



Foto: Unidad de Difusión EEMAC.

La dimensión económica de la agricultura y el ambiente

Federico García Suárez¹ y Camilo Álvarez García¹

1- Departamento de Ciencias Sociales, Facultad de Agronomía.
Universidad de la República

1- Introducción

La agricultura de secano ha presentado los últimos 25 años una dinámica que la ha transformado en uno de los sectores más relevantes de la agropecuaria nacional. El cambio tecnológico que ha permitido su desarrollo no está exento de críticas por los impactos en el ambiente. Este trabajo se plantea cuatro temas principales: dialogar sobre la productividad y su impacto sobre el ambiente, la ecoeficiencia como un indicador de impacto ambiental, los problemas de agencia en la organización del sector y cómo impactan en la toma de decisiones y, por último, los resultados que surgen de una modelación de rotaciones y manejo del suelo.

2- Productividad

El término productividad se usa habitualmente como alternativa a rendimiento o producto por unidad del factor elegido. En su acepción económica estas son medidas

de productividad parcial, y el término productividad se usa como una simplificación de la productividad total de los factores (PTF). Definida como el cociente entre la producción total y el total de uso de los factores, la PTF nos indica cómo crece la producción no explicada por el uso de los factores. La relevancia de esta medida es que en forma simple explica cuánto crece un país o un sector determinado y a partir de la comparación permite comprender si hay ganancias en competitividad o no, o si el sector crece o decrece. Es por lo tanto relevante para analizar la evolución del sector en su conjunto. Los resultados de la evolución del PTF para todo el sector agropecuario en el

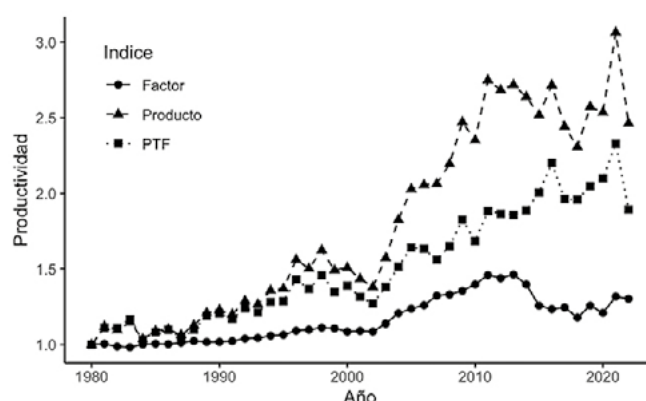


Figura 1. Evolución de la PTF, el índice de productos y de factores para el sector agropecuario 1980-2022 (1980=1).

período 1980-2022 se presenta en la Figura 1.

La evolución de la PTF muestra un crecimiento para el período analizado de 1.52%, pero si nos concentramos en el período 2000-2010, el crecimiento fue de 1.95%, casi 2% anual. El período 2010-2022 muestra una tasa de crecimiento de menos de 1% (0.93), que resulta bajo en un contexto en el que el índice de factores decrece (-0.57%). En este caso estamos viendo el sector en su conjunto, para ver la producción vegetal y animal por separado hay que hacer algunos supuestos simplificadores, puesto que hay datos que son fácilmente discriminables a uno y otro sector, otros requieren de supuestos como el trabajo que fue asignado según las proporciones del valor producido por cada actividad. Con base en esto se hizo una estimación de la PTF de la producción vegetal y animal por separado (ver Figura 2).

La producción vegetal tuvo un crecimiento fuerte en los años 2000-2010 pero se nota un cambio de tendencia hasta 2022, donde el crecimiento fue muy moderado aun dejando afuera del análisis el año 2022 por efecto de las condiciones ambientales. Hay una suerte de estancamiento en los últimos años de la década del 2010 que habría que profundizar en sus causas. En este nivel de análisis está toda la producción vegetal y por lo tanto se enmascaran situaciones, las limitantes en la disponibilidad de datos para

el análisis llevan a esto. Sin embargo, el peso de los cultivos de secano es tal que la tendencia viene marcada por estos.

3– Ecoeficiencia

A partir de la generación de un índice de producto para todo el agro se puede estimar la ecoeficiencia como el cociente de este índice respecto a un índice de recursos naturales utilizados (tierra, agua y energía). Este indicador (EEI) planteado por UNESCAP (2009) plantea que valores menores a 1 indican una baja eficiencia ecológica, un EEI=1 indica igual peso de la economía y el ambiente y un EEI mayor a 1 indica una producción ecológicamente más eficiente. La evolución de este indicador para el período 1980-2022 se presenta en la Figura 3.

El sector en su conjunto ha tenido una mejora sustancial en el índice de ecoeficiencia a partir de 2008, en tanto los cultivos (sin incluir arroz ni forestación) muestran una mejora en este indicador desde 1990 y hasta 2005, momento en el que hay una caída en la tendencia. Esto muestra que la presión sobre los recursos naturales en la expansión de la agricultura fue incremental desde 2005 en adelante, aunque siempre se mantiene en valores mayores a 1. Las oscilaciones del tiempo influyen en este resultado, aspecto que se analizó utilizando la media móvil de tres años para observar la tendencia.

4– Los problemas de agencia y un modelo dinámico

La agricultura tiene una estructura de funcionamiento donde la producción y la propiedad del recurso tierra no necesariamente van juntos. No hay un dato fehaciente de cuál es el área agrícola que se realiza bajo arrendamiento, pero los expertos manejan entre un 50 y un 70% del área. Esto lleva a que las lógicas de decisión sobre el uso del suelo no estén necesariamente alineadas con la preservación del recurso. Quien se especializa en producir granos necesita área para sembrar y el dueño de la tierra pasa a ser rentista. Esto afecta la decisión de adoptar prácticas de conservación del recurso suelo. La literatura plantea que el supuesto de que un productor que maximiza beneficios pueda optimizar intertemporalmente el uso del suelo (McConnell, K. E., 1983) es débil, puesto que difícilmente se pueda planificar más allá de 3 o 4 años (Kiker and Lynne, 1986). A un resultado similar arriba Stevens (2022), que plantea que los propietarios o arrendatarios con contratos de largo plazo tienen mayores incentivos a cuidar la salud del suelo pensando en los rendimientos futuros.

La rotación de cultivos que proteja el suelo manteniendo su salud implica incluir cultivos con residuos de alto aporte de materia orgánica o pasturas, priorizando el potencial de rendimiento futuro sobre los rendimientos presentes. La

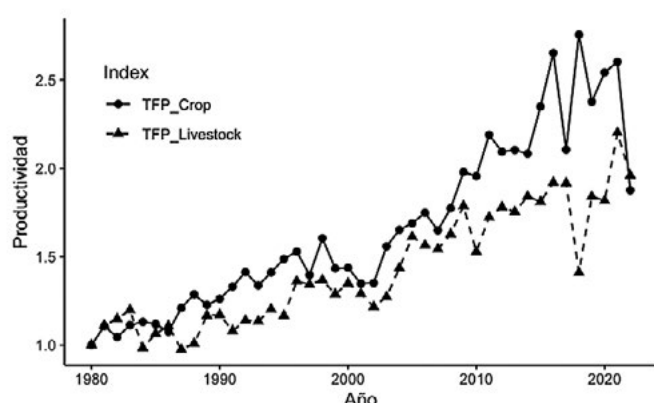


Figura 2. Evolución de la PTF de la producción vegetal (crop) y animal (livestock).

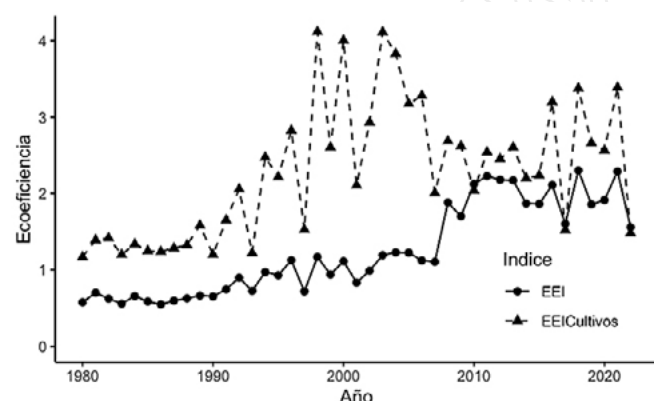


Figura 3. Evolución del índice de ecoeficiencia (EEI) del sector agropecuario entre 1980 y 2022.

Cultivo	Porcentaje en rotación			Porcentaje en verano		
	Lim. Inf.	Promedio	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Promedio	Lim. Sup.
Soja	22.3	25.1	27.9	46.8	50.2	53.6
Maíz	4.7	6.2	7.8	11.4	12.4	13.1
Pradera	34.1	37.3	40.5	35.0	37.3	39.6

Cuadro 1. Proporción óptima de pradera y cultivos de verano e intervalos de confianza.

elección de las rotaciones, incorporando pasturas o cultivos con altos aportes de materia orgánica tienden a bajar el beneficio presente, si el productor no tiene certeza de continuar produciendo en esa chacra, el incentivo a continuar sembrando soja es alto. En tierra propia o con contratos de largo plazo, la conservación del suelo es más factible de ser realizada. Esto implica realizar una optimización intertemporal, considerando que rendimientos realizados hoy determinan los rendimientos futuros y que preservar la calidad del suelo es la llave para no perder potencial.

Para modelar esta situación se procedió a realizar un modelo de infinitos periodos¹, con dos rotaciones. La rotación *a* de beneficios bajos, pero con la capacidad de mejorar el suelo y una rotación *b* con altos beneficios, pero degrada la calidad de suelos. La rotación *a* dura 6 años, 3 años de pradera, y una secuencia trigo, soja 2da, cobertura, maíz, cobertura, soja 1era. La rotación *b* es una secuencia de soja y cobertura asumida en un período de 6 años para equiparar la duración. El productor puede elegir una combinación de rotaciones definida por una fracción del campo dedicada a la rotación *b* y una fracción $(1 - q_t)$ con la rotación *a*. El costo de producir la rotación *b* es la diferencia de costos respecto de la *a*, asumiendo costos constantes por hectárea y el problema de maximización entonces queda planteado como:

$$\sum_{t=0}^{\infty} \beta_t [(Y_a(s_t)P)(1 - q_t) + (Y_b(s_t)P - C_b)q_t]$$

s.a.

$$0 \leq q_t \leq 1$$

$$s_{t+1} \geq 0 s_0 \text{ dado}$$

$$s_{t+1} = s_t + \delta_a - q_t(\delta_a + \delta_b)$$

Este problema, asumiendo concavidad de la función y variables acotadas, puede ser planteado en forma recursiva y termina siendo un modelo donde la variable tiempo deja de ser explícita (no desarrollamos todo el modelo aquí por un tema de espacio). La variable de estado es *s* y los estados futuros son variables de control que son determinados por la elección de *q*, indicador de la proporción de la rotación. Para analizar qué ocurre en diferentes escenarios se plantean además shocks de precios. La estimación del modelo se hace en Octave.

Las rotaciones provienen del experimento “Sistemas agrícolas regados” de INIA y los datos fueron proporcionados por el Programa Agrícola Ganadero de INIA (Mazzilli, Capurro y Rubio). Con 18 años de datos y rendimientos normalizados se estimaron dos regresiones, una para cada rotación y se determinó que la rotación *a* genera incrementos de rendimiento de 5.8% anual y la rotación *b* una pérdida de rendimiento de 2.8% anual. Tomando los valores iniciales de la rotación se estiman los crecimientos y pérdidas anuales y se estima el cambio resultante para determinar los parámetros $\delta_a = 0.004$ y $\delta_b = 0.013$. Esto determina que la función de estado quede definida por

$$s_{t+1} = s_t + 0.004 - q_t(0.004 + 0.013)$$

Los resultados —sin considerar shocks de precios— indican que el porcentaje óptimo de la rotación *b* se estabiliza en 25.4%. Con este resultado, se obtiene una calidad de suelo óptima de 0.88. La proporción óptima de pradera y cultivos de verano viene definida de acuerdo con el Cuadro 1.

La comparación de estos resultados con la proporción que se utiliza de soja a nivel nacional en la fase de cultivo de verano muestra que los productores están fuera de un sendero óptimo de manejo. A nivel nacional la soja representa entre el 80 y el 90% de la superficie agrícola de verano bastante por arriba de la trayectoria óptima (Cuadro 1).

Al analizar los shocks de precios el modelo arroja que en la medida que los precios suben, si el productor tiene alta calidad de suelo puede aprovechar y apartarse de la secuencia que mejora la calidad y explotar el potencial de rendimiento que se acumuló y generar un ingreso mayor. Pero para esto debería tener el suelo en un nivel de calidad alto como se muestra en la Figura 4. Frente a un shock de

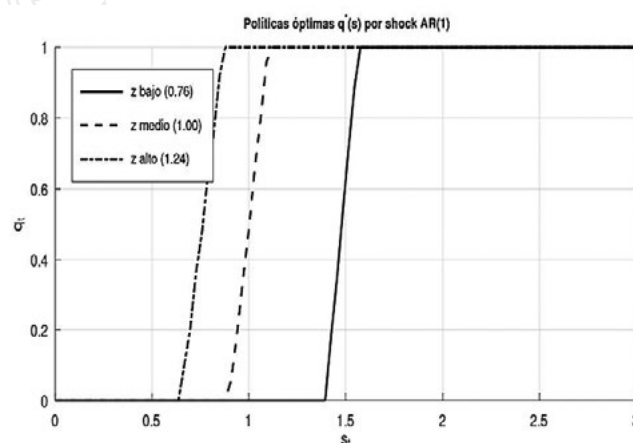


Figura 4. Sendero óptimo de uso de la calidad de suelo y proporción de la rotación *b*.

1) Este modelo es la base del trabajo de tesis de Maestría del Ing. Agr. Camilo Alvarez.

precios altos resulta óptimo aumentar la proporción de la rotación b en niveles de calidad bajos comparados con los niveles de calidad de suelos cuando los precios son bajos.

En resumen, y considerando que esta es una primera aproximación al problema, si el productor pudiera proyectar el futuro como un camino de ingresos futuros descontados, le sería óptimo bajar la proporción de soja en su rotación procurando mejorar la calidad del suelo. La incertidumbre que genera no saber si la chacra arrendada estará a futuro disponible puede estar influyendo en un uso más intensivo de lo que resultaría óptimo. La dinámica agrícola de los últimos 25 años cambió la agricultura y esto puede ser un factor que considerar a la hora de realizar contratos de arrendamiento en los que las partes puedan comprender que una optimización Inter temporal pasa por utilizar una proporción mayor de praderas y gramíneas y un menor uso de soja en el total de la rotación y que si se mejora la calidad de suelos se puede aprovechar los shocks de precios altos.

Bibliografía

Kiker, C. y Lynne, G. (1986). *An economic model of soil conservation: Comment*. *American Journal of Agricultural Economics* 68(3). 739–742.

McConnell, K. E. (1983). *An Economic Model of Soil Conservation*. *American Journal of Agricultural Economics*. 65 (1). pp. 83-89

Stevens, A. W. (2022). *The economics of land tenure and soil health*. *Soil security*. 6. 100047. <https://doi.org/10.1016/j.soil-sec.2022.100047>