que la mecanización dio muestras de éxito y redujo la incertidumbre de sus resultados, los productores ubicados en departamentos con un peso importante de la agricultura fueron adoptando, paulatinamente, las nuevas técnicas y es muy probable que la desconcentración de la actividad agrícola que comenzó a manifestarse con mayor dinamismo desde principios del siglo XX tenga, en la mecanización y, en particular, en la introducción del tractor, un elemento destacado (Castro Scavone, 2017).

3.1 LOS PRIMEROS PASOS EN LA MECANIZACIÓN: EL CRECIENTE INTERÉS POR EL DESARROLLO DE LA AGRICULTURA Y LAS CUALIDADES DE LOS PRIMEROS ADOPTANTES

En una primera etapa –que abarcó los primeros años del siglo XX hasta la primera mitad de la década de 1950– la introducción del tractor en el proceso productivo agropecuario fue lento y localizado en torno a la zona metropolitana y litoral del país, caracterizada por su especialización agrícola. Los primeros adoptantes asumieron los altos riesgos de la nueva tecnología y “aprendieron” de la experiencia, abriendo oportunidades para que los seguidores adoptaran la tecnología. Si bien la mecanización adquirió la mayor importancia en términos productivos con la introducción del tractor, y esto ocurrió avanzado el siglo XX, el proceso de mecanización comenzó a gestarse con anterioridad, y lo hizo de la mano de la incipiente actividad agrícola.

El incremento del área dedicada a cultivos a fines del siglo XIX y principios del siglo XX respondió al creciente interés –público y privado– de fomentar el desarrollo agrícola en el país. La paz política, el crecimiento demográfico, la construcción del ferrocarril y el surgimiento de mercados modernos de factores, que caracterizaron el período de modernización de la economía uruguaya, alentaron una notable transformación de la ganadería, que encontró en la instalación de los frigoríficos un aliado para su consolidación y, en la Primera Guerra Mundial, una coyuntura favorable para los mismos fines. La agricultura –aunque ocupara un papel secundario– amplió sus posibilidades en el contexto de la modernización y tuvo un fuerte impulso con la política proagrícola del gobierno batllista de la época, que se inspiraba en la idea de que con el “poblamiento del campo que impli-

caba la actividad agrícola se podría desarrollar un mercado interno consistente para el desarrollo industrial” (Bertino y Bucheli, 2000, p. 4).

Previamente a que el gobierno batllista explicitara su interés y desplegara un conjunto de medidas tendientes al desarrollo de la agricultura, ocurrieron transformaciones que directa o indirectamente alentaron el proceso de diversificación productiva en el país. Durante las últimas tres décadas del siglo XIX y principios del siglo XX, la trayectoria tecnológica fundada en la introducción del ovino, el alambramiento de los campos y la mestización del ganado –basada en explotar al máximo la pradera natural– tuvo importantes consecuencias en la agricultura. Desde una dimensión productiva, la introducción del ovino transformó al agro uruguayo en la medida que capitalizó al medio rural, demandó más trabajo en condiciones de sedentarismo –con el surgimiento de la tarea de pastoreo–, fortaleció a la clase media rural, diversificó las exportaciones del país y proporcionó nuevos mercados exteriores (Barrán y Nahum, 1967). Un elemento destacado de esta transformación es que favoreció el surgimiento de la mediana explotación rural, lo que resultó en un tipo de explotación con capacidad para combinar la cría del ovino con la actividad agrícola, “a la que servía de tabla de salvación cuando los factores climáticos provocaban la pérdida de la cosecha” (Barrán y Nahum, 1967, p. 80). Es interesante observar que este tipo de explotaciones –relativamente más intensivas que la tradicional actividad ganadera– favorecieron el poblamiento de la campaña, particularmente dinámico en ese período en el sur y litoral del país.

Las principales características de la dinámica productiva tuvieron su correlato en algunos aspectos culturales e institucionales que moldearon las transformaciones del agro en Uruguay y que, para los fines de este trabajo, es necesario señalar. Interesa, en particular, dar cuenta de las características de los productores que llevaron la bandera de la modernización del agro y que, por tener las condiciones necesarias, impulsaron las transformaciones técnicas que en la agricultura tuvieron una expresión destacada en el proceso de mecanización.

Uno de los rasgos salientes es el creciente poder que adquirió la elite de terratenientes ganaderos compuesta, fundamentalmente, por agricultores capitalistas y que se expresó en la creación de la Asociación Rural del Uruguay (ARU) a comienzos de la década de 1870. Estos productores, con capacidad financiera y organizativa, lideraron el proceso de modernización desde una gremial que “estaba llamada a cumplir el importante rol en la construcción del capitalismo y de la sociedad civil” (Beretta et al., 2012, p. 43). Fueron estos productores los primeros y principales adoptantes de las nuevas tecnologías, se requería tener recursos financieros para afrontar los riesgos de adoptar técnicas hasta ese momento desconocidas en Uruguay y la clase terrateniente capitalista cumplía con esos requisitos. La ARU difundió un programa “en pos de sustituir al pastoreo libre por un nuevo estadio que concluiría con el predominio de lo que alguno de sus ideólogos denominó: pastoreo industrial y de granja” (Jacob, 1984, p. 13). El programa de la ARU encontró un aliado estratégico en los gobiernos militares (1875-1886), la consolidación de un estado centralizado con medios coercitivos permitió la violenta imposición del principio de autoridad, que se expresó en el accionar del ejército llegando a todo el territorio nacional, el control policial de la campaña, la aprobación del código rural y el alambramiento de los campos.

Junto al dominio político y económico que adquirieron los productores capitalistas –en gran medida nucleados en la ARU– debe señalarse también la importancia que adquirió la creciente inmigración de Europa. En particular, además del asentamiento de los inmigrantes en Montevideo, un grupo de inmigrantes se alojó en el medio rural y desempeñó un papel importante en la modernización en la medida que se trataba de trabajadores con cierto grado de calificación, con rasgos culturales y pautas de consumo diferentes a los de la población criolla. Las características socioculturales de los inmigrantes europeos y, en algunos casos, la disponibilidad de capital, como fue el caso de los “cabañeros de lanares y vacunos de origen inglés que se asentaron en el litoral” (Pérez Arrarte, 1984, p. 73) condujeron a que constituyeran un grupo de pequeños y medianos establecimientos asentados en torno a Montevideo y el litoral, cuyas condiciones de sedentarismo y su interés en colonizar espacios para el desarrollo de actividades intensivas, proclives a la diversificación de la producción y el progreso técnico, estaban alineadas con los intereses de la clase de productores capitalistas que promovían la transformación del país. No obstante, la importancia de la inmigración en el desarrollo de la agricultura ha sido relativizada por algunos autores. El interés por “transformar al gaucho en agricultor, o mejor aún, su sustitución por inmigrantes europeos” (Klaczko y

Rial, 1981, p. 36) fue una “utopía agraria” que nunca terminó de cuajar, y esto se debió, en buena medida, a la escasa vocación para las tareas agrícolas de los inmigrantes, cuyo destino fue trabajos provenientes del comercio, la construcción, las artesanías y las múltiples actividades de servicios que se generaban con la creciente urbanización en torno, fundamentalmente, a Montevideo.

Más tarde, el interés del gobierno batllista por impulsar un modelo de desarrollo agrario alternativo al entonces imperante –que fomentaba el despoblamiento de la campaña, la pobreza y los levantamientos armados–, tuvo en la agricultura un eje central. El desarrollo de la agricultura permitiría poblar la campaña, mejorar la calidad de vida en el medio rural, aumentar la productividad del trabajo y la tierra y promover el desarrollo de instituciones sólidas y estables (Moraes, 2008). Uno de los aspectos destacados del impulso batllista en el medio rural fue la convicción de que el desarrollo de la agricultura requería la formación de capacidades públicas y privadas en materia de conocimiento científico tecnológico. En efecto, “las primeras dos décadas del siglo –en relación al siglo XX– constituyeron el período fundacional del complejo científico agropecuario; un conjunto de disposiciones legislativas llevaron a conformar dicho complejo, organizado alrededor de nuevos centros de enseñanza, investigación y difusión del conocimiento” (Baptista, 2016, p. 136).

Sin embargo, una visión agraria de estas características no estuvo exenta de tensiones. La creación de la Federación Rural fue la expresión política del descontento de los sectores conservadores y, a través de ella, quedó de manifiesto su firme oposición a las posturas reformistas. El desarrollo de la producción agrícola, como eje de una política que pretendía profundizar el proceso de modernización, tuvo su freno al cuestionar la tradicional producción ganadera extensiva. No obstante, bajo el impulso de los gobiernos batllistas, la política proagrícola continuó jugando un papel relevante en el desarrollo de esta actividad. En 1915 se fundó la Comisión Nacional del Fomento Rural y fue acompañada, desde el gobierno, por medidas de política de distinta naturaleza que fomentaron el desarrollo de la agricultura. Las más relevantes fueron las políticas de sustitución de productos agrícolas del extranjero con el objetivo de proteger el mercado interno para la producción nacional, los planes de colonización que acogieron buena parte de la inmigración europea con cierto grado de capacitación para desarrollar tareas agrícolas y la construcción de un marco institucional de fomento a la innovación y el progreso tecnológico. Es probable que este proceso estuviera en la base del cambio estructural que comenzó a procesarse en el sector agropecuario entre los años 1940s-1950s, y que tuvo en la política económica proagrícola del Neobatllismo (CLAEH-CINAM, 1964, CIDE, 1967) y la sostenida expansión de la lechería desde los 1960s (Barbato y Paolino, 1983), dos rasgos destacados.

3.2 UNA MIRADA DESCRIPTIVA AL PROCESO HISTÓRICO DE DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA DEL TRACTOR Y SU EXPRESIÓN REGIONAL

A comienzos del siglo XX, la maquinaria agrícola todavía era movida por mecanismos de tracción a sangre. En el Censo Nacional de 1908 se reportaron 156.425 máquinas (arados, sembradoras, trilladoras, entre otras). Si se considera la cantidad de máquinas por hectárea departamental se puede observar que los departamentos con al menos una máquina por hectárea eran Montevideo, Canelones, Lavalleja, Colonia y San José. La zona sur y litoral del país –antes de que comenzara a adoptarse el tractor– estaba a comienzos del siglo en mejores condiciones que el resto del país para adoptar la moderna –en esa época– tecnología del tractor. No es casual que la concentración de la agricultura en la zona sur del país tuviera, en la tecnología agrícola, un rasgo destacado.

Una mirada de largo plazo a la cantidad de tractores por departamento permite confirmar estas apreciaciones. En promedio, el peso relativo de la cantidad de tractores por departamento en el período 1908-2010 da cuenta del absoluto liderazgo del sur y litoral del país. En conjunto, nueve departamentos alojaron más del 75% de los tractores de Uruguay, y éstos son, en orden de importancia, los siguientes: Colonia, Canelones, Soriano, San José, Paysandú, Río Negro, Florida, Salto y Montevideo. Por otra parte, los datos sugieren que el epicentro del proceso de mecanización se ubicó en la región sur del país –integrada por Colonia, Canelones, San José y Soriano– a principios del siglo y luego se fue extendiendo hacia el litoral –con aumentos importantes en la participación de Paysandú y Río Negro– hasta que, paulatinamente, el resto de los departamentos fue incorporando la tecnología del tractor (Cuadro 1).

CUADRO 1
Distribución de la cantidad de tractores por departamento 1908-2010
(En porcentaje)

Departamento	1908	1930	1943	1951	1961	1966	1970	1980	1990	2000	2010
Artigas	1,0	0,6	1,4	2,1	2,2	2,2	2,1	2,4	2,9	2,7	2,8
Canelones	13,8	5,3	3,6	8,3	14,6	15,7	16,8	18,3	18,7	19,8	19,4
Cerro Largo	0,3	3,4	1,1	3,1	2,3	2,2	2,4	3,1	3,7	3,9	3,3
Colonia	30,3	25,3	24,6	17,2	14,9	13,9	13,4	11,9	12,1	10,6	10,4
Durazno	2,4	4,0	2,1	3,4	3,7	3,6	3,3	3,2	2,8	2,9	3,0
Flores	4,8	3,5	4,9	3,0	2,8	2,8	2,8	2,4	2,2	2,0	2,4
Florida	3,4	5,0	4,5	5,3	6,6	6,7	6,3	5,6	5,5	5,8	6,1
Lavalleja	5,2	2,1	5,3	2,9	3,5	3,2	3,0	3,4	3,4	3,9	4,4
Maldonado	0,0	1,4	0,9	2,0	1,8	1,8	1,7	2,0	2,1	2,6	3,3
Montevideo	4,8	2,4	0,3	2,8	3,7	4,1	4,8	5,4	4,6	4,7	4,3
Paysandú	4,5	8,8	11,3	9,0	7,8	8,0	7,4	6,7	6,1	5,5	5,3
Río Negro	2,1	10,8	10,6	7,4	6,4	5,9	5,5	4,3	4,1	3,9	3,5
Rivera	0,7	0,6	0,7	1,0	1,1	1,1	1,1	1,7	2,1	2,4	2,0
Rocha	0,7	0,6	0,7	3,4	2,7	2,3	2,3	3,2	3,5	3,3	4,0
Salto	1,0	4,1	4,0	3,9	4,1	4,2	4,2	4,0	4,1	4,0	4,4
San José	9,0	4,2	5,7	9,6	9,7	10,7	10,9	10,3	10,4	9,8	9,2
Soriano	9,7	16,2	16,9	11,9	8,4	7,7	8,1	7,4	6,7	6,3	6,4
Tacuarembó	4,1	1,2	0,8	2,3	2,2	2,3	2,2	2,5	2,4	3,0	2,7
Treinta y Tres	2,1	0,4	0,4	1,4	1,7	1,7	1,7	2,1	2,6	3,0	3,1

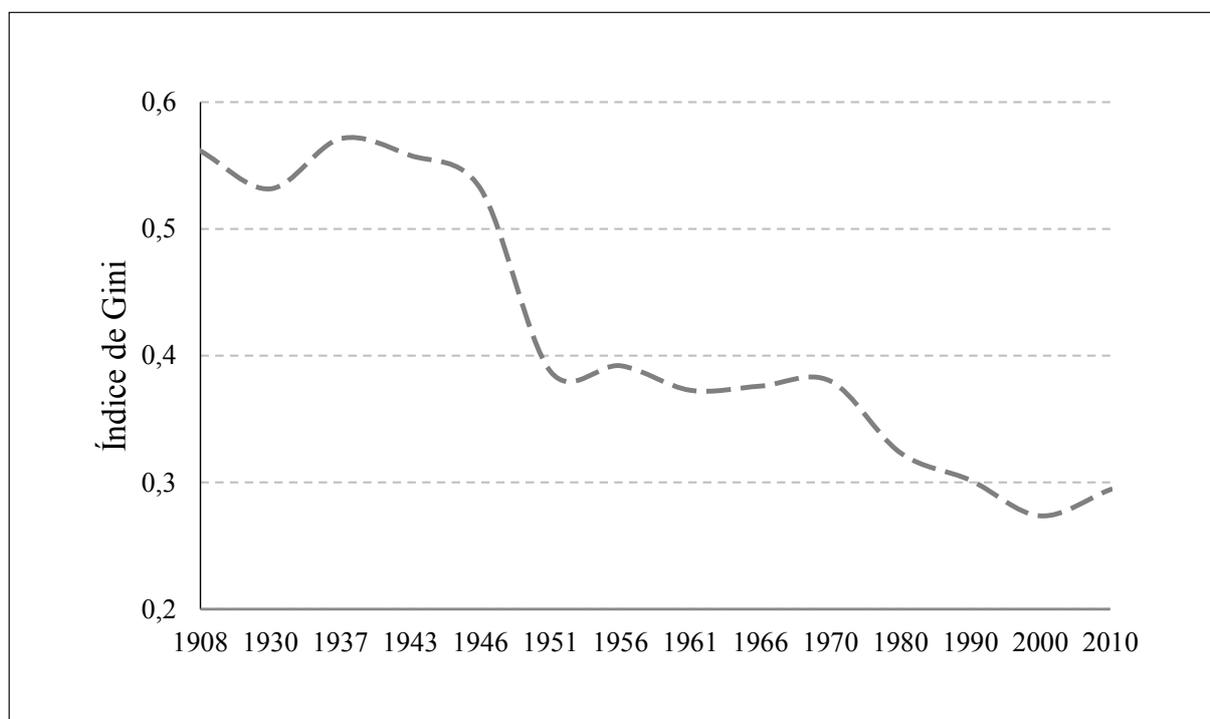
Fuente: MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales

El cálculo de la desviación estándar de las participaciones departamentales a lo largo del tiempo da cuenta de un resultado sugerente. En las primeras tres referencias temporales (1908, 1930 y 1943) el valor de la desviación estándar es, en promedio, aproximadamente 0.07 mientras que a partir de 1951 desciende a 0.04, siendo, a su vez, los resultados estables en ambos períodos. Ello estaría indicando que, hacia la segunda mitad del siglo, se produjo una reducción del grado de dispersión o, en otros términos, de la concentración de la variable que mide la participación relativa de tractores de cada departamento respecto a la media del país.

La tendencia a la difusión del tractor en el territorio nacional es coincidente con el cambio de nivel que presenta la curva de concentración departamental de tractores hacia mediados del siglo XX (Gráfico 2). En la segunda mitad del siglo –y hasta inicios de la década de 1980– se aceleró el ritmo de adopción y difusión del tractor –avanzando al igual que en el período previo sobre las zonas con cierta especialización agrícola– y adelantando el proceso de madurez de una tecnología que se difundió prácticamente en todo el territorio nacional. Por último, ya entrada la década de 1980, el proceso se enlenteció. Las causas que pueden explicar el agotamiento de la tecnología del tractor son: su amplia difusión en un país pequeño, pero con aptitud de la tierra en amplias zonas del territorio, el surgimiento de nuevas tecnologías que compiten con las imperantes, y el incremento

de los servicios de arrendamiento de maquinaria de los últimos años. En un análisis realizado por el Ministerio de Ganadería Agricultura y Pesca (MGAP) (2003), en base a los datos del Censo Agropecuario Nacional publicado en 2000, se señala que parte de la transformación tecnológica operada a nivel de la agricultura nacional ha estado asociada a una importante inversión en maquinaria de nueva generación, en concordancia con cambios en las escalas de producción y en los paquetes tecnológicos utilizados a nivel de las empresas agrícolas. El trabajo es concluyente en señalar que, al finalizar el siglo XX, la difusión del tractor era un rasgo generalizado en las explotaciones agrícolas de Uruguay pero que no ocurrió lo mismo con los implementos –arados de cincel, excéntricas, aradoras, fumigadoras, sembradoras de siembra directa y cosechadoras– necesarios para afrontar la creciente complejidad de las tareas agrícolas. De modo que una importante cantidad de predios agrícolas –fundamentalmente los de menor tamaño– recurrieron a la contratación de servicios de maquinaria, ya sea brindado por otros productores o por empresas de maquinaria.⁵

GRÁFICO 2
 Índice de Gini de la cantidad de tractores por departamento, 1908-2010
 (En relación a las hectáreas de tierra agropecuaria)

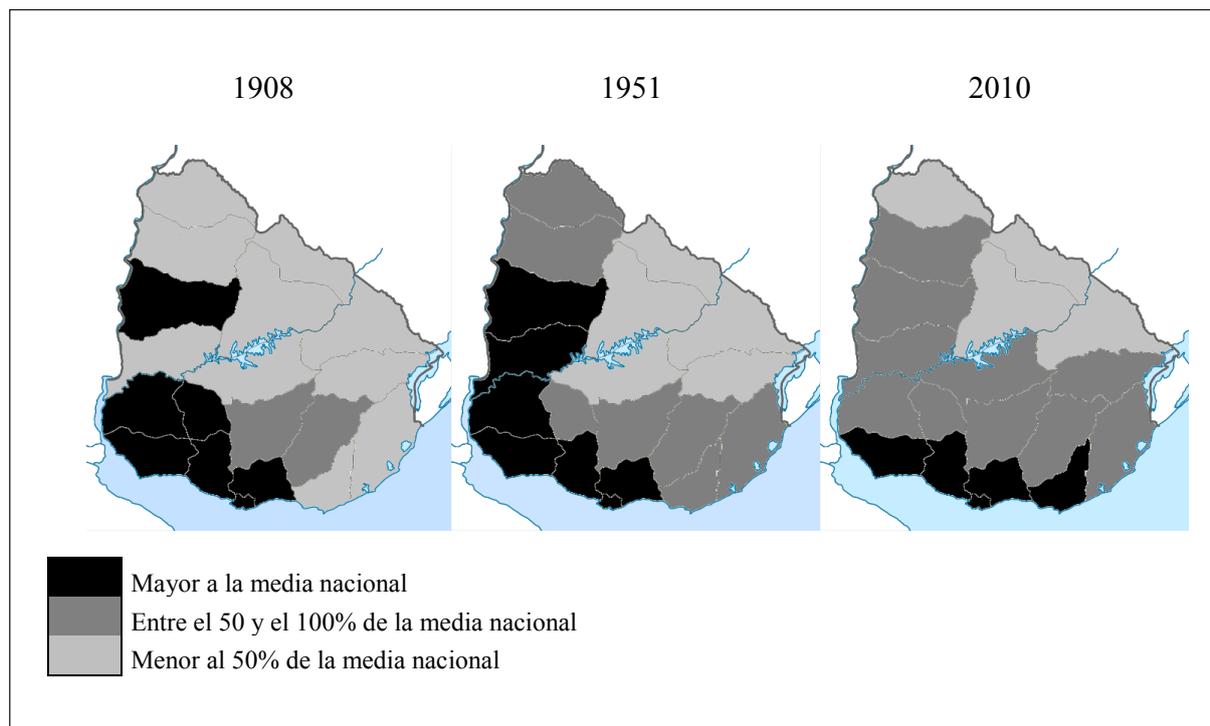


Fuente: elaboración propia en base a datos de MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

La Figura 2 ilustra acerca del proceso de difusión del tractor en el territorio nacional; se propone una comparación del número de tractores por cada mil hectáreas productivas en cada departamento respecto a la media nacional. Como se puede observar, se trató de un proceso que tuvo su epicentro en el área metropolitana pero que –aún con diferencias entre departamentos– se difundió ampliamente en todo el territorio nacional.

FIGURA 2

Cantidad de tractores por cada 1.000 hectáreas destinadas a la producción agropecuaria en Uruguay, 1908-2010
(comparación departamental respecto a la media nacional)



Fuente: elaboración propia en base a datos de MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

En suma, la información disponible permite confirmar que la mecanización de la producción agropecuaria y, en particular la adopción de la tecnología del tractor, se relaciona con su uso agrícola, es por ello que los primeros adoptantes de esta tecnología fueron los productores de áreas con alta especialización agrícola (tanto de granja como de granos). Sin embargo, la pequeñez de nuestro país, su aptitud para la producción agropecuaria en prácticamente todo el territorio nacional y la creciente importancia de la producción agrícola –muchas veces combinadas con la ganadería de carne y la lechería– tendieron a fomentar la difusión de la tecnología en el resto del territorio.⁶ La concentración inicial del tractor en torno al área metropolitana, a la que se sumó paulatinamente la zona litoral, fue disminuyendo en el período a medida que nuevos adoptantes se incorporaron de forma más dinámica y alentaron su rápida difusión en zonas donde el tractor se introdujo con cierto rezago, como la zona centro del país, el norte y noroeste.

4. METODOLOGÍA: LA ESTIMACIÓN DE CURVAS DE DIFUSIÓN

El proceso que se describió sobre la dinámica de la tecnología del tractor, su carácter acumulativo y su expresión local, pueden analizarse a partir de enfoques basados en modelos de difusión, cuya riqueza analítica se funda en su capacidad para describir la evolución de la tecnología a partir de una trayectoria con forma de “S”. Mediante esta caracterización se pueden identificar varias etapas a lo largo del ciclo evolutivo de la tecnología. “Pese a sus variaciones específicas individuales, buena parte de las tecnologías tiende a seguir una secuencia similar en términos del ritmo y de la dirección del cambio y las mejoras, desde la innovación inicial hasta la madurez, la cual coincide aproximadamente con la evolución de sus mercados, desde la introducción hasta la saturación” (Pérez, 2001, p.5). Para operativizar este proceso utilizamos una función logística, cuya forma de “S” es capaz de representar este proceso.

En base a las consideraciones anteriormente presentadas, se estima un modelo logístico con el objetivo de determinar la dinámica de adopción y difusión de la tecnología del tractor para un período extenso: 1908-2010. Los datos empíricos utilizados en las estimaciones surgen de la cuantificación del parque de tractores, tanto en lo que refiere a la cantidad de tractores como a su potencia estimada –medida en HP– (Cuadro 2). Los censos nacionales constituyen la principal fuente utilizada, y de ellos es posible obtener información departamental de cantidad de tractores según rango de potencia para los años 1908, 1916, 1930, 1937, 1943, 1946, 1951, 1956, 1961, 1966, 1970, 1980, 1990, 2000 y 2010. Dado que no se cuenta con la potencia de cada tractor sino que los censos reportan información de cantidad de tractores por rangos de potencia –a modo de ejemplo, en el censo de 1980 se reportaron, para el total del país, la siguiente cantidad de tractores por rango de potencia: 5.083 hasta 25hp, 13.860 entre 25 y 50hp, 11.596 entre 50 y 85hp y 2.339 con más de 85hp–, para estimar la potencia agregada por departamento, se calculó la marca de clase como referencia del rango de potencia y se multiplicó por la cantidad de tractores correspondiente. Para los valores extremos en los cuales no es posible obtener el valor, se optó por mantener el valor límite reportado en la fuente de información.

CUADRO 2
Cantidad y potencia (HP) de tractores en Uruguay, 1908-2010

Año	Cantidad de tractores	Potencia de tractores (HP)	Potencia por tractor (HP)
1908	290	2.278	7,9
1916	734	5.687	7,7
1930	1.606	12.444	7,7
1937	2.256	17.480	7,7
1943	2.889	60.978	21,1
1946	3.188	70.297	22,1
1951	13.258	282.334	21,3
1956	21.777	475.106	21,8
1961	24.695	861.690	34,9
1966	27.856	971.988	34,9
1970	29.577	1.122.358	37,9
1980	32.878	1.628.370	49,5
1990	33.558	1.938.500	57,8
2000	36.348	2.463.446	67,8
2010	33.741	2.486.607	73,7

Fuente: MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

Se utiliza una función logística (ecuación 3) para ajustar los datos reales referidos a la potencia total del parque de tractores en Uruguay y el mismo procedimiento se realiza para los 19 departamentos.

$$P_t = \frac{S}{1+ke^{-bt}} \quad \text{Con } S, b \text{ y } k \text{ positivos} \quad (3)$$

El parámetro b puede interpretarse como un coeficiente de difusión de la tecnología, el parámetro k es una constante y el parámetro S representa el máximo teórico de la función logística.

El procedimiento para obtener las estimaciones de los parámetros de la función es el siguiente; en primer lugar, se realiza una linealización de la ecuación 3 y, en segundo lugar, se utiliza el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para ajustar la función a los datos reales.

Este procedimiento permite estimar los parámetros b y k , mientras que S se fija arbitrariamente de acuerdo a la evidencia disponible.⁷ Es interesante observar que el punto donde se alcanza la máxima pendiente de la función se encuentra en $t=\tau / \tau = \frac{\ln k}{b}$, resultado que permite obtener el año en el que la curva estimada alcanza el punto de inflexión y, por lo tanto, es el año de máximo crecimiento –y donde se acumulan el 50% de la potencia del parque de tractores.

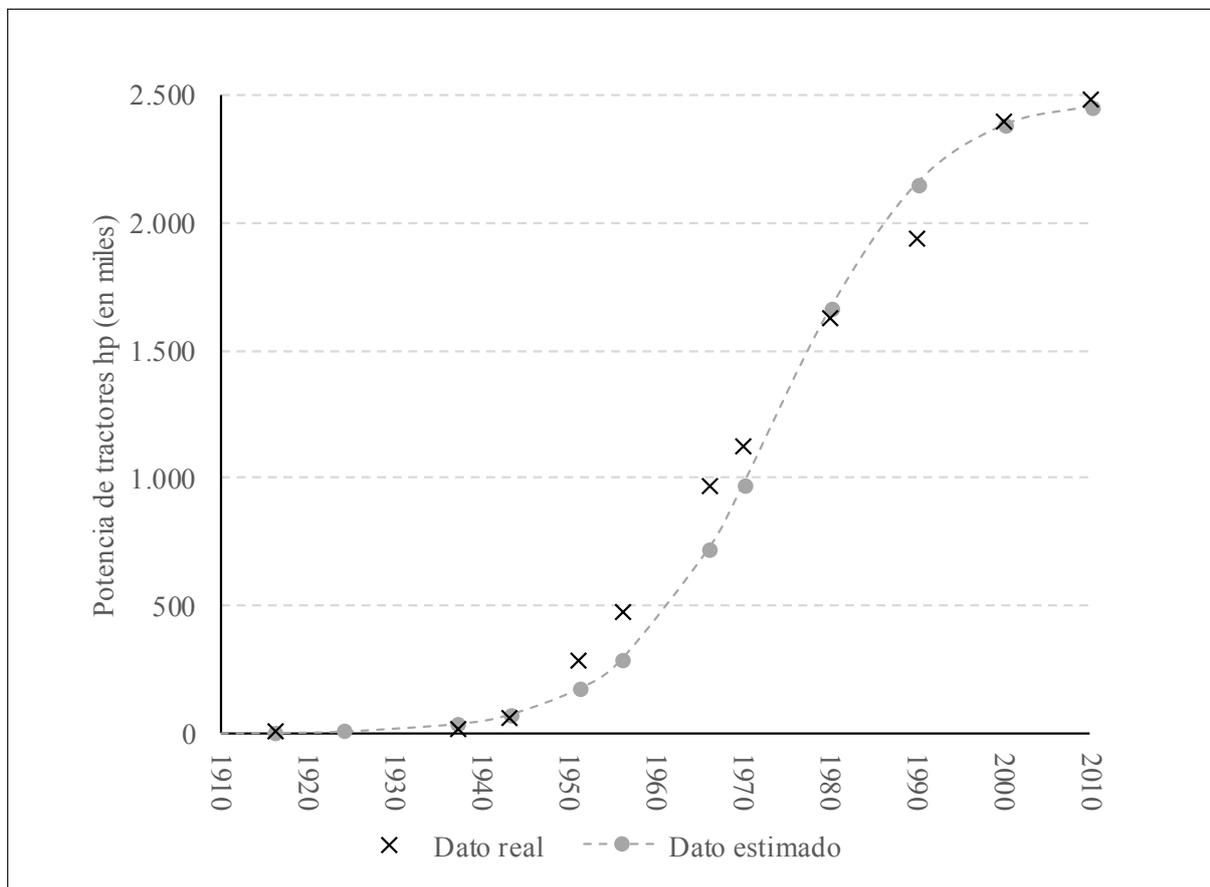
5. RESULTADOS

Se realizó un primer ejercicio a partir de la información de potencia de tractores basado en la estimación del modelo logístico a lo largo del período 1908-2010 para el caso de Uruguay. El primer resultado destacado es la confirmación de que el proceso de difusión de la tecnología del tractor sigue una trayectoria que puede ser modelada adecuadamente a partir de la estimación de una función logística (Gráfico 3). Este resultado se funda en dos consideraciones. En primer lugar, la estimación del modelo logístico para Uruguay a partir de 15 referencias temporales a lo largo del período 1908-2010 dio como resultado un alto valor de ajuste (0.9886 es el coeficiente de correlación). En segundo lugar, el período considerado permite captar prácticamente la totalidad de la trayectoria que ha seguido esta tecnología. A modo ilustrativo, en el Gráfico 3 se representa conjuntamente la estimación del modelo logístico para Uruguay (línea continua) y los datos reales de potencia de tractores (cruces).

Si bien a partir de comienzos del siglo XX hay registros de tractores –probablemente asociado a las primeras experiencias llevadas a cabo por productores “aventureros”–, es recién avanzada la década de 1930 cuando un grupo más amplio de productores comienza a adoptar la tecnología del tractor. El proceso de difusión hacia la mitad del siglo parecía afianzarse y, prueba de ello, es que en diez años –entre 1946 y 1956– el número de tractores y su potencia asociada se multiplicó por seis (ver Cuadro 2). Este fenómeno coincide con el período más dinámico de la industrialización por sustitución de importaciones (ISI) que tuvo, en el fomento de la agricultura, un rasgo destacado (Bertino et. al, 2001; Fernández Aguerre, 2002). La política proagrícola llevada a cabo en este período tuvo su expresión en el fuerte crecimiento de los cultivos cerealeros y, dentro de ellos, del trigo, y una creciente diversificación de cultivos agroindustriales donde se destacan la remolacha azucarera y el girasol (Bertino y Tajam, 1999). La situación favorable para la agricultura en este período puede atribuirse a que “... los altos precios internacionales, y una política interna favorable, que aplica varios instrumentos (fijación de precios, crédito subsidiado, intervención estatal en la comercialización), junto a la introducción de la mecanización agrícola (tractorización), favorecen el crecimiento” (Arbeletche, 2016, p. 55). La creciente diversificación de la producción agrícola de este período, que supone una ampliación de los usos del tractor, podría recoger la opinión de algunos autores que atribuyen a la difusión de la tecnología del tractor no solo el incremento en el número de usuarios, sino también la ampliación de los diferentes usos de la tecnología una vez que ella es adaptada a los requerimientos de una demanda heterogénea y en crecimiento (Gross, 2017).

A comienzos de la década de 1970 el proceso de difusión alcanza su mayor dinamismo –cuando la pendiente es más empinada–, con una adopción de la tecnología que se generaliza incorporando a la mayoría tardía y, finalmente, alcanzado su madurez hacia el final del período.

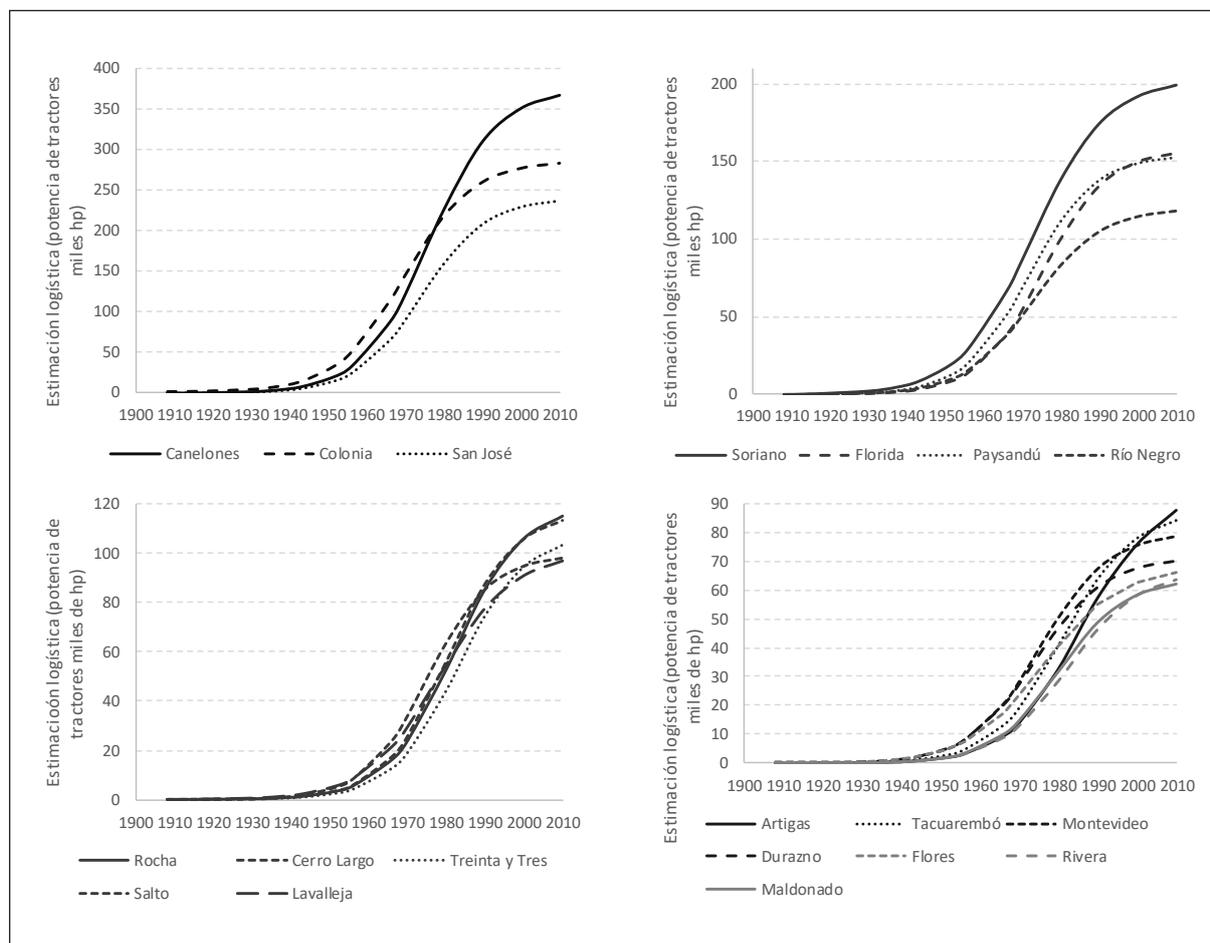
GRÁFICO 3
Estimación del modelo logístico para Uruguay, 1908-2010



Fuente: elaboración propia en base a datos de MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

Con el objetivo de captar la expresión regional del proceso de localización, se realizó un segundo ejercicio basado en la estimación de funciones logísticas para los 19 departamentos de Uruguay a partir de los datos reales de potencia de tractores (hp). A modo ilustrativo, en el Gráfico 4 se presentan las estimaciones por grupos de departamentos. Con fines expositivos se optó por agrupar los departamentos según el máximo valor alcanzado en el período y, dado que se trata de un proceso acumulativo y dependiente de la trayectoria previa, fue posible obtener un ranking de departamentos de acuerdo a la importancia que ha tenido la potencia agregada del proceso de tractorización.

GRÁFICO 4

Estimación del modelo logístico de potencia de tractores (HP), 1908-2010
(Departamentos de Uruguay)

Fuente: elaboración propia en base a datos de MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

A partir del análisis regional se pudo confirmar que las apreciaciones realizadas en la estimación para Uruguay se mantienen al estimar el modelo logístico para los 19 departamentos del país. De modo que, el segundo rasgo destacado es que la difusión del tractor en los departamentos de Uruguay sigue una trayectoria que puede ser modelada adecuadamente a partir de la estimación de funciones logísticas y que, en el período considerado, es posible captar la trayectoria que ha seguido la tecnología del tractor desde su inicio hasta su agotamiento en los departamentos de Uruguay. Tanto en la estimación para el caso de Uruguay como en las realizadas para los 19 departamentos, se registraron valores altos del coeficiente de correlación, por lo tanto, la evidencia permite corroborar que la conceptualización teórica sobre la naturaleza y evolución del cambio tecnológico –en este caso con la introducción de la tecnología del tractor– tiene un correlato con la realidad tanto para el conjunto del país como para cada uno de los departamentos (Cuadro 3).

CUADRO 3
Estimaciones del modelo logístico para Uruguay y sus departamentos

Departamento	Coefficiente de correlación	Coefficiente de difusión b	Constante k	τ (Punto de inflexión)
Artigas	0,9722	0,127	7.784	1979
Canelones	0,9516	0,117	2.667	1975
Cerro Largo	0,9484	0,119	5.069	1979
Colonia	0,9895	0,114	989	1968
Durazno	0,9768	0,114	1.647	1973
Flores	0,9684	0,107	1.232	1974
Florida	0,9858	0,120	2.768	1974
Lavalleja	0,9447	0,112	2.290	1977
Maldonado	0,9503	0,120	5.007	1979
Montevideo	0,9250	0,117	2.488	1975
Paysandú	0,9762	0,118	1.634	1970
Río Negro	0,9677	0,113	1.248	1971
Rivera	0,9578	0,115	4.562	1981
Rocha	0,9460	0,118	5.341	1981
Salto	0,9862	0,124	3.443	1974
San José	0,9733	0,120	2.519	1973
Soriano	0,9839	0,107	1.051	1972
Tacuarembó	0,9544	0,116	4.161	1980
Treinta y Tres	0,9663	0,120	7.472	1982
Uruguay	0,9886	0,117	1.742	1972

Fuente: elaboración propia en base a datos de MGAP – DIEA (varios años). Censos Agropecuarios Nacionales.

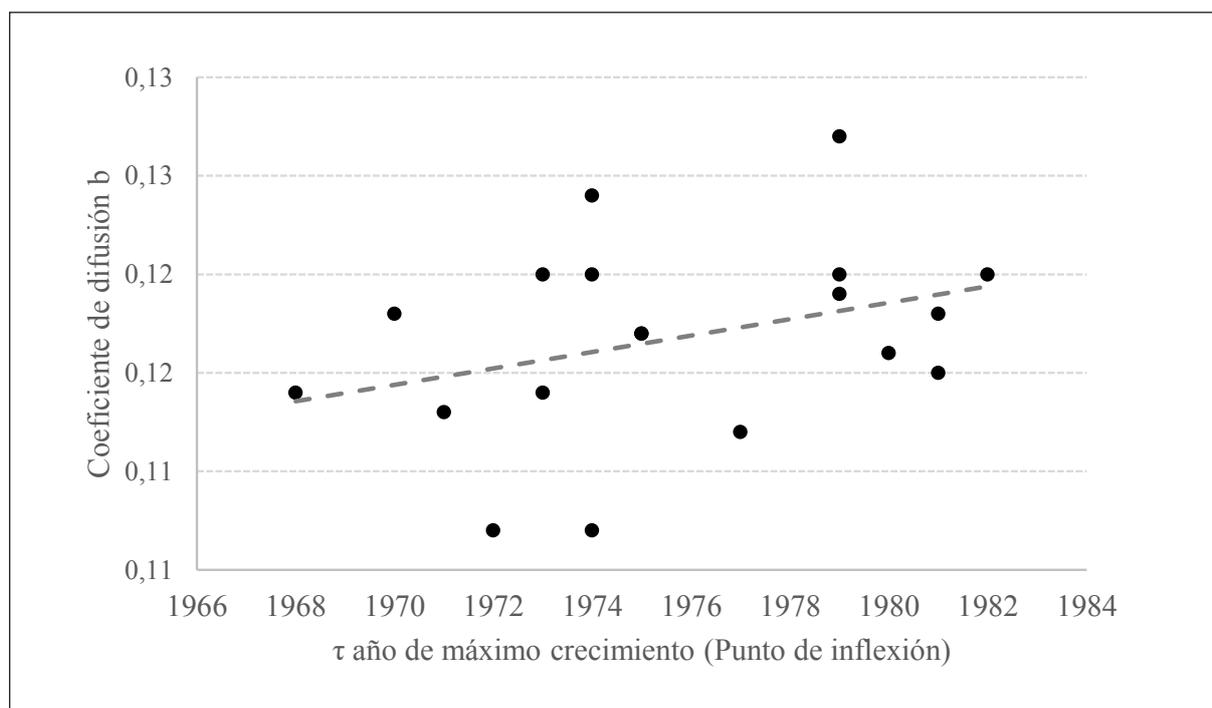
El tercer rasgo destacado refiere a que la relevancia de la mecanización dada por la introducción del tractor tiene su expresión en las diferencias regionales de la difusión de esta tecnología. En primer lugar, es en la zona sur –Canelones, Colonia y San José– y litoral del país –Soriano, Paysandú y Río Negro– (a la que puede incorporarse Florida) donde la difusión del tractor adquirió una relevancia mayor. Se trata de una zona del país caracterizada por una producción relativamente más intensiva, granjera y lechera en la zona sur y Florida, y agrícola en la zona litoral. Si bien la producción agrícola está concentrada en estos siete departamentos, ha existido, históricamente, una tendencia a la desconcentración de la producción agrícola (Araújo et. al, 2015) que se ha expresado a nivel departamental en la diversificación de las estructuras de rubros productivos, con una creciente incorporación de actividades intensivas como agricultura de granos, granja y lechería.

Los departamentos que siguen en el ranking –Rocha, Cerro Largo, Treinta y Tres, Salto y Lavalleja– se caracterizan por poseer estructuras productivas con un nivel medio de diversificación en relación a los departamentos ubicados en el sur y litoral del país y a los departamentos con marcada especialización ganadera –Artigas, Tacuarembó, Durazno, Flores, Rivera y Maldonado–, los cuales se encuentran entre los departamentos con menores niveles de adopción del tractor en el contexto nacional (Castro Scavone, 2017).

Para finalizar, a partir de la estimación del coeficiente de difusión “b” en los modelos departamentales, se puede conjeturar que los departamentos que adoptaron la tecnología con cierto rezago son

los que la incorporaron con mayor rapidez. Eso es lo que parece indicar la tendencia creciente del coeficiente “b” en relación al año donde la curva de difusión presenta el punto de inflexión “ τ ” –y que coincide con el año donde se acumula el 50% de la potencia– (Gráfico 5). A modo de ejemplo, Artigas presenta un alto coeficiente de difusión con un valor de 0,127 y el año de máximo crecimiento lo alcanza en 1979, mientras que Colonia tiene un coeficiente de difusión de 0,114 y el año de máximo crecimiento es 1968 –11 años antes que en Artigas– (Cuadro 3).

GRÁFICO 5
Difusión y ritmo de incorporación de la tecnología del tractor en los departamentos de Uruguay



Fuente: elaboración propia en base a la información del cuadro 3

6. CONCLUSIÓN

Se estimó un modelo logístico para representar la difusión de la tecnología del tractor en los departamentos de Uruguay en el período 1908-2010. La aproximación a través de indicadores de las trayectorias tecnológicas permitió profundizar en el análisis del problema de adopción y difusión tecnológica, atendiendo el carácter local y dependiente del pasado del cambio técnico.

La estimación del modelo de difusión a partir de la cuantificación de la potencia de tractores para 15 referencias temporales en el período 1908-2010 y aplicados a los departamentos de Uruguay permitió verificar que el proceso de difusión de la tecnología del tractor sigue una trayectoria que puede ser modelada adecuadamente a partir de la estimación de una función logística y que el período considerado permite captar prácticamente la totalidad de la trayectoria que ha seguido esta tecnología.

Del análisis regional del proceso de adopción de tecnología se pudo observar que existen diferencias entre los departamentos de Uruguay. Se obtuvo evidencia que permitió confirmar que en la zona del sur y litoral del país el proceso de tractorización tuvo una mayor importancia relativa. La concentración inicial del tractor en torno al área metropolitana –a la que se sumó paulatinamente la zona litoral– fue disminuyendo en el período a medida que nuevos adoptantes se incorporaron de forma más dinámica y alentaron su rápida difusión en zonas donde el tractor se introdujo con cierto rezago, como la zona centro del país, el norte y noroeste.

Es en la zona sur y litoral del país donde se han ubicado, históricamente, los productores que han liderado el proceso de incorporación de tecnología agraria en Uruguay. A su vez, esta zona está conformada por departamentos que se han caracterizado por poseer estructuras productivas más diversificadas y con un peso importante de actividades intensivas. Es posible que la concentración de la producción en esta zona del país se deba, entre otros factores, a la mayor capacidad de incorporar tecnología en el proceso productivo. La difusión de la tecnología del tractor que fue analizada en este trabajo confirma esta apreciación.

A modo de cierre, el estudio sobre la difusión del tractor que se realizó en esta investigación, puso foco en el caso de Uruguay para un período extenso (1908-2010) y atendiendo la dimensión regional. Se cree conveniente avanzar en una agenda de trabajo que permita ampliar el análisis a otros países, de modo que sea posible evaluar tanto la dinámica y evolución que ha seguido la tecnología del tractor agrícola en un espacio más amplio –podría considerarse la región del Cono Sur, e incluso, proponer un análisis comparativo entre las economías *settlers*– y aportar elementos interpretativos a este fenómeno. Es posible que las diferencias en la capacidad para generar, adaptar y difundir tecnología entre países tengan, en la mecanización agrícola, un campo de análisis destacado. A su vez, se cree conveniente ampliar el período de estudio y recorrer las últimas décadas del siglo XIX para analizar el proceso de mecanización previo al tractor. Seguramente pueda encontrarse información interesante para comprender un proceso en el cual, la noción de *path dependece*, juega un papel relevante.

NOTAS

- 1 Alonso (1984), basado en los trabajos de la Dirección de Suelos y Fertilizantes de Ministerio de Agricultura y Pesca, señala que “alrededor de 2.3 millones de hectáreas son arables anualmente sin determinar el recurso natural básico”.
- 2 El índice de localización (LQ) se define de la siguiente manera $LQ_i = \frac{VAB_{j,i}/VAB_i}{VAB_{j,uy}/VAB_{uy}}$, y se basa en comparar la participación del VAB agrícola de cada departamento respecto al VAB total del departamento en relación al mismo ratio para la media nacional. Cuando el LQ toma valores por encima de la unidad, indica la mayor especialización de la producción del rubro analizado en el departamento, mientras que, cuando adopta valores por debajo de la unidad, señala lo contrario.
- 3 En este trabajo no se pretende utilizar criterios de regionalización, de modo que se mantiene al departamento como unidad de análisis procurando identificar ciertos patrones que den cuenta de la difusión del tractor en su dimensión espacial.
- 4 La potencia del tractor es una medida que combina la fuerza de arrastre expresada en kilos y la velocidad de avance medida en kilómetros por hora. La medida de potencia comúnmente utilizada es el “caballo de fuerza” (HP por su sigla en inglés).
- 5 En MGAP (2003) se señala que, en promedio, el 73% de los predios de hasta 50 hectáreas poseen tractor y que estos niveles se incrementan a medida que aumenta el tamaño medio de los predios agrícolas, hasta llegar al 100% para predios de más de 1000 (ha). No obstante, la creciente complejidad de las tareas agrícolas requiere del uso de implementos agrícolas como arados de cincel, excéntricas aradoras, fumigadoras, sembradoras de siembra directa y cosechadoras y, a diferencias de lo que ocurre con la difusión del tractor, solo una parte del universo de las explotaciones agrícolas dispone de los implementos necesarios. A modo de ejemplo, solo el 28.9% de los predios de hasta 50 (ha) poseen arados de cincel y solo el 6% cuentan con sembradoras de siembra directa. Estos niveles se incrementan considerablemente con la escala de producción, pero incluso, no todos los predios de mayor tamaño logran cubrir autónomamente sus necesidades. Se argumenta que por esa razón el 60% de las explotaciones con agricultura, contrataron algún servicio de maquinaria –ya sea brindado por otros productores u empresas de maquinaria–, con independencia de su escala agrícola.
- 6 La estimación del VAB agropecuario departamental de Uruguay en el período 1908-2000 realizada por Araújo et al. (2015) permitió identificar que la zona sur y litoral de Uruguay es donde se ha concentrado, históricamente, la actividad agrícola en el país.
- 7 En Uruguay, en el año 2010 la potencia del parque de tractores resulta la máxima del periodo, en base a esta evidencia el coeficiente S se fija adicionando un 1% a ese valor dado que es el que presenta un mejor ajuste del modelo. Este criterio se utiliza para los 19 departamentos.

BIBLIOGRAFÍA

- ALCÓN, Francisco, GÓMEZ, María y FERNÁNDEZ-ZAMUDIO, María (2006). “Modelización de la difusión de la tecnología de riego localizado en el Campo de Cartagena”, *Estudios Agrosociales y Pesqueros*, n.º 210, 2006 (pp. 227-245)
- ALONSO, José (1984). La problemática tecnológica del agro uruguayo. En CIEDUR (Ed.), *La Cuestión Agraria* (pp. 197-217). Montevideo.
- ARAUJO, Micaela, CASTRO, Pablo y WILLEBALD, Henry (2015). “Actividad agropecuaria en Uruguay (1908-2000) localización geográfica y hechos estilizados”, *Revista de Economía del Banco Central del Uruguay*, Segunda Época, Vol. 22, Nº 2. Montevideo, Uruguay, pp. 127-190.
- ARBELETICHE, Pedro (2016). *Análisis de la agricultura desde la perspectiva de la Economía industrial: el caso de Uruguay*. Tesis doctoral en problemas actuales e históricos de la economía, Departamento de Análisis Económico, Universidad de Alicante, Alicante, España.
- BAPTISTA, Belén (2016). *Políticas de innovación en Uruguay: pasado, presente y evidencias para pensar el futuro*. Tesis Doctoral en Ciencias Sociales Opción Historia Económica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- BAPTISTA, Rui (1999). “The diffusion of process innovations: A selective review”. *International Journal of the Economics of Business*: 6(1), 107-129.
- BARRÁN, José Pedro y NAHUM, Benjamín (1967): *Historia Rural del Uruguay moderno*, tomo I: 1851-1885. Montevideo: Ediciones de la Banda Oriental.
- BERETTA, Alcides (Coord.) (2011). *Agricultura y modernización. 1840-1930*, Montevideo, UDELAR-CSIC, 2013, pp.91-116.
- BERTINO, Magdalena y TAJAM, Héctor (1999). *El PBI de Uruguay 1900 – 1955*, Instituto de Economía, Facultad de Ciencias Económicas y de Administración, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
- BERTINO, Magdalena y BUCHELI, Gabriel (2000). “La agricultura en el Uruguay 1911-1930”, *Serie Documentos de Trabajo, Instituto de Economía*, DT 08/00.
- BERTINO, Magdalena, BERTONI, Reto, TAJAM, Héctor y YAFFÉ, Jaime (2001). “El desempeño económico global: del modelo agro-exportador a la industrialización sustitutiva de importaciones”, *Serie Documentos de Trabajo, Instituto de Economía*, DT 05/01.
- CALATRAVA, Javier y FRANCO, J. Agustín (2011). “Using pruning residues as mulch: Analysis of its adoption and process of diffusion in Southern Spain olive orchards”. *Journal of Environmental Management* 92, 620-629.
- CASTRO SCAVONE, Pablo y WILLEBALD, Henry (2017a) “Desigualdad regional del ingreso en Uruguay durante la Primera Globalización: primeras estimaciones y algunas hipótesis”. Ponencia presentada en VII Jornadas Académicas de la Facultad de Ciencias Económicas y de Administración (Udelar), Montevideo, noviembre.
- CASTRO SCAVONE, Pablo y WILLEBALD, Henry (2017b) “The location of production and economic geography. The case of agriculture in Uruguay (1870-2008)”. Ponencia presentada en el seminario del Programa de Historia Económica y Social (PHES-FCS), Montevideo, octubre.
- CASTRO SCAVONE, Pablo y WILLEBALD, Henry (2016) “Agricultural land prices in Uruguay in the long-run (1900-2010): an empirical approach from the technological change”. Ponencia presentada en Agriciometrics II. “Drivers of Agricultural Change”. Second Quantitative Agricultural and Natural Resources History Conference, Zaragoza, Junio.
- CASTRO SCAVONE, Pablo (2017). *Distribución de la producción y geografía económica, el caso del agro en Uruguay (1870-2008)*, Tesis de Maestría en Historia Económica, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay (Mimeo).
- DOSI, Giovanni, FREEMAN, Christopher, NELSON, Richard, SILVERGER, Gerald y SOETE, Luc (1988). *Technical Change and Economic Theory*. pp. 646, London, Pinter.
- ERREA, Eduardo, PEYROU, Juan, SECCO, Joaquín y SOUTO, Gonzalo (2011). *Transformaciones en el agro uruguayo*, Universidad Católica, Montevideo, Uruguay.
- FERNÁNDEZ AGUERRE, Tabaré. (2002). Cambios en la estructura agraria del Uruguay entre 1951 y el 2000: una aproximación descriptiva desde la distribución de la tierra. *Estudios Sociológicos, XX* (2), 387-424
- GRILICHES, Zvi (1957). “Hybrid Corn: an Exploration in the Economics of Technological Change”. *Econometrica*, Vol. 25, No. 4 (Oct., 1957), pp. 501-522.
- GROSS, Daniel (2017). “Scale versus Scope in the Diffusion of New Technology: Evidence from the Farm Tractor”. *Harvard Business School Working Paper*, No. 16-108, March 2016. (Revised October 2017).
- JACOB, Raúl (1984). *Los principales modelos históricos*. In CIEDUR (Ed.), *La Cuestión Agraria* (pp. 7- 23). Montevideo.

- JARVIS, Lovell (1981). "Prediction the diffusion of improved pastures in Uruguay". *American Journal of Agricultural Economics*, Volume 63, Issue 3, pages 495-502
- KLACZKO, Jaime y RIAL, Juan (1981). *Uruguay, el país urbano*, CLACSO, Comisión de Desarrollo Urbano y Regional, Ediciones de la Banda Oriental, Montevideo, Uruguay.
- MANSFIELD, Edwin (1961). Technical change and the rate of imitation. *Econométrica*, 29, pp. 741-766.
- MARTÍNEZ-GALARRAGA, Julio, RODRÍGUEZ-MIRANDA, Adrián y WILLEBALD, Henry (2016). "Regional income inequality in Uruguay in a century (1908-2008). Did public production policy contribute to an equalizing process?". Ponencia presentada en *V Congreso Latinoamericano de Historia Económica* (CLADHE), San Pablo.
- METCALFE, John (1981). "Impulse and Diffusion in the Studie of Technological Change". *Futures* 13(5).
- MGAP - DIEA (1987). *Características de la mecanización en el agro uruguayo*. Montevideo.
- MGAP – DIEA (1908, 1916, 1930, 1943, 1946, 1950, 1960, 1970, 1980, 1990 y 2000 y 2011). *Censos Agropecuarios Nacionales*.
- MGAP – DIEA (2003). *La agricultura de secano en Uruguay. Contribución a su conocimiento*, Montevideo, Uruguay.
- MORAES, María Inés (2008). "El hombre y la relación con la naturaleza: un enfoque a través de los paisajes agrarios", En Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente, *Tierra de encuentros*, Montevideo, Uruguay, pp. 130-181.
- MUÑOZ, Ricardo, LLANOS, José y Sáez, Luís (2011). "Relación entre el Parque de Tractores Agrícolas y el Patrón de Difusión y Adopción mediante un Modelo Logístico". *Inf. tecnol.* vol.22 no.6 La Serena 2011.
- PAOLINO, Carlos (1990). *Estagnacao e dinamismo na pecuaria uruguaya: uma abordagem heterodoxa*. Tese de Doutoramento apresentada ao Instituto de Economía de Universidade Estadual de Campinas, Brasil.
- PÉREZ ARRARTE, Carlos (1984). La estructura agraria en Uruguay. En CIEDUR (Ed.), *La Cuestión Agraria* (pp. 69- 131). Montevideo.
- PÉREZ, Carlota (2001). "Cambio tecnológico oportunidades de desarrollo como blanco móvil". *CEPAL, Revista* n° 75
- PÉREZ, Carlota (2009). "Las revoluciones tecnológicas y paradigmas tecno-económicos", *Documentos de Trabajo en Tecnologías de Gobernabilidad y Dinámica Económica*, N ° 20, Fundación El Otro Canon, Noruega y la Universidad de Tecnología de Tallin, Estonia.
- PIÑEIRO, Diego (2001). "Los trabajadores rurales en un mundo que cambia: el caso de Uruguay". *Agrociencia*, Vol. V N°1, 68-75
- POSSAS, Mario, SALLES-FILHO, Sergio y MARIADA-SILVEIRA, José (1996). "An evolutionary approach to technological innovation in agriculture: some preliminary remarks". *Research Policy*, Volume 25, Issue 6, September 1996, Pages 933-945.
- ROSENBERG, Nathan (1976). *Perspectives on technology*. Cambridge University Press. Londres.
- ROGERS, Everett (2003). *Diffusion of Innovations*, Fifth Edition. New York: Free Press.
- SCARLATO, Guillermo y RUBIO, Ladislao (1994). *Relaciones agricultura – industria: dinámica y tendencias*. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay.