



¿Cuánto tiempo requiere la adopción de nuevas tecnologías en el sector agropecuario?

How long does it take for agricultural firms to adopt new technologies?

Rodolfo G. Frank

Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria

Resumen

El proceso de adopción de una innovación es bien conocido cualitativamente. En cambio, cuantitativamente hay poca información para la Argentina. Por ello, el objetivo de este trabajo es cuantificar la función de adopción de diversas innovaciones ya adoptadas para determinar la duración del proceso. En este sentido se estudiaron el reemplazo del ganado criollo por razas mejoradas, la difusión de la segadora, la expansión del alfalfa y de nuevos cultivos anuales, el reemplazo de la tracción animal de las máquinas agrícolas por la tracción mecánica, la adopción de nuevas variedades de plantas cultivadas, el uso de herbicidas, la siembra directa y la difusión de tecnologías de información y comunicaciones. En los casos estudiados se obtuvo por lo general un buen ajuste de las funciones sigmoideas a los datos observados y notables diferencias en las duraciones del proceso de adopción. En general, la duración del proceso es proporcional a la inversión requerida, tanto de capital como de nuevos conocimientos. Por otra parte, cuanto mayor es la reducción de costos y riesgos de una nueva tecnología, menor es la duración del proceso de adopción. Otro factor que reduce la duración es la obsolescencia de una tecnología antigua.

Palabras clave: adopción, innovación, función logística, función de Gompertz, duración del proceso de adopción.

Abstract

The process of adopting an innovation is qualitatively well known. On the other hand, there is quantitatively little information for Argentina. Therefore, the objective of this paper is to quantify the adoption function of various innovations already adopted in the country to determine the duration of the process. In this sense, the replacement of Creole cattle by improved breeds, the adoption of the reaper, the expansion of alfalfa and new annual crops, the replacement of animal traction of agricultural machines by mechanical traction, the adoption of new varieties of cultivated plants, the use of herbicides, the adoption of no tillage and information and communications technologies are studied. In the examples studied, a good fit of the sigmoid functions to the observed data and notable differences in the duration of the adoption process were generally obtained. In general, the duration of the process is proportional to the investment required, both in capital and new knowledge. On the other hand, the greater the cost and risk reduction of a new technology, the shorter is the adoption process. Another factor that reduces lifespan is the obsolescence of old technology.

Keywords: adoption, innovation, logistic function, Gompertz function, duration of the process of adoption.

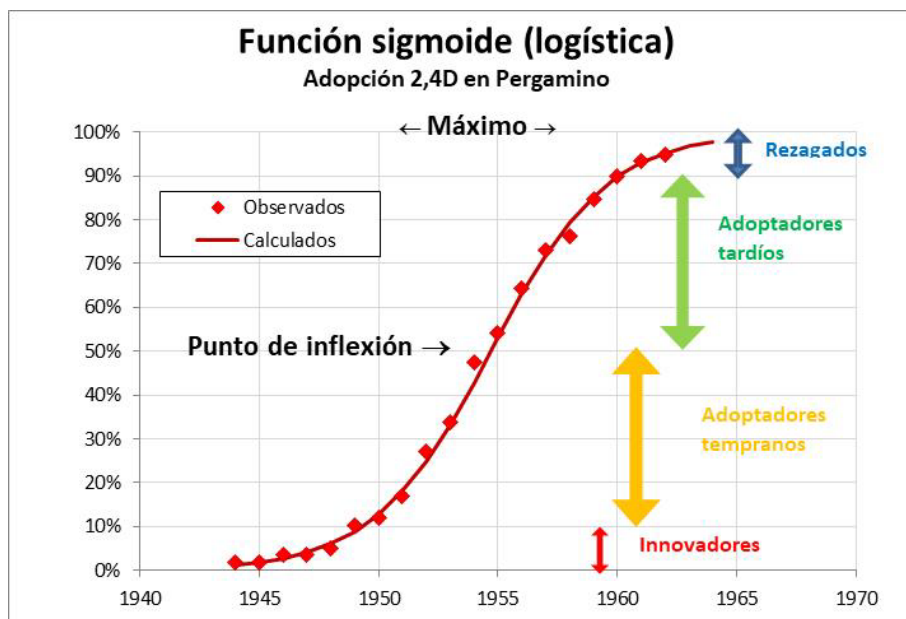
1. Introducción

En mayor o menor medida, continuamente hay hallazgos o nuevas invenciones. Esto puede ser el resultado de descubrimientos casuales o investigaciones encaminadas con la finalidad de encontrar una solución para un problema dado. Pero ello no es suficiente. Es necesario adaptar, ajustar, precisar, ensayar, etc. el nuevo producto o servicio al uso práctico de los usuarios, en este caso los productores agropecuarios. Este proceso se conoce como investigación y desarrollo (I&D). Superada la etapa de I&D es necesario producir los insumos

necesarios para la innovación, comercializarlos y difundir la nueva tecnología para que llegue al conocimiento de los usuarios. Recién después de ello comienza el proceso de adopción, que no es instantáneo. Por lo general requiere tiempo hasta que los productores conozcan la innovación, se interioricen de la misma, se capaciten para aplicarla, hagan algún ensayo y cuenten con o reúnan el capital que generalmente requiere su adopción definitiva. Es importante destacar que una tecnología nueva demanda una doble inversión: una inversión en capital y una inversión en conocimientos. En qué medida y proporción se hallan ambas depende de cada innovación.

Existe abundante bibliografía sobre innovación, cuya detallada consideración excede el objetivo de este trabajo. Sólo se recordará aquí que nuestra Academia publicó en 1994 un amplio estudio sobre la materia¹. El proceso de adopción es bien conocido. Comienza con un grupo de innovadores, siguen luego los adoptadores que van adoptando masivamente la nueva tecnología y termina con un pequeño grupo de rezagados hasta completar una adopción generalizada. Graficando este proceso en función del tiempo se obtiene una curva sigmoidea que muestra la cantidad adoptada o de adoptadores de la nueva tecnología. Los innovadores son la rama inicial, de lento pero sostenido incremento. Estos son seguidos por los adoptadores, la parte más empinada de la curva. Finalmente, hacia el final, la curva va achatándose, haciéndose asintótica al 100 % de adopción con los rezagados.

Gráfico 1



Si bien este proceso es conocido cualitativamente, lo que es menos sabido son datos

¹ Ras, Norberto, Roberto Caimi, Carlos Fernández Alsina y Carlos Pastor. La innovación tecnológica agropecuaria; aspectos metodológicos de la transferencia de tecnología. Buenos Aires, Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, 1994. 389 p.

cuantitativos para nuestro país. Por ejemplo, cuánto tiempo requiere cada etapa, cuándo se da el punto de inflexión y si la forma de la curva es simétrica o asimétrica. El objetivo de este trabajo es cuantificar la función de adopción de diversas innovaciones ya adoptadas para poder responder a estos interrogantes.

Para la misma se recurrió a información disponible de cada innovación, cuantificarlas mediante funciones apropiadas y calcular resultados. Se espera que éstos permitan lograr inferencias generales acerca del proceso de adopción y una descripción más precisa del proceso. No es objetivo de este trabajo indagar acerca de las causas de las diferentes duraciones de las innovaciones. O sea que se limita a la descripción del fenómeno.

Materiales y Métodos

La información disponible de la cual se pueden extraer datos que permiten cuantificar el proceso de adopción son 1) los censos², 2) las estadísticas corrientes³, 3) encuestas realizadas con la finalidad de investigar el proceso de adopción, 4) estimaciones de expertos, simulaciones y similares y 5) datos de hechos que no son la innovación en sí pero que se hallan estrechamente vinculados a la misma. Los censos y las estadísticas corrientes -y generalmente también las estimaciones- proporcionan datos referidos a cantidades adoptadas (hectáreas, cabezas, etc.). Las encuestas a productores, en cambio, se refieren a personas o explotaciones adoptantes. Esto puede parecer una distinción demasiado sutil, pero puede conducir a resultados no totalmente comparables, especialmente allí donde las diferencias de magnitud entre las explotaciones chicas y las grandes es considerable. Asimismo, son menos comparables los resultados obtenidos de una y de la otra fuente. También se pueden suplir datos faltantes por estimaciones realizadas por conocedores del medio, o por simulación. Desde luego, estos datos son los menos precisos y sólo pueden aceptarse si hay alguna forma de confirmarlos mediante otras verificaciones. Otra posible fuente de datos consiste en recurrir a hechos estrechamente vinculados con la innovación, los *proxy* como los denominan los economistas.

En este trabajo los datos obtenidos de las diversas fuentes se transformaron a un formato normalizado a fin de hacer comparables las innovaciones entre sí. Este formato consiste en expresar los adoptantes o la cantidad adoptada como porcentaje del universo. Así, la adopción total es el 100 %. Esto requiere también

² Hubo censos nacionales con información agropecuaria en 1888, 1895, 1908, 1914, 1922, 1930, 1937, 1947, 1952, 1960, 1969, 1988, 2002 y 2018 (algunos de ellos fueron exclusivamente ganaderos). A ello hay que agregar compilaciones sobre la superficie cultivada de 1872 y 1875 que difícilmente se pueden considerar censos pues descansan, en parte, en estimaciones. También hubo censos provinciales. Aquí no se harán las citas bibliográficas de cada uno de ellos por considerarlos suficientemente conocidos.

³ Por estadísticas corrientes se entienden aquí los datos estadísticos recogidos periódicamente y publicados por organismos oficiales o privados. Cuando se trata del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca o el Inst. Nac. de Estadística y Censos (INDEC) no se realizará aquí la cita bibliográfica por considerarla conocida. Una compilación de ellas puede hallarse en la base de datos del autor en https://www.anav.org.ar/sites_personales/5/

una cuantificación correcta del universo. Ello fue sencillo en el caso de la mestización del ganado pues los censos informan el total de cabezas y la cantidad de mejoradas. En cambio, no es fácil establecer el máximo de un cultivo nuevo que se va difundiendo.

Es necesario precisar cuándo se considera adoptada una nueva tecnología. A este respecto hay que distinguir entre una adopción definitiva y una facultativa. Por definitiva se entenderá una adopción irreversible o sea de la que no se puede volver atrás y que es la tecnología que se emplea habitualmente desde el momento de la adopción. Por facultativa se considerará aquella innovación de la que se disponen los medios y los conocimientos para ejecutarla, pero que no necesariamente se realiza.

Cuando en todas las observaciones de un caso se conocen tanto la cantidad adoptada como el total de unidades (el universo o sea el máximo) se hablará aquí de adopción. Cuando sólo se conoce la cantidad adoptada se hablará de difusión de la tecnología. En este caso es necesario estimar el máximo para precisar la finalización del proceso de adopción y con ello delimitar los datos a emplear en los cálculos. Ello no es sencillo pues la nueva tecnología puede seguir expandiéndose o simplemente mantenerse más o menos constante a lo largo del tiempo. El criterio adoptado aquí es dar por finalizado el período de adopción cuando se observa un estancamiento en la difusión, incluso si es por un período transitorio. Esto se puede dar en el caso de una adopción facultativa: si bien se cuenta con los conocimientos y los medios para poner en marcha la innovación, no necesariamente se hace. La adopción del sorgo granífero en la década de 1950 puede ser un buen ejemplo. Todo productor que cultivaba maíz tenía una sembradora de granos gruesos y demás máquinas apropiadas para el cultivo del sorgo. Además, la tecnología es bastante parecida al maíz, requiriendo pocos conocimientos nuevos. Si ya hay una buena difusión del cultivo es de presumir que también el que aún no lo adoptó ha adquirido la información necesaria para cultivarlo por referencias de quienes lo hicieron o por otros medios. Pero la adopción la realiza sólo si el sorgo es económicamente competitivo frente a los restantes cultivos estivales. O sea, su adopción es facultativa. Independientemente de lo anterior, la difusión no deja de ser un *proxy* de la adopción, y por lo tanto tiene sus limitaciones. La principal es que es un indicador imperfecto de la cantidad de productores adoptantes. Imperfecto pues no informa la cantidad de productores sino sólo la cantidad de unidades de la innovación.

En muchos casos, la información disponible dista de ser una serie continua y uniforme. Para cuantificar el proceso de adopción, o sea la cantidad adoptada o la de adoptantes en cualquier momento del proceso, son necesarias funciones continuas. Si estas funciones se ajustan bien a los datos, se puede considerar que son representativas del proceso, permitiendo extraer conclusiones sobre la marcha del mismo. Las funciones aquí empleadas en el ajuste son la logística y la de Gompertz.

La función logística es una función simétrica a ambos lados del punto de inflexión de la curva. Se puede expresar en distintas formas. En este trabajo se utilizó la siguiente:

$$y = \frac{m}{1 + e^{(a + b x)}}$$

en la cual y es la cantidad acumulada de adopción (tanto por uno en nuestro caso), x el año (aquí, el año de nuestra era), m es el máximo de la función o sea el valor al que tiende la adopción plena (en este caso el 100 % o sea 1), a y b los parámetros de la función obtenidos en su ajuste y e el número de Euler, base de los logaritmos naturales o simplemente número e (2,718281...). El punto de inflexión de la curva en la función logística es $x = -a/b$, coincidente con el 50 % adoptado. La tasa de variación de y en cada momento x , o sea la pendiente en ese punto, es la derivada dy/dx (esta tasa es máxima en el punto de inflexión)

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{-m b e^{(a + b x)}}{\left(1 + e^{(a + b x)}\right)^2}$$

y el valor de x para un valor dado de y es

$$x = \frac{\left(\ln\left(\frac{m}{y}\right) - 1\right) - a}{b}$$

Con estos resultados se tiene la información principal para una adecuada descripción del proceso de adopción, y se pueden deducir otros resultados de interés.

La función de Gompertz es asimétrica, en el sentido que la parte inicial de la curva, la que se halla a la izquierda del punto de inflexión, es más breve que la parte derecha. En otros términos, el proceso de adopción es más acelerado al principio y más lento al final. En este trabajo la función de Gompertz utilizada fue

$$y = \frac{m}{1 + e^{(a e^{(bx)})}}$$

con los mismos símbolos que en la función anterior.

El punto de inflexión de la función de Gompertz es $x = -\ln(a) / b$. En esta función, el punto de inflexión se da antes de haber alcanzado la mitad acumulada de adoptantes. Concretamente, con $m = 1$ la cantidad acumulada en el punto de inflexión es $y = 1/e$ o sea $y = 0,367879$ o, si se prefiere, el 36,8 %. O más generalmente, este punto se da con $y = m/e$.

La tasa de variación es igual a la derivada:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = b y \ln\left(\frac{y}{m}\right)$$

y el valor de x para un valor dado de y es

$$x = \frac{\left[\ln\left(\ln\left(\frac{m}{y}\right)\right) - \ln(a) \right]}{b}$$

Con esta ecuación se puede determinar la mitad acumulada de adoptantes. Con el máximo $m = 1$ y la mitad $(0,5)$ se tiene $x = (\ln(\ln 2) - \ln a) / b$ o sea $x = (0,3665129 - \ln a) / b$.

Ambas funciones se pueden linealizar y resolver mediante los métodos estadísticos corrientes (mínimos cuadrados), hallando los parámetros a y b . Tanto en la función logística como en la Gompertz a es positivo y b negativo. Con ellos se puede ajustar la función correspondiente, deducir los restantes resultados así como conocer la bondad del ajuste desde el punto de vista estadístico.

Las dos funciones son asintóticas tanto a su respectivo eje de las abscisas como al máximo m . Por ello no permiten determinar en el tiempo los momentos de inicio y finalización del proceso de adopción. Sin embargo, en la práctica existe el inicio. En algunos casos el comienzo es conocido, por ejemplo cuándo estuvo disponible una nueva tecnología y comenzó a difundirse (vgr. cuándo comenzó a venderse un agroquímico dado). Pero también hubo tecnologías consistentes en cambiar algo ya existente y cuyo comienzo es un tanto difuso. Pueden ser los casos de ciertos cultivos que ya se cultivaban en pequeña escala desde un tiempo atrás, como la soja, de la cual se cuenta con datos estadísticos desde la campaña 1937/38 pero que recién comenzó a adoptarse masivamente en la región pampeana en la década de 1970. También puede considerarse que una nueva tecnología comenzó cuando se tienen estadísticas al respecto, si bien por lo general las estadísticas se comienzan a reunir cuando ya la adoptó una cierta cantidad de productores.

Tampoco el momento final del proceso de adopción suele tener una definición precisa. En principio se da cuando la adopción se acerca al 100 %. Esto acontece cuando la antigua tecnología se volvió obsoleta y no es posible obtener los bienes y servicios necesarios para implementarla o continuarla, o simplemente se volvió antieconómica. Muchas tecnologías no finalizan abruptamente sino que dejan de usarse gradualmente. En este caso, la adopción finaliza cuando se llegó al máximo de la nueva tecnología. Hay que tener presente que aquí se estudia la adopción y no la evolución de una tecnología. Por ello, los datos empleados terminan en el momento final del proceso de adopción y no incluyen su evolución posterior. Por ejemplo, el lino llegó a un máximo de superficie en la década de 1930, comenzando luego su declinación hasta la actualidad, en que se cultivan pocas hectáreas en nuestro país.

Desde luego, también existen otras funciones de curvas sigmoideas que se podrían haber utilizado para ajustar los datos disponibles. Se consideró en especial la función de Richards⁴ que tiene la ventaja de ubicar el punto de inflexión en cualquier lugar de la curva, o sea que es mucho más flexible que la logística y la de Gompertz. Pero la función de Richards tiene las siguientes limitaciones: 1) no se puede linealizar y por consiguiente tratar estadísticamente como las otras dos funciones, 2) por la razón anterior, su ajuste es complicado requiriendo programas de computación específicos y 3) la ubicación del punto de inflexión es un dato que se debe introducir junto a los restantes, y no el resultado del ajuste de la función. Esto último implica que el punto de inflexión se debe hallar por tanteo, viendo con qué valor se obtiene el mejor ajuste. Ello empalidece bastante la ventaja de poder ubicarlo en cualquier lugar de la curva. Dado que con las funciones logística y Gompertz se lograron en general buenos ajustes -como se verá más adelante- ante las limitaciones apuntadas en la de Richards no se siguió adelante con esa función.

En este trabajo se consideran nueve innovaciones importantes ocurridas en los últimos 200 años. En cada una de ellas hay varios casos estudiados, que en total suman 30. Por cierto, en un período tan prolongado, hubo muchas más innovaciones destacadas, pero la disponibilidad de datos cuantitativos limitó fuertemente las posibilidades de incluirlas.

3. Resultados

Los resultados se presentarán aquí innovación por innovación tecnológica. En cada una de ellas puede haber más de un caso por haber considerado varios universos, como por ejemplo total de Argentina y total de la Región Pampeana, o bien siembra directa en soja, en maíz y en trigo. Las cifras consignadas se refieren a la función que mejor se ajustó a los datos de cada caso (logística o Gompertz) de acuerdo a sus respectivos coeficientes de determinación R^2 ajustados. En dos tercios de los casos fue la función logística. Según el análisis estadístico todas las funciones calculadas, salvo dos, fueron estadísticamente muy significativas de acuerdo al estadístico F. En el 57 % de ellas el coeficiente de determinación ajustado R^2 fue mayor a 0,9.

El sociólogo estadounidense Everett Rogers (1931-2004) propuso una escala para delimitar las distintas etapas de la adopción basada en la distribución normal y las desviaciones standard (redondeadas). Así, denominó innovadores al 2,5 % inicial (dos desviaciones standard), adoptadores tempranos al 13,5 % siguiente, mayoría temprana al 34 %, mayoría tardía al siguiente 34 % y rezagados al 16 % restante. En la bibliografía la función se suele denominar “curva de Rogers”, que no es más que la curva de Gauss acumulada. Aquí, dado que no se usa la función normal, empleamos otra escala. Consideramos innovadores al 10 % inicial de los adoptantes de acuerdo a la función empleada, adoptadores tempranos a quienes se hallan dentro del 10 al 50 %, adoptadores tardíos quienes están entre el 50 y el 90 % y

⁴ RICHARDS, F. J. 1959. A flexible growth function for empirical use. *Journal of Experimental Botany* 10:290-300.

rezagados los que se hallan más allá del 90 %. La suma de adoptadores tempranos más tardíos la denominemos aquí adopción masiva. Se considera que una tecnología comienza a adoptarse cuando llega al 1 % de los adoptantes. Este es un límite un tanto arbitrario, pero necesario y razonable. Necesario pues ambas funciones son asintóticas en su origen. Razonable, pues se supone que porcentajes inferiores se refieren a casos aislados esporádicos, ensayos de productores previos a la adopción definitiva, situaciones atípicas o similares. Este comienzo calculado no necesariamente coincide con el momento en que comenzó la nueva tecnología, si éste es conocido. No debe olvidarse que la función ajustada, al ser asintótica al eje de las abscisas, no puede llegar a un valor igual a cero. En el otro extremo, se supone que el proceso de adopción finaliza cuando la función ha llegado al 99 %. También aquí el límite es arbitrario pero necesario y razonable. Pueden mantenerse tecnologías obsoletas por razones tradicionalistas, museológicas, didácticas, ideológicas o simplemente excentricidades de algunos pocos casos no representativos. Como ya se mencionó al pasar, más allá del valor $y = 0,5$ (o sea el 50 %) se tiene que la innovación fue adoptada por la mayoría. En la función logística coincide con el punto de inflexión de la curva, pero en la de Gompertz es posterior a ésta.

En lo referente a los cómputos hay que recordar que no existe el logaritmo de cero. En caso que fue necesario incluir una adopción del 0 % para precisar mejor el comienzo de la serie de datos, se utilizó un valor muy pequeño en su lugar. Al linealizar la función logística también se da la situación que un 100 % conduce a problemas calculatorios, en cuyo caso se empleó un valor menor cercano, como por ejemplo 99,99 %.

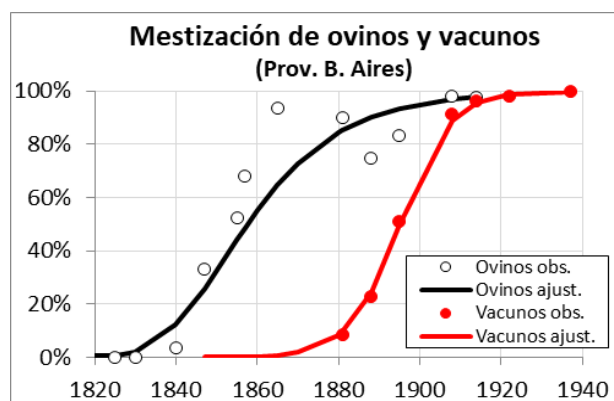
3.1. La mestización del ganado

Por mestización se entiende el proceso de reemplazo del ganado criollo por razas mejoradas. Se pudieron reunir datos de ovinos y vacunos.

Si bien ya Manuel de Lavardén importó merinos a fines del siglo XVIII y Thomas Lloyd Halsey lo hizo en 1813, puede decirse que la mestización con merinos comenzó cuando Sheridan y Harratt fundaron la cabaña "Los Galpones" hacia 1825. Como en esa época no había estadísticas se tuvieron que utilizar estimaciones tanto de la cantidad de puros y mestizos como las existencias totales de ovinos. Para los años 1830 y 1840 se efectuó una simulación para determinar las existencias de puros y mestizos, utilizando la función exponencial de crecimiento (como la del interés compuesto) a partir de 1825. Para 1855 y 1857 se pudieron deducir porcentajes de mestizos a partir de datos del Registro Estadístico de la Provincia de Buenos Aires para esos años⁵. Recién con el primer censo provincial de Buenos Aires de 1881, que aportó datos discriminados entre criollos y el resto, se tuvo información más confiable. Los datos empleados en el cómputo se refieren a esa provincia pues allí se dio principalmente el auge ovino de ese siglo.

⁵ Registro Estadístico del Estado de Buenos Aires 1857. B. Aires, 1858. t. 1 p. 125 a 157.

Gráfico 2



La mestización de los vacunos con razas británicas de carne fue más tardía. Si bien ya alrededor de 1830 John Miller importó el primer toro Shorthorn (Tarquino), el reemplazo del criollo fue muy lento hasta fines de los '70. Recién cuando se dio la posibilidad de exportar animales en pie y más adelante carne congelada a Europa en lugar de cueros y tasajo, la mestización se volvió más acuciante. Los datos utilizados para la estimación de la función fueron los provenientes de los censos. Los resultados hallados se reproducen en el Cuadro 1.

Cuadro 1						
Mestización del ganado						
Innovación	Caso	Ovinos	Vacunos	Vacunos	Vacunos	Vacunos
	Area abarcada	Buenos Aires	Argentina	Reg. Pamp.	Reg. Extrap.	Buenos Aires
	Comienzo innovación	1825	hacia 1880	hacia 1880	hacia 1880	hacia 1830
Datos	Fuente de los datos	Censos y est.	Censos	Censos	Censos	Censos
	Unidad de medida de los datos	cabezas	miles de cab.	miles de cab.	miles de cab.	miles de cab.
	Mínimo de los datos	200	3.427	3.254	173	403
	Máximo de los datos	53.000.000	46.000	35.000	13.000	16.000
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1825-1914	1888-1960	1888-1960	1888-1960	1881-1937
	n (de la serie)	12	9	9	9	7
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Gompertz	Gompertz	Gompertz	Gompertz	Logística
	Máximo del universo	Tot. ovinos	Tot. vacunos	Tot. vacunos	Tot. vacunos	Tot. vacunos
	a (parámetro)	4,449E+50	2,2226E+30	4,2619E+43	1,7820E+23	294,6300389
	b (parámetro)	-0,062978	-0,0368355	-0,053181	-0,0277849	-0,155565097
	Probabab azar de b	2,54E-05	1,040E-04	1,408E-04	1,182E-04	1,279E-06
Coet. de determinación (R ² ajustado)	0,827	0,883	0,873	0,879	0,992	
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1851,8	1897,0	1889,1	1926,8	1893,9
	Tasa máxima de crecimiento	2,3%	1,36%	2,0%	1,02%	7,8%
	Año comienzo calculado (1 %):	1827,5	1855,5	1860,3	1871,9	1864,4
	Año final innovadores (10 %):	1838,5	1874,3	1873,4	1896,8	1879,8
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1857,6	1906,9	1895,9	1940,0	1893,9
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1887,5	1958,1	1931,4	2007,8	1908,1
	Año final del proceso calcul- (99 %):	1924,8	2021,9	1975,6	2092,4	1923,5
	Duración innovadores (años)	11,0	18,8	13,0	24,9	15,4
	Duración adopt. tempranos (años)	19,1	32,6	22,6	43,2	14,1
	Duración adopt. tardíos (años)	29,9	51,1	35,4	67,8	14,1
	Duración rezagados (años)	37,3	63,8	44,2	84,6	15,4
	Durac. total del procesos (1-99 %)	97,3	166,3	115,2	220,5	59,1
	Duración adopción masiva (10-90 %)	49,0	83,7	58,0	111,0	28,2

Las funciones ajustadas en los casos de la mestización del ganado siguen generalmente una pauta asimétrica (función de Gompertz), o sea que el punto de inflexión (cuando comienza a ralentizarse el crecimiento), se halla antes de llegar al 50 % de los adoptantes. Estadísticamente los ajustes de la función van de buenos a muy buenos (R^2 ajustado entre 0,83 y 0,99). La duración de la adopción masiva (desde que la adoptó el 10 % hasta el 90 %) según la función adoptada es bastante larga: 49 años en los ovinos de la provincia de Buenos Aires y entre 28 a 111 años en los vacunos (esta última en la región extra-pampeana). Aquí se destaca una adopción más rápida en la región pampeana -especialmente en la provincia de Buenos Aires- que en la totalidad del país. Esto se confirma con las tasas máximas de crecimiento, que son muy bajas si se considera la totalidad del país o de la región pampeana, y mayores (especialmente en vacunos) en la provincia de Buenos Aires.

3.2. La segadora

La segadora fue una innovación importantísima en su momento. Reemplazó la dura y agotadora tarea manual de segar el trigo con hoz por un trabajo mecanizado mucho menos penoso. Y redujo sensiblemente el insumo de trabajo, que en la siega manual constituía un pico muy difícil de remontar ante la escasez de brazos. Concretamente, un hombre con hoz segaba 0,015 ha/h y con segadora alrededor de 0,27 ha/h⁶. El progreso de la tecnología mecánica unificó posteriormente la siega con la trilla generando la cosechadora utilizada en la actualidad. Ante ello, la segadora y su importancia en los comienzos de la cosecha mecánica fueron cayendo en el olvido.

⁶ FRANK, RODOLFO G. Trigo y trabajo; ganar el pan con el sudor de la frente. Buenos Aires, Dunken, 2017. 280 p. (Cap. 5)

Cuadro 2			
La segadora			
Innovación	Caso	Mecanización del trabajo	
	Area abarcada	Col. Esperanza	Col. S.Carlos
	Comienzo innovación	hacia 1860	hacia 1860
Datos	Fuente de los datos	Informes	Informes
	Unidad de medida de los datos	cantidad	cantidad
	Mínimo de los datos	5	44
	Máximo de los datos	126	700
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1863-1884	1869-1882
	n (de la serie)	7	9
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística
	Máximo del universo	Estimado	Estimado
	a (parámetro)	561,3300	850,7293
	b (parámetro)	-0,29963	-0,45351
	Probabilidad de b	7,705E-03	2,624E-06
	Coef. de determinación (R ² ajustado)	0,745	0,938
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1873,4	1875,9
	Tasa máxima de crecimiento	7,5%	11,3%
	Año comienzo calculado (1 %):	1858,1	1865,7
	Año final innovadores (10 %):	1866,1	1871,0
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1873,4	1875,9
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1880,7	1880,7
	Año final del proceso calculado (99 %):	1888,7	1886,0
	Duración innovadores (años)	8,0	5,3
	Duración adopt. tempranos (años)	7,3	4,8
	Duración adopt. tardíos (años)	7,3	4,8
	Duración rezagados (años)	8,0	5,3
	Durac. total del procesos (1-99 %)	30,7	20,3
	Duración adopción masiva (10-90 %)	14,7	9,7

El proceso de difusión de la segadora se puede seguir a través de la evolución de sus existencias en las colonias de Santa Fe. Hay informes anuales de los Inspectores de Colonias sobre el estado de cada colonia, algunos de ellos con cuadros estadísticos sobre su población, cultivos, ganados, y también la cantidad de segadoras (y otras máquinas). La información es muy heterogénea. El informe más completo es el de Wilcken⁷. Hay otros bastante detallados, pero también los hay muy escuetos o deficientes. Pese a ello, se ha construido una breve serie sobre la existencia de segadoras para las colonias Esperanza y San Carlos, pero es necesario advertir que su calidad deja de desear, y por consiguiente también la de los resultados hallados. Por otra parte, tomar la existencia de segadoras implica considerar la difusión de la máquina como un *proxy* de la adopción. Los resultados hallados se reproducen en el Cuadro 2.

La existencia de segadoras en ambas colonias sigue una pauta simétrica (función logística). Estadísticamente los ajustes van de regulares a buenos (R² ajustado entre 0,75 y 0,94). La duración de la difusión masiva (desde el 10 % hasta el 90 %) según la función logística se halla entre 10 y 15 años. Esto es un período corto si se tiene en cuenta que exigía una inversión relativamente alta para un

⁷ WILCKEN, GUILLERMO. Las colonias, informe sobre el estado actual de las colonias agrícolas de la República Argentina presentado a la Comisión Central de Inmigración por el Inspector Nacional de ellas, 1872. Buenos Aires, 1873. 354 p.

colono. La rapidez de la difusión se confirma con las tasas máximas de crecimiento -las que se dan en el punto de inflexión- entre el 8 y el 11 %. Es probable que en estas cifras, basadas en la existencia de segadoras, subestimen la adopción de la siega mecánica del trigo por parte de los productores. Es sabido que poseedores de segadoras, aparte del trabajo en su propio predio, también actuaban como contratistas en campos de sus vecinos. Así, Wilcken incluye entre los datos de las colonias, lo que se cobraba por la siega mecánica, o sea con segadoras. En otras palabras, aquí la difusión subestima la adopción.

3.3. La alfalfa

La alfalfa, sea para pastoreo o para henificación, se cultiva desde hace muchos años en nuestro país. Craviotto informa que ya se mencionaba su cultivo a principios del siglo XVIII⁸ y Grigera hace recomendaciones sobre su siembra en su Manual de Agricultura de 1819⁹. Pero siempre fue en pequeñas superficies hasta fines del siglo XIX, principalmente en Cuyo y Córdoba. En la última década de ese siglo comenzó su rápida difusión en la región pampeana, posibilitada por la generalización del alambrado que protegía los cultivos de la invasión del ganado. Fue una innovación importante pues substituyó con ventaja a la vegetación natural, hasta ese entonces la principal forrajera. Los resultados hallados se dan en el Cuadro 3.

La evolución de difusión de la alfalfa muestra una curva sigmoidea simétrica, que se ajusta bastante bien a los valores observados (R^2 entre 0,86 y 0,90). La adopción masiva requirió entre 17 y 21 años, lo que no es mucho si se tiene presente que el ganadero que implantaba alfalfares en esa época lo hacía principalmente mediante colonos que arrendaban su parcela por 3 a 5 años y la devolvían alfalfa. En consonancia con estas duraciones, se tienen tasas máximas de crecimiento entre el 5 y el 7 %, de orden similar a la introducción de nuevos cultivos tratada en el punto siguiente.

⁸ CRAVIOTTO, JOSÉ A. La agricultura. En: Academia Nacional de la Historia. Historia argentina contemporánea 1862-1930 vol. III. Buenos Aires, El Ateneo, 1966. p. 322 y ss.

⁹ GRIGERA, TOMÁS. Manual de agricultura. Buenos Aires, Imprenta de la Independencia, 1819. 45 p.

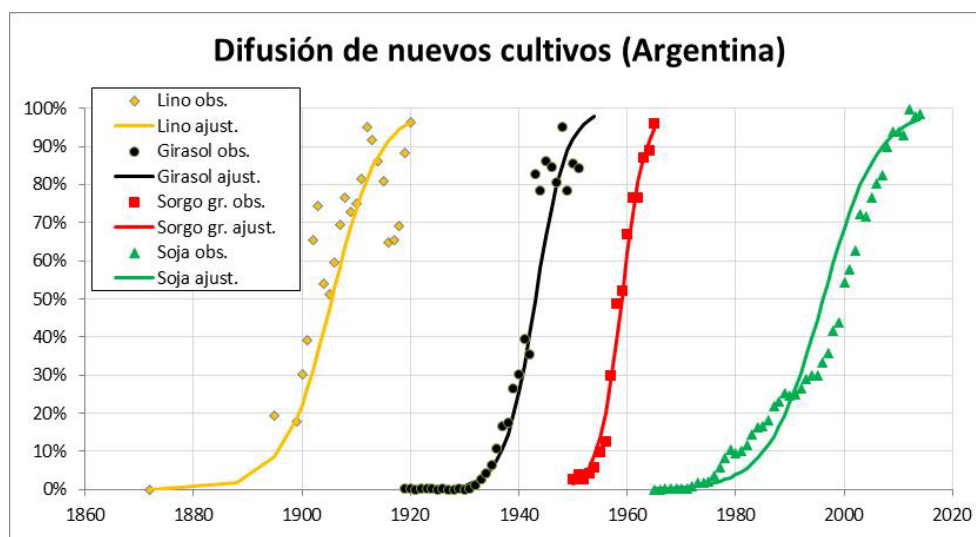
Cuadro 3			
La alfalfa			
Innovación	Caso	Recurso forrajero	
	Area abarcada	Argentina	Reg. Pamp.
	Comienzo innovación	sin determ.	hacia 1870
Datos	Fuente de los datos	Censos y estad. p.	Censos
	Unidad de medida de los datos	miles ha	ha
	Mínimo de los datos	85	21.161
	Máximo de los datos	7.300	5.750.000
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1875-1920	1875-1914
	n (de la serie)	28	5
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística
	Máximo del universo	Estimado	Estimado
	a (parámetro)	398,1500	501,2911
	b (parámetro)	-0,2089	-0,26388
	Probabilidad de b	8,639E-15	1,491E-02
	Coef. de determinación (R ² ajustado)	0,901	0,860
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1905,7	1899,7
	Tasa máxima de crecimiento	5,2%	6,6%
	Año comienzo calculado (1 %):	1883,7	1882,2
	Año final innovadores (10 %):	1895,2	1891,3
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1905,7	1899,7
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1916,2	1908,0
	Año final del proceso calcul- (99 %):	1927,7	1917,1
	Duración innovadores (años)	11,5	9,1
	Duración adopt. tempranos (años)	10,5	8,3
	Duración adopt. tardíos (años)	10,5	8,3
	Duración rezagados (años)	11,5	9,1
	Durac. total del procesos (1-99 %)	44,0	34,8
	Duración adopción masiva (10-90 %)	21,0	16,7

3.4. Expansión de nuevos cultivos anuales

Para cuantificar la expansión de “nuevos” cultivos anuales se recurrió a los censos del siglo XIX -por no haber una estadística corriente de la superficie sembrada que recogiese los datos anuales- y a las estadísticas corrientes en el siglo siguiente.

El cultivo masivo del lino comenzó en el siglo XIX. Durante el siglo siguiente se difundieron otros tres cultivos: el girasol en la década de 1930, el sorgo granífero en los '50 y finalmente la soja en los '70. El lino logró su máxima superficie sembrada en la campaña 1936/37 con 3,5 millones de hectáreas, el girasol en 1998/99 con poco más de 4,2 millones de hectáreas, el sorgo en 1970/71 con 3,1 millones y la soja en 2015/16 con casi 20,6 millones de hectáreas. Dado que en este trabajo se estudia el proceso de adopción, se considera únicamente el período hasta el año en el que el cultivo puede considerarse adoptado.

Gráfico 3



Algunos cultivos como el lino, el girasol y -en menor medida- el sorgo granífero tuvieron una expansión inicial para entrar luego en algunos años de estancamiento. A éste siguieron años de crecimiento hasta llegar a los máximos apuntados, para luego declinar hasta estabilizarse en un nivel inferior o, como en el caso del lino, a superficies mínimas. A diferencia de otras innovaciones que una vez adoptadas son irreversibles, los cultivos estudiados compiten entre sí y con los restantes (innovaciones facultativas). Aquí, a los efectos de delimitar el período de adopción, se ha considerado como tal el de su expansión inicial y como superficie máxima la alcanzada durante ese primer estancamiento. Los resultados hallados se dan en el Cuadro 4.

Cuadro 4						
Expansión de nuevos cultivos anuales						
Inno- vación	Caso	Lino	Girasol	Sorgo gran.	Soja	Soja
	Area abarcada	Argentina	Argentina	Argentina	Argentina	Santa Fe
	Comienzo innovación	hacia 1880	hacia 1930	hacia 1950	hacia 1965	hacia 1970
Datos	Fuente de los datos	Estad. perm.	Estad. perm.	Estad. perm.	Estad. perm.	Estad. perm.
	Unidad de medida de los datos	hectáreas	hectáreas	hectáreas	hectáreas	hectáreas
	Mínimo de los datos	34	400	37.020	16.575	8.800
	Máximo de los datos	2.000.000	1.900.000	1.400.000	20.100.000	3.600.000
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1872-1920	1919-1951	1950-1965	1965-2014	1969-2014
	n (de la serie)	25	33	16	50	46
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística	Logística	Logística	Logística
	Máximo del universo	Estimado	Estimado	Estimado	Estimado	Estimado
	a (parámetro)	431,7049	680,8622	920,4727	398,8395	337,2256
	b (parámetro)	-0,22656	-0,35041	-0,46988	-0,19981	-0,16944
	Probabilidad de b	1,79E-09	4,07E-16	1,60E-12	6,52E-30	5,68E-19
	Coef. de determinación (R ² ajustado)	0,790	0,881	0,972	0,932	0,834
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1905,5	1943,1	1959,0	1996,1	1990,2
	Tasa máxima de crecimiento	5,7%	8,8%	11,7%	5,0%	4,2%
	Año comienzo calculado (1 %):	1885,2	1929,9	1949,2	1973,1	1963,1
	Año final innovadores (10 %):	1895,8	1936,8	1954,3	1985,1	1977,2
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1905,5	1943,1	1959,0	1996,1	1990,2
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1915,2	1949,3	1963,6	2007,1	2003,2
	Año final del proceso calcul- (99 %):	1925,8	1956,2	1968,7	2019,1	2017,3
	Duración innovadores (años)	10,6	6,8	5,1	12,0	14,2
	Duración adopt. tempranos (años)	9,7	6,3	4,7	11,0	13,0
	Duración adopt. tardíos (años)	9,7	6,3	4,7	11,0	13,0
	Duración rezagados (años)	10,6	6,8	5,1	12,0	14,2
	Durac. total del procesos (1-99 %)	40,6	26,2	19,6	46,0	54,2
	Duración adopción masiva (10-90 %)	19,4	12,5	9,4	22,0	25,9

La difusión de los cultivos considerados sigue una modalidad de función logística. Los R^2 de las funciones ajustadas van de buenos a muy buenos (entre 0,79 y 0,97). La duración de la difusión masiva (desde el 10 % hasta el 90 % del universo considerado) es bastante variable: va de 9 años en el sorgo granífero hasta los 26 años de la soja en la provincia de Santa Fe. Las tasas máximas de crecimiento confirman la velocidad de la difusión. La soja ha experimentado una expansión continua hasta fines de la década de 2010. Ello se debe a que a la región original -la pampeana- se agregó posteriormente el noroeste. Si bien hubo algunos breves “escalones” en este extenso período, es prácticamente imposible fijar un período de expansión inicial seguido de un estancamiento transitorio para fijar objetivamente un máximo aceptable como en los restantes cultivos considerados.

3.5. Tracción mecánica

Hasta comienzos del siglo XX la tracción de las máquinas agrícolas era exclusivamente a sangre (bueyes y caballos). Los pocos casos en que se usaron locomóviles para traccionar arados y otras máquinas no pasaron de ensayos aislados y esporádicos. Recién con la importación sostenida de tractores a partir de alrededor de 1920 se puede decir que comenzó la tracción mecánica de la maquinaria agrícola.

La tracción de las máquinas agrícolas se cuantificó como potencia instalada medida en miles de caballos vapor (CV). Para medir la potencia instalada en la tracción a sangre se tomaron las equivalencias dadas por Frank¹⁰: bueyes 0,55 y caballos de tiro pesado 0,8 CV. Los datos de existencias de bueyes y caballos se hallan en los censos nacionales. Después del censo de 1960 no hay datos censales sobre caballos clasificados por aptitud. Para 1988 se estimó que la cantidad de caballos de tiro pesado guarda la misma proporción que en el censo de 1960. La cantidad de tractores de 1914 a 1930 y su potencia se basa en una estimación del autor tomando en cuenta cifras de compras, bajas y existencias. Después de 1930 son cifras de los censos nacionales.

Los resultados hallados se reproducen en el Cuadro 5. Para una interpretación correcta de estas cifras hay que destacar que no todos los animales de tracción pesada estaban afectados a tareas agrícolas, como así también que los censos agropecuarios censan los tractores existentes en las explotaciones agropecuarias pero no los de los contratistas.

Las funciones ajustadas a la adopción del tractor difieren si se considera el total del país o discriminado entre región pampeana y extra-pampeana. Todos tienen estadísticamente un muy buen ajuste (R^2 ajustado 0,93 y 0,97) con la función adoptada. Incluso en las funciones descartadas el ajuste es bueno (R^2 ajustado 0,81 y 0,91). La duración de la adopción masiva es bastante larga: 34 años si se considera la totalidad del país y 30 si se refiere únicamente a la región pampeana. Esta

¹⁰ FRANK, RODOLFO G. Costos y administración de la maquinaria agrícola. Buenos Aires, Hemisferio Sur, 1977. p. 369.

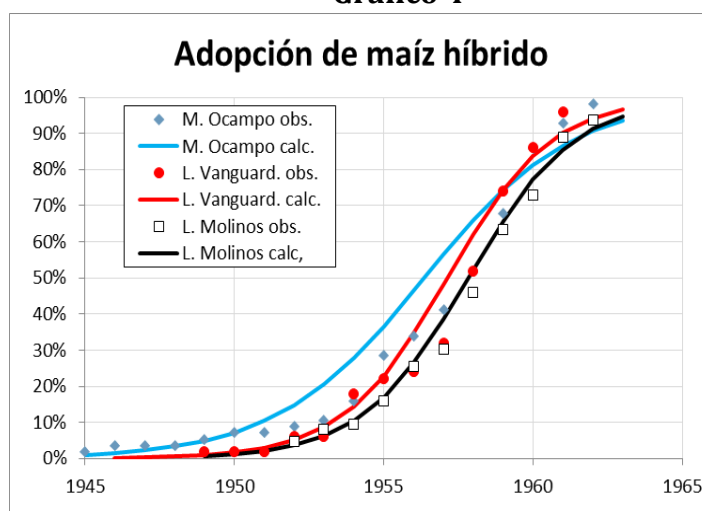
adopción relativamente lenta es comprensible si se tiene en cuenta que requiere una inversión importante -especialmente para un pequeño productor- y además habilidades y conocimientos totalmente distintos a los requeridos en la tracción a sangre.

Cuadro 5				
Tracción mecánica				
Innovación	Caso	Tracción de las máquinas agrícolas		
	Area abarcada	Argentina	Reg. Pamp.	R. Extrapamp.
	Comienzo innovación	hacia 1920	hacia 1920	hacia 1920
Datos	Fuente de los datos	Censos y est.	Censos y est.	Censos y est.
	Unidad de medida de los datos	miles de CV	miles de CV	miles de CV
	Mínimo de los datos	3	3	0
	Máximo de los datos	19.861	13.940	6.659
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1914-2018	1914-2018	1914-2018
	n (de la serie)	10	10	10
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Gompertz	Logística	Gompertz
	Máximo del universo	Tot. pot. inst.	Tot. pot. inst.	Tot. pot. inst.
	a (parámetro)	4,7563E+76	289,1923	2,5350E+75
	b (parámetro)	-0,0911	-0,1488	-0,0892
	Probabilidad de b	1,43E-07	3,241E-06	7,420E-08
	Coef. de determinación (R ² ajustado)	0,970	0,934	0,974
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1938,5	1944,0	1947,0
	Tasa máxima de crecimiento	3,4%	3,7%	3,3%
	Año comienzo calculado (1 %):	1921,7	1913,1	1929,9
	Año final innovadores (10 %):	1929,3	1929,2	1937,7
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1942,5	1944,0	1951,1
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1963,2	1958,8	1972,3
	Año final del proceso calculado (99 %):	1989,0	1974,9	1998,6
	Duración innovadores (años)	7,6	16,1	7,8
	Duración adopt. tempranos (años)	13,2	14,8	13,5
	Duración adopt. tardíos (años)	20,7	14,8	21,1
	Duración rezagados (años)	25,8	16,1	26,4
	Durac. total del procesos (1-99 %)	67,3	61,8	68,7
	Duración adopción masiva (10-90 %)	33,9	29,5	34,6

Gráfico 4

3.6. Nuevos cultivares

El trabajo pionero sobre la adopción de nuevas tecnologías, referido en este caso al maíz híbrido en Estado Unidos, se debe a Zvi Griliches publicado en 1957¹¹. Determinó funciones de adopción para varios estados, aparte de otros aspectos económicos. En nuestro país, durante la década de 1960,



Ricardo Arroyo publicó los resultados de encuestas realizadas para precisar el

¹¹ GRILICHES, ZVI. Hybrid corn: an exploration in the economics of the technical change. *Econometrica* 25(4):501-522. October 1957.

proceso de adopción del maíz híbrido en La Vanguardia¹² y en Manuel Ocampo¹³, ambas ubicadas en el norte del partido de Pergamino, y en Los Molinos (Dpto. Caseros, Santa Fe)¹⁴. En estos casos las cifras halladas se refieren a productores y no a hectáreas cultivadas. En La Vanguardia la encuesta fue realizada en noviembre de 1963, en Manuel Ocampo (que también incluye la vecina comunidad rural de Mariano Benítez) en febrero de 1964 y en Los Molinos en 1964. Los trabajos de Arroyo se refieren a áreas muy acotadas (partes de un partido o departamento). Los productores encuestados fueron una muestra tomada al azar que se hallaba entre el 35 y el 54 % del universo, determinada estadísticamente. Aparte de proporcionar las cifras referentes a la adopción, también agrega las del primer conocimiento de la nueva tecnología por parte del encuestado y la de su primer ensayo.

Este mismo autor también publicó datos sobre la difusión del trigo Klein Rendidor en Marcos Juárez¹⁵, uno de los cultivares más extendidos que en la década de 1960 alcanzó casi la mitad de toda la producción de trigo tipificada del país. Caffera publicó datos de la antigua Junta Nacional de Granos referentes a la composición varietal de la producción de trigo tipificada¹⁶ de los cuales se tomaron los del trigo Klein Rendidor del país.

Sobre la difusión de la soja RR se tienen datos obtenidos mediante un programa de simulación utilizado por Eduardo Trigo¹⁷. Los resultados hallados se reproducen en el Cuadro 6.

Las funciones ajustadas en los casos de la adopción del maíz híbrido siguen una pauta simétrica (función logística) y las de trigo y soja en general una asimétrica. Estadísticamente los ajustes son muy buenos (R^2 ajustado entre 0,91 y 0,98) en maíz híbrido y sólo regulares (R^2 entre 0,70 y 0,86) en trigo Klein Rendidor y soja RR. La adopción masiva ha sido muy rápida, entre 5 y 11 años, confirmadas por las elevadas tasas máximas de crecimiento entre 10 y 24 %. Las más rápidas en trigo y soja, alrededor de los 5 años (son las más breves entre las innovaciones consideradas en este trabajo), y las más lentas en el maíz híbrido, entre 8 y 11 años. Hay que destacar también que el proceso de adopción no es simultáneo en lugares cercanos, como se observa en el caso del maíz híbrido entre en Manuel Ocampo y La Vanguardia, dos parajes del partido de Pergamino. Tampoco lo fue la duración de la adopción masiva.

¹² ARROYO, RICARDO. Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de los maíces híbridos. Pergamino, INTA, 1965. 43 p. (Boletín de Divulgación n° 33).

¹³ ARROYO, RICARDO. Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de tres prácticas mejoradoras del cultivo del maíz. Pergamino, INTA, s.f. 100 p. (Boletín de Divulgación n° 39)

¹⁴ ARROYO, RICARDO. Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de los maíces híbridos y nivel de tecnificación en la comunidad Los Molinos, Casilda. Pergamino, INTA, 1965. 26 p. (Boletín de Divulgación n° 35)

¹⁵ ARROYO, RICARDO. Estudio sobre difusión del trigo y práctica de recuperación y conservación de suelos en Marcos Juárez. Pergamino, INTA, 1964. 45 p. (Boletín de Divulgación n° 31).

¹⁶ CAFFERA, RODOLFO. Panorama varietal de la producción triguera argentina. *Idia* 209:1-48. Mayo 1965. (Cuadro 3).

¹⁷ TRIGO, EDUARDO. Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina. B. Aires, Argenbio, 2016. Disponible en: <https://www.argenbio.org/recursos/66-estadisticas-isaiaa/209-20-anos-gm-en-argentina> (Acceso 11/10/2022).

Cuadro 6							
Nuevos cultivares							
Inno- vación	Caso	Maíz híbrido	Maíz híbrido	Maíz híbrido	Trigo KI Rendidor	Trigo KI Rendidor	Soja RR
	Area abarcada	Pergamino (M.O.)	Pergamino (L.V.)	Casilda (L.M.)	M. Juárez	Argentina	Argentina
	Comienzo innovación	hacia 1950	hacia 1950	hacia 1950	1954	1955	1996
Datos	Fuente de los datos	Encuestas	Encuestas	Encuestas	Encuestas	Estadística	Estad. perm.
	Unidad de medida de los datos	productores	productores	productores	productores	porc. típific.	miles de ha
	Mínimo de los datos	1	1	3	0	6,2%	370
	Máximo de los datos	55	48	63	34	99,8%	15.393
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1945-1962	1949-1961	1952-1962	1953-1958	1955-1963	1996-2005
	n (de la serie)	18	13	11	6	9	10
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística	Logística	Gompertz	Logística	Gompertz
	Máximo del universo	Tot. product.	Tot. product.	Tot. product.	Tot. product.	Máx. difusión	Tot. sup. semb.
	a (parámetro)	789,14	1113,63	1097,41	5,980E+15	1661,67	5,194E+24
	b (parámetro)	-0,4034	-0,5690	-0,5605	-0,6586	-0,8486	-0,5858
	Probabab azar de b	8,34E-10	1,12E-08	3,87E-09	0,02353	-5,0270	7,132E-05
	Coef. de determinación (R ² ajustado)	0,905	0,949	0,980	0,700	0,752	0,859
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1956,4	1957,1	1957,8	1955,2	1958,1	1997,1
	Tasa máxima de crecimiento	10,1%	14,2%	14,0%	24,2%	21,2%	21,6%
	Año comienzo calculado (1 %):	1945,0	1949,1	1949,6	1952,8	1952,7	1994,5
	Año final innovadores (10 %):	1950,9	1953,3	1953,9	1953,9	1955,5	1995,7
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1956,4	1957,1	1957,8	1957,8	1958,1	1997,8
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1961,8	1961,0	1961,8	1958,6	1960,7	2001,0
	Año final del proceso calcul- (99 %):	1967,8	1965,2	1966,0	1962,1	1963,5	2005,0
	Duración innovadores (años)	5,9	4,2	4,3	1,1	2,8	1,2
	Duración adopt. tempranos (años)	5,4	3,9	3,9	1,8	2,6	2,0
	Duración adopt. tardíos (años)	5,4	3,9	3,9	2,9	2,6	3,2
	Duración rezagados (años)	5,9	4,2	4,3	3,6	2,8	4,0
	Durac. total del procesos (1-99 %)	22,8	16,2	16,4	9,3	10,8	10,5
	Duración adopción masiva (10-90 %)	10,9	7,7	7,8	4,7	5,2	5,3

Valores de a en bastardilla: la variable independiente son años a partir de 1900 (ej. 1950 es 50), debido a problemas de overflow.

3.7. Herbicidas

Los herbicidas comenzaron a difundirse masivamente alrededor de mediados del siglo XX. La adopción del herbicida selectivo 2,4-D, uno de los primeros de amplia difusión, fue estudiada por Arroyo en sendas encuestas en Manuel Ocampo y Mariano Benítez (partido de Pergamino)¹⁸ y en la comunidad rural de El Paraíso (Partido de Ramallo)¹⁹ durante la primera mitad de la década de 1960 (en estos trabajos no se informa el año de realización de las encuestas). Lamentablemente, no se lograron obtener datos cuantitativos aceptables para otros herbicidas, pese a su importancia actual en los cultivos. Los resultados se hallan en el Cuadro 7, y la función de adopción del 2,4-D en Pergamino se halla en el Gráfico 1, al comienzo de este trabajo.

¹⁸ ARROYO, RICARDO. Estudio sobre el proceso de difusión y adopción de tres prácticas ... op. cit.

¹⁹ ARROYO, RICARDO. Estudio sobre el proceso de difusión de herbicidas en maíz El Paraíso-Ramallo. Pergamino, INTA, 1966. 100 p. (Boletín de Divulgación n° 34)

Cuadro 7			
Herbicida			
Inno- vación	Caso	Lucha contra malezas	
	Area abarcada	Pergamino	Ramallo
	Comienzo innovación	hacia 1945	hacia 1945
Datos	Fuente de los datos	Encuestas	Encuestas
	Unidad de medida de los datos	productores	productores
	Mínimo de los datos	1	1
	Máximo de los datos	56	49
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1945-1962	1947-1961
	n (de la serie)	18	13
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística
	Máximo del universo	Tot. product.	Tot. product.
	a (parámetro)	801,4448	967,53
	b (parámetro)	-0,4100	-0,4942
	Probabab azar de b	0,0000	5,13E-10
	Coet. de determinación (R ² ajustado)	0,997	0,971
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1954,7	1957,7
	Tasa máxima de crecimiento	10,3%	12,4%
	Año comienzo calculado (1 %):	1943,5	1948,4
	Año final innovadores (10 %):	1949,3	1953,3
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1954,7	1957,7
	Año final adopt. tardíos (90 %):	1960,1	1962,2
	Año final del proceso calcul- (99 %):	1965,9	1967,0
	Duración innovadores (años)	5,8	4,9
	Duración adopt. tempranos (años)	5,4	4,4
	Duración adopt. tardíos (años)	5,4	4,4
	Duración rezagados (años)	5,8	4,9
	Durac. total del procesos (1-99 %)	22,4	18,6
	Duración adopción masiva (10-90 %)	10,7	8,9

Las funciones ajustadas en los casos de la adopción del herbicida 2,4-D siguen una pauta simétrica (función de logística). Estadísticamente los ajustes son muy buenos (R² ajustado entre 0,97 y 0,997). La adopción masiva ha sido muy rápida, entre 9 y 11 años, confirmada por las elevadas tasas máximas de crecimiento entre 10 y 12 %, de nivel similar al registrado en el caso del maíz híbrido. Tampoco aquí el proceso fue simultáneo entre los dos partidos que son linderos.

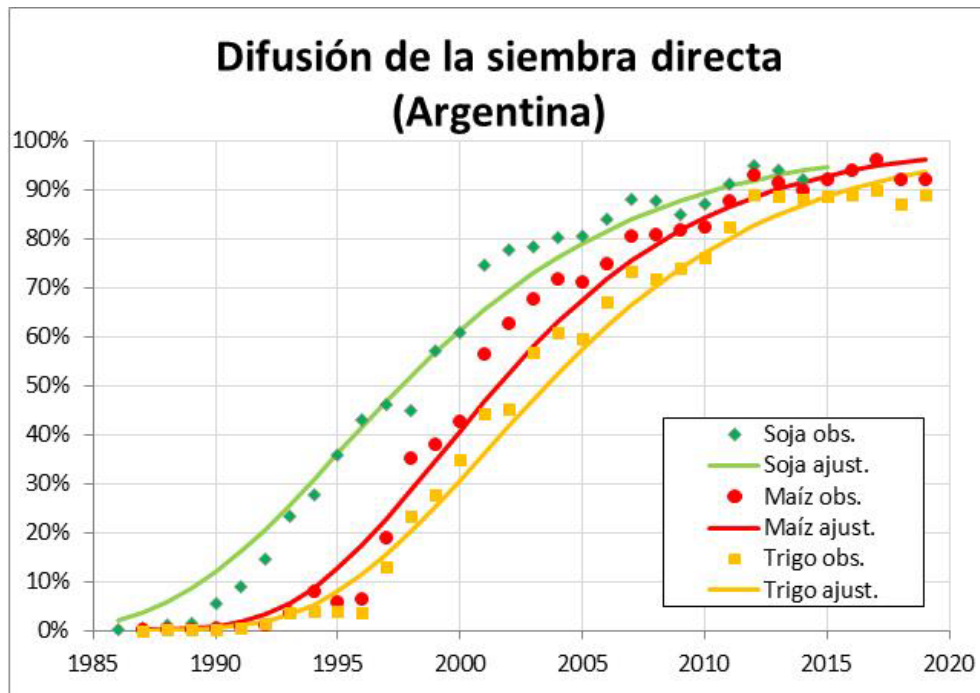
3.8. La siembra directa

La siembra directa comenzó tímidamente en nuestro país a fines de la década de 1970 y se fue difundiendo rápidamente durante la última década de ese siglo. Datos sobre la superficie sembrada con siembra directa de los principales cultivos fueron recogidos por la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID) en colaboración con la Bolsa de Cereales. En este trabajo se utilizó la última edición disponible²⁰ de dicha asociación.

La adopción de la siembra directa implicó un profundo cambio en la ciencia agronómica al eliminar todas las tareas de labranza. Asimismo, requirió máquinas totalmente diferentes pues las sembradoras tradicionales eran inaptas para este tipo de siembra. Los resultados hallados se reproducen en el Cuadro 8.

²⁰ Evolución de siembra directa en Argentina, campaña 2019/2020. Disponible en <https://www.aapresid.org.ar/archivos/evolucion-siembra-directa2019-2020.pdf> (Acceso 7/10/2022).

Gráfico 5



La función de Gompertz se ajusta mejor que la logística en la cuantificación de la difusión de la siembra directa, con valores muy buenos de R^2 ajustado (entre 0,95 y 0,97). La siembra directa comenzó a propagarse debido a la necesidad de abreviar lo más posible el período entre la cosecha de trigo y la siembra de la soja de segunda. Esto se confirma con los puntos de inflexión, que en soja es el año 1995 mientras que en los dos cultivos restantes se da entre 1999 y 2001. La adopción masiva se halla entre 19 y 21 años. Las tasas máximas de crecimiento se hallan entre el 5 y el 6 %.

Cuadro 8				
Siembra directa				
Inno- vación	Caso	Soja	Maiz	Trigo
	Area abarcada	Argentina	Argentina	Argentina
	Comienzo innovación	hacia 1990	hacia 1995	hacia 1995
Datos	Fuente de los datos	Estad. perm.	Estad. perm.	Estad. perm.
	Unidad de medida de los datos	miles de ha	miles de ha	miles de ha
	Mínimo de los datos	2	1	1
	Máximo de los datos	19.034	8.774	6.182
	Rango años de datos (comienzo-fin)	1977-2015	1987-2019	1987-2019
	n (de la serie)	32	33	33
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Gompertz	Gompertz	Gompertz
	Máximo del universo	Tot. sup. sembr.	Tot. sup. sembr.	Tot. sup. sembr.
	a (parámetro)	1,06E+127	1,56E+144	6,38E+131
	b (parámetro)	-0,1466	-0,1661	-0,1517
	Probabab azar de b	3,851E-21	2,083E-25	1,801E-26
	Coet. de determinación (R ² ajustado)	0,949	0,970	0,974
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	1995,1	1999,4	2001,1
	Tasa máxima de crecimiento	5,4%	6,1%	5,6%
	Año comienzo calculado (1 %):	1984,7	1990,2	1991,0
	Año final innovadores (10 %):	1989,4	1994,3	1995,6
	Año final adopt. tempranos (50 %):	1997,6	2001,6	2003,5
	Año final adopt. tardíos (90 %):	2010,5	2012,9	2015,9
	Año final del proceso calcul- (99 %):	2026,5	2027,1	2031,4
	Duración innovadores (años)	4,7	4,2	4,6
	Duración adopt. tempranos (años)	8,2	7,2	7,9
	Duración adopt. tardíos (años)	12,9	11,3	12,4
	Duración rezagados (años)	16,0	14,2	15,5
	Durac. total del procesos (1-99 %)	41,8	36,9	40,4
	Duración adopción masiva (10-90 %)	21,0	18,6	20,3

3.9. Tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC)

Por TIC se entiende un conjunto de innovaciones relacionado con la informática y las comunicaciones, como la computación, internet, teléfonos (fijos y móviles), etc. A diferencia de las tecnologías vistas anteriormente en este trabajo, las TIC se refieren a todos los sectores del país y no sólo al agropecuario considerado hasta aquí. Se estimó necesario incluir aquí su proceso de adopción dada su importancia en la administración de la empresa agraria.

Las computadoras comenzaron a difundirse en el mundo a mediados de la década de 1940 (en nuestro país en los '60), pero durante unos 40 años, hasta mediados de los '80, eran las *mainframe* sólo utilizadas por universidades, grandes empresas, centros científicos, gobierno y similares. La adopción masiva recién comenzó cuando se dispuso de computadoras hogareñas y sobre todo de las PC (*personal computer*) o de escritorio. Las existencias de éstas se consideraron aquí como un *proxy* de su empleo en las empresas chicas y medianas, entre ellas las agrarias, dado que casi no existen datos estadísticos sobre su difusión en el ámbito de las oficinas. En nuestro país, recién el censo de 1991 registra la cantidad de hogares con computadoras. La existencia en 1988 es una estimación propia basada sobre la cantidad estimada de las computadoras hogareñas Dreaan Commodore ensambladas, la más difundida entonces²¹. Las estimaciones para 2004 y 2007 se

²¹ <https://www.retrogaming.com.ar/forum/viewtopic.php?t=10322&start=30> (Acceso 15/3/23).

efectuaron sobre la base de las ventas en los 4 años inmediatos anteriores²² y la proporción entre hogares con computadoras y ventas según los censos de 2001 y 2010.

Dado que las funciones de los celulares fueron al principio similares a los teléfonos fijos, de los cuales se cuenta con estadísticas desde 1994, la estadística oficial agregó a éstos los celulares como un tipo especial de teléfonos. Las cifras utilizadas en los cálculos de difusión de los móviles fueron la cantidad de líneas activas en diciembre de cada año. No se hace distinción entre los celulares de los primeros años, que eran exclusivamente teléfonos, y los celulares “inteligentes” (*smartphones*) que básicamente son computadoras de bolsillo que también incluyen, entre otras, las funciones de un teléfono. El máximo se ha fijado de acuerdo a las líneas activas actuales, algo menos de 1,5 líneas por habitante. Los resultados hallados se reproducen en el cuadro 9.

Innovación	Caso	Computadoras	Celulares
	Area abarcada	Argentina	Argentina
	Comienzo innovación	hacia 1985	1989
Datos	Fuente de los datos	Estimaciones y enc.	Estadística perm.
	Unidad de medida de los datos	cantidad	miles de líneas activas
	Mínimo de los datos	0,0%	241
	Máximo de los datos	70,0%	62.000
	Rango años de datos (comienzo-fin) n (de la serie)	1988-2021 13	1994-2015 22
Resultados (función ajustada)	Función adoptada	Logística	Logística
	Máximo del universo	Tot.hog. c/comput.	Tot. líneas activas
	a (parámetro)	369,7224	912,6543
	b (parámetro)	-0,1844	-0,4550
	Probabab azar de b	1,592E-06	4,587E-17
	Coet. de determinación (R ² ajustado)	0,876	0,971
Resultados calculados a partir de la función ajustada	Punto de inflexión (año)	2005,4	2005,7
	Tasa máxima de crecimiento	4,6%	11,4%
	Año comienzo calculado (1 %):	1980,5	1995,6
	Año final innovadores (10 %):	1993,5	2000,8
	Año final adopt. tempranos (50 %):	2005,4	2005,7
	Año final adopt. tardíos (90 %):	2017,3	2010,5
	Año final del proceso calcul- (99 %):	2030,3	2015,8
	Duración innovadores (años)	13,0	5,3
	Duración adopt. tempranos (años)	11,9	4,8
	Duración adopt. tardíos (años)	11,9	4,8
	Duración rezagados (años)	13,0	5,3
	Durac. total del procesos (1-99 %)	49,8	20,2
	Duración adopción masiva (10-90 %)	23,8	9,7

En ambas TIC la sigmoidea resultó simétrica (función logística) con ajuste bueno ($R^2 = 0,88$) en computadoras y muy bueno en teléfonos celulares ($R^2 = 0,97$). La difusión masiva de las computadoras llevó 24 años, mientras que la de los celulares sólo 10 años, la más rápida después de la adopción de nuevos cultivares. Si bien la difusión masiva de los celulares comenzó alrededor de un lustro después

²² Fuente: CAMOCA (Cámara Argentina de Multimedia, Ofimática, Comunicaciones y Afines), Informes anuales.

de las computadoras, su adopción fue más rápida, superando a éstas alrededor de 2005.

4. Discusión y conclusiones

Antes de pasar a considerar los resultados hallados en las innovaciones vistas en este trabajo es necesario advertir y recalcar que las conclusiones sólo se refieren a estos casos. Si bien se trata de innovaciones importantes que provocaron profundos cambios en el sector agrario, no dejan de ser una muestra que seguramente se halla muy por debajo de la cantidad requerida en un muestreo determinado por métodos estadísticos. Pueden considerarse más bien un estudio de casos que proporciona una primera orientación acerca de la cuantificación del proceso de adopción en nuestro país. Por ello, más que conclusiones, estamos frente a conjeturas insinuadas por los casos estudiados.

Una particularidad común entre los casos considerados es que en general hay un buen ajuste de las funciones utilizadas a los datos disponibles, de acuerdo a su R^2 ajustado. Esto confirma que durante el proceso de adopción la cantidad adoptada va adquiriendo la forma de una curva sigmoidea. Sin embargo, la forma de la curva no necesariamente es igual entre las innovaciones estudiadas, dado que en algunas ajustaba mejor la función logística y en otras la de Gompertz. Por otra parte, el buen ajuste confiere más confiabilidad a los resultados hallados y a las conjeturas.

La cuestión planteada en este trabajo es la duración del proceso de adopción. La respuesta que surge de los resultados hallados es que difirió mucho entre las innovaciones. No se han investigado aquí las causas de las diferentes duraciones del proceso. Sin embargo, los casos estudiados sugieren algunas causas que explicarían la duración del proceso de adopción.

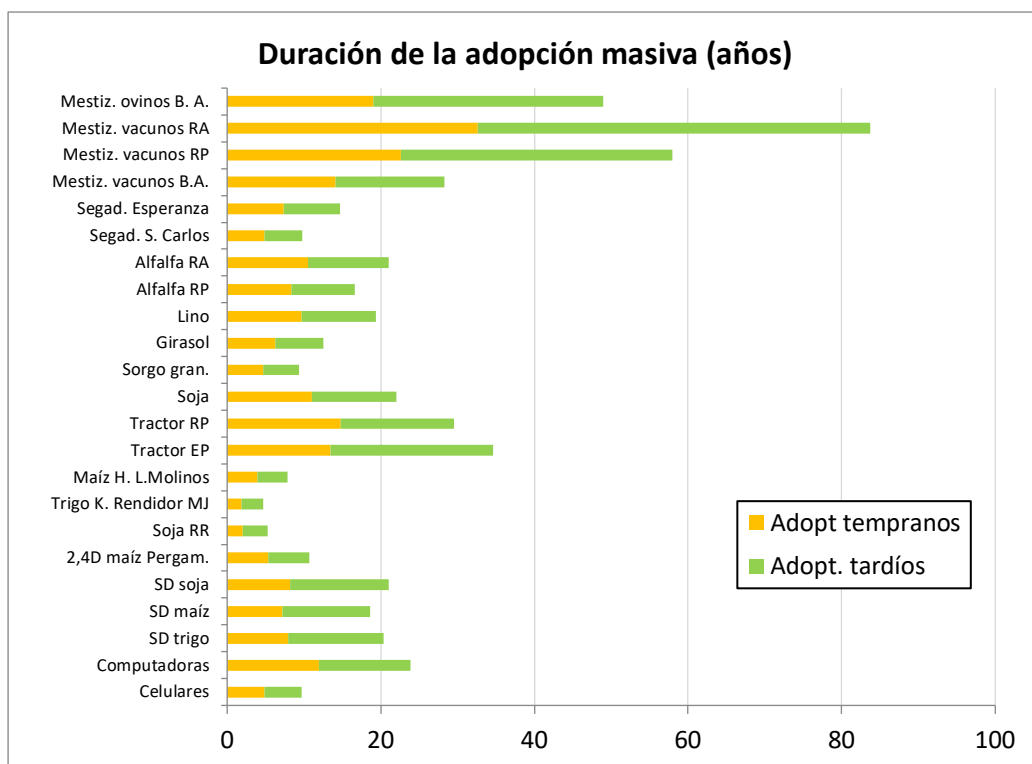
En primer lugar, la duración fue proporcional a la inversión requerida y a los nuevos conocimientos necesarios. En otras palabras, cuanto más capital y más cambios en los conocimientos y habilidades requieren, mayor es la duración, y también a la inversa. Esta conjetura explica por qué la tracción mecánica tuvo una duración del proceso de adopción relativamente largo y la de nuevos cultivos una corta.

Por otra parte, cuando una innovación puede reducir sensiblemente costos, más rápida fue su adopción. Es por lo general el caso de la mecanización de una tarea que se hacía manualmente, como la segadora que sustituyó una importante cantidad de trabajo, en esa época caro y escaso, en un tiempo relativamente corto, pese a requerir una inversión importante para un colono. Además, abreviando la duración de la siega se reducen sensiblemente las probabilidades de pérdidas, siempre importantes en época de cosecha.

La duración de la adopción de una innovación también dependió del resultado económico, ya sea si reduce costos o incrementa ingresos. La siembra directa de por sí no aumenta el rendimiento de los cultivos (excepto cuando permite adelantar la siembra de un cultivo de segunda) pero elimina los costos y el requerimiento de trabajo de la labranza tradicional.

La obsolescencia de una tecnología anterior es otro factor que impulsa la adopción de una innovación. Es el caso del repuesto de una máquina obsoleta que ya no se consigue. O el del vacuno criollo, que se volvió obsoleto cuando la carne pasó a ser el producto principal y el cuero sólo un subproducto. También en una aplicación, cuando un programa viejo ya no funciona en una computadora nueva.

Gráfico 6



Otras causas de las diferentes duraciones del proceso de adopción pueden ser la naturaleza del proceso biológico en ciertas innovaciones, políticas de fomento (créditos, subsidios) o de desaliento (impuestos), la disponibilidad de insumos requeridos por la nueva tecnología, la posición frente al riesgo de los productores, etc.

Una característica a destacar es que los momentos de comienzo y la duración de la adopción suelen diferir entre la ubicación geográfica del universo considerado. Esto no sólo se desprende de las encuestas realizadas por Arroyo sino también en Estados Unidos del trabajo de Griliches anteriormente mencionado. Incluso ello se da entre lugares relativamente cercanos en los que la adopción puede diferir varios años. No se ha investigado aquí si estas diferencias son estadísticamente significativas o no. También, cuanto más amplia es la región abarcada, mayor es la duración de la adopción.

También pueden darse perfeccionamientos de una innovación durante el proceso de adopción, o sea una innovación dentro de la innovación principal. Por ejemplo, un tractor de la década del 30 era bien distinto de uno de comienzos del siglo XX, y uno de los '60 diferente a uno de los '30. Tratándose de bienes, el avance

de la adopción implica con frecuencia un incremento de la demanda, lo que posibilita una mayor fabricación, que suele generar economías de escala, que permiten reducciones de precios, y que a su vez realimentan un mayor demanda. Estos aspectos no se tomaron en cuenta en este trabajo, que sólo considera lo que se podría llamar la innovación “madre”, pero seguramente influyeron en las decisiones de adopción.

No puede decirse que el paso del tiempo haya tenido influencia sobre la velocidad del cambio. Si bien la mestización del ganado fue la más antigua de las innovaciones aquí consideradas y asimismo la de mayor duración, también hubo adopciones muy rápidas en el siglo XIX como en el caso de la segadora, impulsadas por el importantísimo ahorro del escaso y caro factor mano de obra.

5. Las asignaturas pendientes

El autor aspiraba a considerar más innovaciones que las aquí tratadas, pero la carencia de datos cuantitativos confiables fue una limitante imposible de superar. Esta carencia no sólo se refiere a datos relativos a la innovación en sí, sino también a aspectos relacionados (“*proxy*”) que permiten deducir el proceso de adopción de la innovación.

En lo referente a la substitución del trabajo manual por el mecánico sólo se pudo tratar la segadora, y ello con datos un tanto precarios. Otras importantes innovaciones en este contexto fueron la mecanización la “juntada” de maíz -o sea la recolección de las espigas que se almacenaban transitoriamente en trojes hasta su desgrane- durante la década de 1950, la mecanización de la zafra de la caña de azúcar y la recolección del algodón. También hay que incluir aquí el paso del manipuleo de los granos en bolsa al granel en las décadas de 1950 y 60. Entre las actividades ganaderas, la ordeñadora y la esquiladora fueron importantes innovaciones que reemplazaron las respectivas tareas manuales. Lamentablemente, hay poca información estadística sobre ellas. La censal es escasa, heterogénea e insuficiente.

Una innovación que cambió profundamente tanto la ganadería como la agricultura fue la introducción del alambrado durante los dos últimos decenios del siglo XIX. Se ha tratado de utilizar como *proxy* la importación de alambre, pero tiene el inconveniente que es imposible discriminar entre alambre destinado a una nueva inversión en alambrados (o sea la adopción de la innovación) y el que se utiliza en el mantenimiento y conservación de los alambrados existentes, es decir su empleo en una tecnología ya adoptada.

Entre los nuevos cultivares se trató de lograr datos referentes a la introducción de germoplasma mejicano en trigo. Para ello se deseaba confeccionar un cuadro similar y continuación del presentado por Caffera, mencionado al tratar la difusión del trigo Klein Rendidor. Es probable que esos datos existan, pero no pudieron ser localizados por el autor.

Una carencia importante es la referente a los herbicidas. Pese a que desde mediados del siglo XX se difundieron numerosos herbicidas, la información sobre

las cantidades empleadas anualmente que permita construir una serie apta para su tratamiento estadístico es prácticamente inexistente. Incluso fue imposible lograr una serie de ventas anuales de glifosato, tan difundido como discutido, que podría ser un *proxy* de su adopción.

Otro tanto se puede decir respecto a los insecticidas. La exitosa eliminación de la langosta -una plaga bíblica- a comienzos de la década de 1950 gracias al hexaclorociclohexano (Gamexane), un clorado hoy prohibido, demostró en sus comienzos las ventajas del insecticida, y sus limitaciones y peligros después. Tampoco se lograron datos de otros plaguicidas gracias a los cuales se controlaron otras plagas que afectaron los cultivos y al ganado (parásitos).

6. Agradecimientos

A mi hijo Guillermo por su asesoramiento en materia de las funciones matemáticas. Al Dr. Antonio Hall por las observaciones a una versión preliminar de este trabajo.