
LAS CIENCIAS AGROPECUARIAS COMO HERRAMIENTA DE CRECIMIENTO ECONÓMICO: UN ANÁLISIS BASADO EN CUATRO CULTIVOS EXTENSIVOS

María Semmartin, María Virginia Bollani, Martín Oesterheld y Roberto Benech-Arnold

RESUMEN

La producción agropecuaria provee alimentos a la población y genera divisas a los países exportadores. Una de sus fuerzas impulsoras es el desarrollo del conocimiento y la tecnología indispensables para el crecimiento sustentable del sector agropecuario. Se analizó la relación entre la producción de un bien primario y la generación de conocimiento para producirlo en países líderes de productos agrícolas. Al estudiar la cantidad de publicaciones en revistas científicas se aprecia una relación general positiva entre la producción nacional de diversos cultivos y la generación de conocimiento sobre cada uno de ellos. Sin embargo, los países industrializados contribuyeron proporcionalmente más al conocimiento que a la producción física de los cultivos y la mayor parte de su producción científica fue publicada en revistas internacionales de mayor impacto cien-

tífico. En contraste, en el grupo de países menos industrializados, en general la producción fue proporcionalmente mayor en grano que en conocimiento, excepto para ciertos cultivos en Brasil, China e India, y la mayoría del conocimiento producido se difundió en revistas de menor impacto, con la excepción de Argentina, que mostró un patrón intermedio. En general, la cantidad de artículos publicados se asoció positivamente a los recursos asignados a la investigación y desarrollo, notablemente superior en los países industrializados tanto en términos absolutos como relativos a su producto bruto interno. Reconocer el papel protagónico de las ciencias para el desarrollo de la agricultura resultará crucial para las economías emergentes y deberá ser tema central de sus políticas públicas.

Introducción

La investigación científica, desarrollada mayoritariamente en los países industrializados, ha desempeñado un papel central en el desarrollo de conocimiento y tecnología agropecuaria. Un ejemplo de esto vinculado a la agronomía fue el desafío impuesto por la predicción maltusiana acerca del desfasaje entre el crecimiento de la población humana y la capacidad de proveer alimentos, que tuvo una respuesta contundente con el desarrollo de las variedades de alto rendimiento de cereales durante las décadas de los 60 y 70 (Bourlaug, 2000).

Estos avances en el mejoramiento genético de algunos cereales, combinados con tecnologías de producción que incluían una mayor utilización de insumos, multiplicaron a un nivel inédito la producción de cereales de países de América y Asia principalmente y, naturalmente, fueron el fruto de una intensa investigación científica (Borlaug, 2000). Otro hito más reciente de la agricultura contemporánea, el desarrollo de cultivos genéticamente modificados en combinación con la labranza reducida del suelo y el uso de herbicidas totales, también ha significado un progreso tecnológico sin precedentes, parti-

cularmente por la simplificación del proceso productivo (Satorre, 2005) y por las posibilidades de ampliar la frontera agropecuaria (Paruelo *et al.*, 2005). Sin embargo, estas tecnologías que han impactado sobre las prácticas agrícolas del mundo entero han sido, en su mayoría, diseñadas en países con gran desarrollo económico e intelectual, que suelen asignar a la investigación agropecuaria una importante fracción de su producto bruto interno, aún cuando este sector no necesariamente sea clave en sus economías. Los países menos desarrollados, en muchos de los cuales el sector agropecuario sí resulta

central para su economía, suelen adoptar y beneficiarse de esas tecnologías, frecuentemente adaptándolas a sus propios contextos agroecológicos y socioeconómicos (Benech-Arnold *et al.*, 2012).

En algunos países, la actividad agropecuaria contribuye sensiblemente a su producto bruto interno (PBI) y genera un gran volumen de divisas por medio de exportaciones de granos, si bien los recursos asignados para la investigación agropecuaria (cantidad de investigadores, acceso a recursos materiales y capital monetario) pueden diferir notablemente. Dos casos extremos de esta heterogeneidad lo

PALABRAS CLAVE / Bibliometría / Ciencia y Tecnología / Ciencias Agropecuarias / Crecimiento Económico / Cultivos /

Recibido: 23/05/2011. Modificado: 20/05/2012. Aceptado: 23/05/2012.

María Semmartin. Doctora, Profesora, Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina. Investigadora, Conicet, Argentina. Dirección: Instituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas Vinculadas a la

Agricultura, IFEVA, Facultad de Agronomía, UBA. Av. San Martín 4453, C1417DSE, Buenos Aires, Argentina. e-mail: semmartin@agro.uba.ar

María Virginia Bollani. Licenciada. Ayudante de primera, UBA, Argentina.

Martín Oesterheld. Doctor. Profesor, UBA, Argentina. Investigador, Conicet, Argentina.

Roberto Benech-Arnold. Doctor. Profesor, UBA, Argentina. Investigador, Conicet, Argentina.

AGRICULTURAL SCIENCES AS A TOOL FOR ECONOMIC GROWTH: AN ANALYSIS BASED ON FOUR EXTENSIVE CROPS

María Semmartin, María Virginia Bollani, Martín Oesterheld and Roberto Benech-Arnold

SUMMARY

Agriculture provides food for the people and generates hard currency for exporting countries. One of the moving forces is the production of the knowledge and technology required for the sustained growth of the agricultural sector. The relationship between the production of a primary good and the generation of knowledge to produce it was analyzed in leading countries in their respective production. Upon studying the number of publications in scientific journals a general positive correlation is found between national production of diverse crops and the generation of knowledge about each of them. However, in general industrialized countries contributed proportionately more to knowledge generation than to physical crop production and most of their scientific output was pub-

lished in international journals with higher impact. In contrast, in the group of less industrialized countries production, in general, was proportionately larger in grain than in knowledge, except for certain crops in Brazil, China and India, and most of the knowledge produced was disseminated in journals of lower impact, with the exception of Argentina, which showed an intermediate pattern. In general, the number of published articles is associated positively to the funds assigned to research and development, notably higher in industrialized countries, both in absolute terms and in relation to their gross domestic product. Recognizing the pivotal role of science for agricultural progress will be crucial for emerging economies and should be a central theme in their public policies.

AS CIÊNCIAS AGROPECUÁRIAS COMO FERRAMENTA DE CRESCIMENTO ECONÔMICO: UMA ANÁLISE BASEADA EM QUATRO CULTIVOS EXTENSIVOS

María Semmartin, María Virginia Bollani, Martín Oesterheld e Roberto Benech-Arnold

RESUMO

A produção agropecuária provê alimentos à população e gera divisas aos países exportadores. Uma de suas forças impulsionadoras são o desenvolvimento do conhecimento e a tecnologia, indispensáveis para o crescimento sustentável do sector agropecuário. Analisou-se a relação entre a produção de um bem primário e a geração de conhecimento para produzi-lo em países líderes de produtos agrícolas. Ao estudar a quantidade de publicações em revistas científicas se aprecia uma relação geral positiva entre a produção nacional de diversos cultivos e a geração de conhecimento sobre cada um deles. No entanto, os países industrializados contribuíram proporcionalmente mais ao conhecimento que à produção física dos cultivos e a maior parte de sua produção científica foi publicada em revistas internacionais de maior impacto científico. Em contraste,

no grupo de países menos industrializados, em geral a produção foi proporcionalmente maior em grão que em conhecimento, exceto para certos cultivos no Brasil, China e Índia, e a maioria do conhecimento produzido se difundiu em revistas de menor impacto, com a exceção de Argentina, que mostrou um padrão intermédio. Em geral, a quantidade de artigos publicados se associou positivamente aos recursos designados para a investigação e desenvolvimento, notavelmente superior nos países industrializados tanto em termos absolutos como relativos a seu produto bruto interno. Reconhecer o papel protagonista das ciências para o desenvolvimento da agricultura resultará crucial para as economias emergentes e deverá ser tema central de suas políticas públicas.

conforman los EEUU y la Argentina, dos países centrales para la producción mundial de grano. En el primero, la agricultura representa ~1% de la fracción total del PBI pero este país lidera la generación de conocimiento científico agropecuario. En el caso de la Argentina, la actividad agropecuaria representa más del 9% de su PBI pero la inversión en ciencia y tecnología agropecuaria es muy limitada, lo que determina que la generación de conocimiento en esa área del conocimiento también lo sea (Oesterheld *et*

al., 2002). En efecto, los EEUU invierten más del 2,5% de su PBI al desarrollo científico y tecnológico mientras que la Argentina invierte menos del 0,5% de su PBI (RICYT, 2000).

El éxito que, en términos de volumen de granos producidos, han tenido muchos de los países clasificados recientemente como 'economías emergentes', tales como Argentina, Rusia, Brasil, India, China y otros (Dow Jones, 2010), dispara el interrogante acerca de en qué medida estos países deberían asignar

recursos a la investigación básica agropecuaria. En otras palabras, si la combinación de condiciones agro-ecológicas sobresalientes y alta tasa de adopción de tecnologías generadas en economías centrales ha sido suficiente como para incrementar la producción agrícola en estas economías emergentes, ¿es realmente necesaria la generación de conocimiento agropecuario en estos países? Una respuesta afirmativa a tal interrogante se fundamenta en la necesidad de i) garantizar la sustentabilidad de estos nuevos

sistemas de producción, y ii) agregarle valor a la producción agrícola a través de, por ejemplo, la generación de tecnologías cuya exportación permita percibir divisas a partir del cobro de regalías. En un artículo reciente, Benech-Arnold *et al.* (2012) proponen ejemplos surgidos de la investigación en ciencia y tecnología de semillas, que muestran el poder de esta disciplina, como el de otras pertenecientes a la gran área de ciencias agrícolas, para detectar y ajustar componentes de los nuevos sistemas de

producción que puedan sufrir modificaciones como resultado de la adopción de una nueva tecnología. Claramente, estos hallazgos constituyen herramientas para el desarrollo de tecnologías sustentables y especialmente adaptadas a estos sistemas (Benech-Arnold *et al.*, 2012).

La producción de conocimiento científico evaluada a través de la publicación de artículos en revistas periódicas ha sido muy utilizada como herramienta para evaluar el desempeño científico y tecnológico de instituciones, individuos, disciplinas e incluso de naciones y regiones del mundo (May, 1997; Lomonte y Answorth, 2000; King, 2004; Anastasiadis *et al.*, 2009; Albarrán *et al.*; 2010; Dimitri, 2010). Estas evaluaciones, si bien encierran una considerable cantidad de sesgos y limitaciones para todas las disciplinas en general (Spinak, 1995), y para las ciencias agropecuarias en particular (Ekboir, 2003), resultan útiles para vislumbrar la complejidad de elementos que determinan el desarrollo científico de una sociedad. Por ejemplo, un estudio realizado casi una década atrás mostró que el Reino Unido, un país que ha liderado tradicionalmente la producción de conocimiento en numerosas disciplinas, era particularmente deficitario en los campos de la física y la ingeniería (King, 2004). Estos análisis también contribuyen a diseñar herramientas concretas de política científica, tal como lo describe Niaz (2000), para Venezuela. En el campo de las ciencias agropecuarias, un trabajo previo mostró que en la Argentina más de la mitad del conocimiento se genera en universidades nacionales y que el 40% de los trabajos publicados entre 1996 y 1998 correspondió a una sola de las más de veinte facultades de agronomía de ese país (Oesterheld *et al.*, 2002).

El objetivo del presente trabajo fue analizar la relación que vincula la produc-

ción de grano y la producción de conocimiento para producirlo, en distintos países líderes de productos agrícolas. Sobre la base de indicadores económicos y trabajos publicados en revistas científicas se describe, para los principales productores mundiales de soja, maíz, girasol y trigo, de qué manera se relacionan la producción de estos cultivos con la generación de conocimiento científico y técnico acerca de ellos y con la inversión estatal en investigación y desarrollo. Si bien la evaluación de cualquier sistema científico debería incluir dimensiones como la formación de recursos humanos y la inversión en infraestructura y equipamiento del sector científico (Blake *et al.*, 2002), la cantidad de artículos publicados en revistas científicas de aparición periódica, que utilizamos en nuestra aproximación metodológica, constituye un indicador que permite, de una manera relativamente sencilla, comparar razonablemente la producción de conocimiento de cada país (May, 1997).

Materiales y Métodos

Se analizó la producción científica sobre cuatro cultivos de relevancia para la agricultura argentina: soja, maíz, girasol y trigo. Sobre la base de las estadísticas brindadas por la Food and Agriculture Organization (FAOSTAT, 2005) se identificaron los principales países productores de cada uno de estos cultivos y se cuantificó su contribución relativa al total mundial producido de cada cultivo entre los años 2000 y 2005. La producción científica se estimó a través del número de artículos publicados en revistas científicas incluidas en la base de datos de CAB Abstracts® (2012). Esta base de

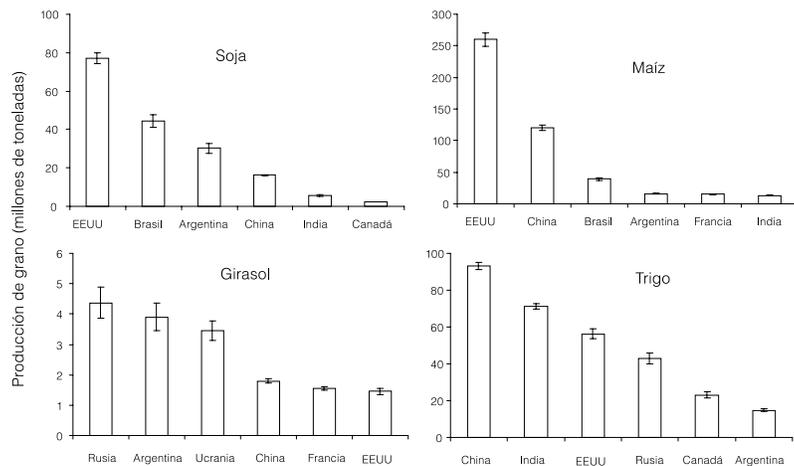


Figura 1. Producción media anual de los principales países productores de soja, maíz, girasol y trigo entre 2000 y 2005. Las barras verticales indican +1 error estándar. Nótese que los valores de las ordenadas difieren entre paneles.

datos es una de las más completas y abarcadora en el área agronómica ya que incluye títulos de publicaciones más locales o de menor circulación que no son indexadas por otras bases de datos como Scopus o Web of Science. En el caso particular de los cuatro cultivos analizados en este trabajo esta base de datos permitió recuperar un 60% más de citas que Scopus, en promedio para el conjunto de países estudiados, y más del doble para casos como la India, China o Rusia. Para cada cultivo, se combinó el nombre del cultivo en alguna sección de la cita completa y el país en los datos de afiliación de los autores. A fin de asignarles una medida de impacto a los artículos, se los agrupó de acuerdo a si estaban publicados en revistas 'indexadas' o 'no indexadas' por el Science Citation Index (SCI) correspondiente al año 1999 (ISI, 1999). El nivel de inversión estatal en ciencia y tecnología se obtuvo a partir de los indicadores provistos por el Banco Mundial correspondientes al 2005. Las relaciones entre la contribución de cada país al conocimiento y a la producción de grano, relativa al total de los países estudiados, y entre la cantidad de artículos y el dinero invertido en

ciencia y tecnología se analizó por medio de regresiones lineales simples.

Resultados

La distribución de la producción entre los países difirió notablemente para los cuatro cultivos objeto de estudio (soja, maíz, girasol y trigo; Figura 1). En el caso de la soja EEUU, Brasil, Argentina, China, India y Canadá representaron el 94% de la producción mundial. La producción norteamericana resultó equivalente a la de Argentina y Brasil en conjunto. En el caso del maíz EEUU, China, Brasil, Argentina, Francia e India fueron los mayores productores, con el 72% de la producción mundial. En el caso del girasol, el liderazgo productivo fue menos evidente que en los cultivos anteriores ya que seis países explicaron el 66% de la producción mundial (Rusia, Argentina, Ucrania, China, Francia y EEUU. Finalmente, la producción de trigo mostró una distribución aún más equitativa que la de girasol ya que el 77% de la producción mundial se repartió entre 14 países (China, India, EEUU, Rusia, Francia, Canadá, Alemania, Australia, Turquía, Pakistán, Ucrania, el Reino Unido y la Argentina). Sin embargo,

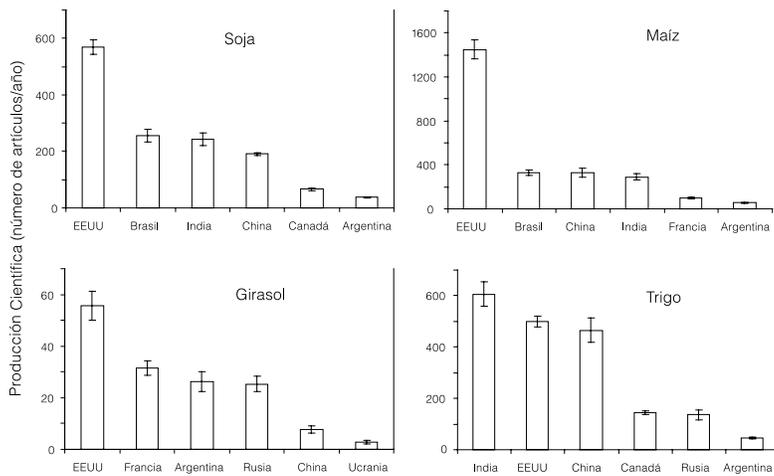


Figura 2. Producción media anual de artículos científicos publicados por los principales países productores de de soja, maíz, girasol y trigo entre 2000 y 2005. Las barras verticales indican +1 error estándar. Nótase que los valores de las ordenadas difieren entre paneles.

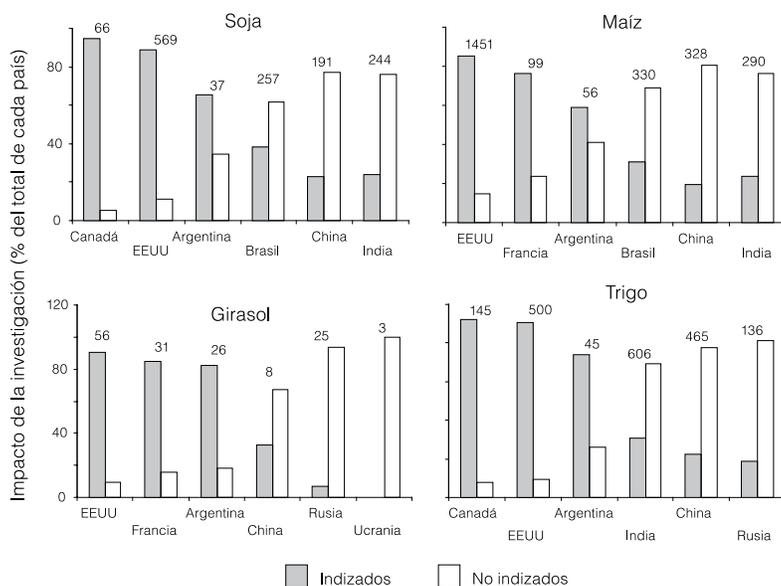


Figura 3. Proporción de los artículos indizados y no indizados por el Science Citation Index 1999, del total de artículos publicados anualmente por cada país, entre 2000 y 2005. Los números sobre las barras indican el promedio total anual de artículos (indizados + no indizados) publicados por cada país.

la Argentina, EEUU, China, Rusia, India y Canadá constituyen más de la mitad de la producción mundial (Figura 1).

Los EEUU resultó el país con mayor producción de artículos científicos sobre soja, equivalente a la que suman Brasil e India, los otros dos países que mayor cantidad de trabajos publicaron durante el período analizado (Figura 2). Argentina, si bien es uno de los mayores productores mundiales

de esta oleaginosa, mostró una producción científica muy inferior al resto. En el caso del maíz, el patrón productivo de artículos científicos resultó similar al de la soja pero con una mayor cantidad promedio de artículos. Por ejemplo, EEUU, que lidera la producción de grano de ambos cultivos, produjo dos veces y medio más artículos científicos sobre maíz que sobre soja, para el período analizado. La producción de artículos sobre

girasol fue significativamente inferior a la del resto de los cultivos en todos los países excepto para la Argentina, cuya cantidad, si bien también fue inferiores a la registrada para otros cultivos, mostraron una diferencia menos contrastante entre cultivos con respecto a los otros países. Los EEUU, cuya producción de grano fue la menor de los seis países descriptos, lideró la producción de artículos sobre esta oleaginosa, con un promedio anual de casi 600 artículos. A diferencia de lo documentado para los otros cultivos, la producción de artículos sobre trigo estuvo liderada por India, con más de 600 artículos, y le siguieron EEUU y China con una cantidad algo inferior de artículos (Figura 2).

El análisis de la producción científica, incluyendo una medida de su impacto o visibilidad sobre la comunidad científica internacional, mostró que los países difieren en sus patrones de publicación en revistas indizadas y no indizadas por el ISI (Science Citation Index, 1999). En términos generales, los países industrializados del grupo estudiado (EEUU, Canadá y Francia) publicaron una amplia proporción de sus artículos en revistas indizadas, mientras que los países con economías emergentes en general publicaron la mayor proporción en revistas no indizadas (Figura 3). Dentro de este último grupo, Argentina representa el único caso cuyo patrón de producción se asemeja más al de los países industrializados, es decir, con la mayor propor-

ción de los trabajos publicados en revistas indizadas. Excepto para los casos de Argentina y China, las revistas indizadas más frecuentemente elegidas por los investigadores de cada país correspondieron a su propio país de origen (Tabla I). En Argentina, las revistas indizadas más frecuentemente elegidas coincidieron ampliamente con las más elegidas por los investigadores de los Estados Unidos (Tabla I). Prácticamente en la totalidad de los casos, las revistas no indizadas más elegidas por los científicos de cada país fueron locales (Tabla I). El espectro más amplio de revistas indizadas correspondió a los investigadores de los EEUU, que durante el período analizado publicaron en casi 500 revistas indizadas y casi 200 revistas no indizadas (datos no mostrados). Los artículos publicados por investigadores de la Argentina, que en general representaron el volumen más pequeño del conjunto analizado, se distribuyeron entre unas 100 revistas indizadas y 50 no indizadas (datos no mostrados).

El análisis de la relación, para cada país, entre la producción de un cultivo y la generación de conocimiento acerca de él mostró una correlación positiva para los cuatro países analizados ($p < 0,0001$; $F = 24$; $r^2 = 0,52$; Figura 4). En todos los casos los EEUU mostró una producción científica proporcionalmente mayor a la del resto de los países, independientemente de la producción de grano. En cambio, Argentina en todos los casos, excepto para girasol, produjo una baja proporción de artículos, independientemente de la producción de grano (Figura 4).

El dinero utilizado en investigación y desarrollo, que varió entre países desde 700×10^6 USD (Argentina) a 300×10^9 USD (EEUU) estuvo correlacionado significativamente con la producción de artículos de cada país

TABLA I
REVISTAS, INDIZADAS O NO POR EL ISI, EN LAS QUE SE PUBLICARON
MÁS FRECUENTEMENTE ARTÍCULOS SOBRE SOJA, MAÍZ, GIRASOL Y/O TRIGO,
ENTRE 2000 Y 2005*

País	Revistas indizadas por ISI		Revistas no indizadas por ISI	
	Título	Proporción (%)	Título	Proporción (%)
Argentina	Field Crop Research	7,5	Rev. de la Fac. de Agron. Univ. de Buenos Aires	6,8
	Crop Science	4,8	Helia	6,3
	Agronomy Journal	2,9	Revista Argentina de Producción Animal	4,9
Brasil	Revista Brasileira de Zootecnia	27,4	Ciencia Rural	8,4
	Pesquisa Agropecuaria Brasileira	23,6	Revista Brasileira de Milho e Sorgo	8,0
	Brazilian Archives of Biol. and Tech.	4,4	Ciencia e Agrotecnologia	7,8
Canada	Canadian Journal of Plant Science	13,4	Journal of Animal and Veterinary Advances	15,5
	Canadian Journal of Soil Science	3,6	Better Crops with Plant Food	11,1
	Canadian Journal of Plant Pathology	2,7	Canadian Biosystems Engineering	9,8
China	Asian Australasian J. of Animal Sciences	4,9	Acta Agronomica Sinica	3,9
	Agricultural Water Management	2,4	Scientia Agricultura Sinica	5,4
	Euphytica	1,5	Soybean Science	5,4
Estados Unidos	Crop Science	8,1	Maize Genetics Cooperation Newsletter	7,6
	Agronomy Journal	5,1	Crop Management	4,4
	Journal of Animal Science	1,4	International Journal of Poultry Science	1,6
Francia	Theoretical and Applied Genetics	6,0	Phytoma	30,1
	Agronomie	4,4	Fourrages	13,5
	OCL Oleagineux, Corps Gras, Lipides	4,1	Cahiers Agricultures	2,7
India	Indian Journal of Agricultural Sciences	18,3	Annals of Agricultural Research	3,2
	Indian Journal of Agronomy	11,7	Crop Research Hisar	2,6
	Indian Journal of Animal Sciences	5,4	Journal of the Indian Society of Soil Science	1,4
Rusia	Russian Journal of Plant Physiology	44,4	Zashchita i Karantin Rastenii	30,6
	Chemistry of Natural Compounds	10,0	Russian Agricultural Sciences	9,9
	Cell Biology International	3,5	Agrokhimiya	6,9
Ucrania			Helia	33,3
			Russian Agricultural Sciences	13,3
			Tsitologiya i Genetika	13,3

* Se indica la proporción promedio de artículos de los cultivos analizados que se publicaron en cada revista, considerando por separado las indizadas de las no indizadas. ISI: Institute for Scientific Information.

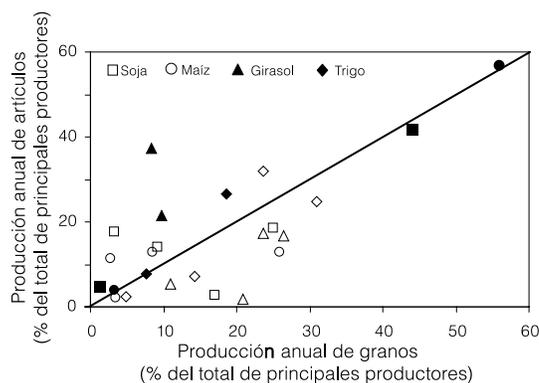


Figura 4. Relación entre la proporción de artículos publicados y de la producción de grano de los principales países productores de soja, maíz, trigo y soja, entre 2000 y 2005. Los símbolos llenos indican los países centrales (EEUU, Canadá y Francia) y los símbolos vacíos indican los países periféricos (Argentina, Brasil, China, Rusia, Ucrania, India). La línea indica la relación 1:1.

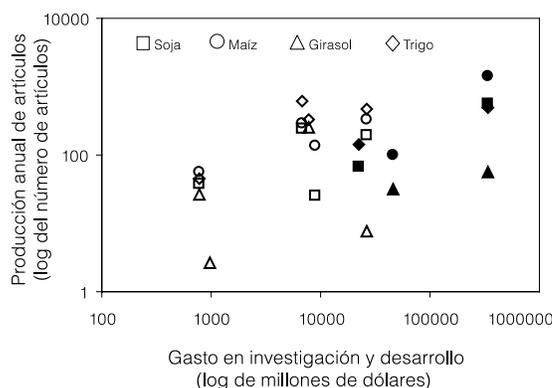


Figura 5. Cantidad de artículos producidos en función del gasto en investigación y desarrollo (en millones USD a precios corrientes de 2005) de los principales países productores de soja, maíz, girasol y trigo entre 2000 y 2005. Cada punto identifica el valor del gasto en I+D de los diferentes países y los símbolos indican el cultivo. Los símbolos llenos indican países industrializados (EEUU, Canadá y Francia) y los vacíos los no industrializados (Argentina, Brasil, China, Rusia, Ucrania, India). Los valores se presentan en escala logarítmica para facilitar su visualización.

($p = 0,004$; $F = 10,4$; $r^2 = 0,32$; Figura 5).

Discusión

Los resultados mostraron que, para el conjunto de países y de cultivos analizados, existió una relación positiva, no necesariamente causal, entre los niveles de producción de un cultivo y de producción de conocimiento acerca de él. Sin embargo, los países industrializados presentaron una tendencia a producir proporcionalmente más conocimiento que grano. El impacto o visibilidad del conocimiento producido también difirió entre ambos grupos de países. Los países industrializados presentaron la mayor proporción de sus artículos en revistas indizadas, de mayor impacto sobre la comunidad científica y tecnológica, mientras que los países no industrializados mostraron un patrón opuesto, excepto la Argentina, que también presentó una mayor proporción de su producción en revistas indizadas. El gasto en investigación y desarrollo varió visiblemente entre países, tanto en cantidad absoluta como proporcional a su PBI, y la cantidad de artículos publicados se asoció positivamente a la cantidad de recursos asignados a este rubro.

La clara relación positiva entre la producción de grano y la de conocimiento de los países industrializados sugiere que en ellos está fuertemente arraigada la idea de que la ciencia opera como motor del desarrollo económico y social de las naciones. Incluso en los países con una superficie de explotación relativamente pequeña, la inversión en conocimiento siempre resultó proporcionalmente superior a la contribución de esos paí-

ses a la producción del cultivo. La producción de artículos por parte de los EEUU siempre resultó entre un cuarto y la mitad de la producción del conjunto de países analizados, en coincidencia con lo documentado por May (1997) y King (2004) para la ciencia en general. Según estos autores, durante los años noventa EEUU lideraba las publicaciones sobre ciencia en general con un 35% de la producción científica mundial. En el caso de los países no industrializados, que en general presentaron una contribución relativa al conocimiento inferior que su contribución a la producción mundial de grano, se destacan los casos de Brasil, China e India, que para algunos de los cultivos presentaron una producción de conocimiento proporcionalmente mayor. Esta mayor cantidad de producción científica generada en India refleja el patrón de los últimos años documentado para las ciencias de las plantas en general, que entre 1992 y 2002 presentó un crecimiento de los artículos publicados del 70% en comparación al 25% que crecieron los artículos norteamericanos durante el mismo período (Raghuram, 2004).

La visibilidad o impacto de los artículos, inferida a partir de su publicación en revistas indizadas, modificó sobre todo el posicionamiento de la Argentina en el conjunto de países estudiados, a la vez que reveló algunas similitudes llamativas entre los países desarrollados y aquellos con economías emergentes. El cambio de posicionamiento de la Argentina al analizar los artículos indizados consiste en que 60 a 80% de los artículos fue publicado en revistas de ese grupo, lo que representa un patrón intermedio entre ambos grupos de países. Esta proporción es similar a la documentada para todos los artículos agrónomos argentinos del período 1996-1998 (Oesterheld *et al.*,

2002) y las diferencias entre cultivos parecerían relacionarse con la actividad de algunos grupos de investigación específicos que en un sistema tan pequeño tienen mayor impacto (Blake *et al.*, 2002). En relación con las similitudes que mostraron ambos grupos de países, excepto para la Argentina y China, que no poseen revistas locales incluidas en el SCI, el resto de los países estudiados publicó sus trabajos en revistas indizadas pero con una fuerte impronta local (Tabla I). En otras palabras, las tres revistas indizadas más elegidas por los investigadores canadienses, donde publicaron ~20% de sus trabajos, fueron canadienses. El caso de Francia resultó similar, ya que más del 15% de sus trabajos se publicaron en revistas francesas. Este patrón orientado a la publicación en foros indizados nacionales fue particularmente notorio en Brasil y Rusia, con más del 50% de los trabajos publicados en esa categoría de revistas (Tabla I). En cierta medida, si bien los sistemas científicos de estos países han logrado generar un volumen y una calidad de ciencia suficiente como para contar con revistas de circulación internacional, resulta evidente su tendencia a publicar en foros locales. En cambio, en países como Argentina, que carece de revistas agropecuarias incluidas en el SCI, el patrón de publicación en revistas indizadas no difirió del de los investigadores estadounidenses, con una coincidencia prácticamente total en las revistas indizadas más utilizadas (Tabla I).

Finalmente, dos ejemplos en los que el aumento en el volumen de artículos publicados ha sido notorio son India y China. En el caso de la India, si bien su sistema científico parece estar en un proceso de crecimiento, nuestro análisis revela que la mayor parte de su producción científica en ciencias agropecuarias correspondió a

trabajos publicados en revistas locales no indizadas, que generalmente están asociadas a un menor impacto real sobre la comunidad científica mundial. En el caso de China, la reforma relativamente reciente de su sistema científico ha incorporado la evaluación cuantitativa como herramienta de diagnóstico y de evaluación de sus investigadores, de modo que en la actualidad los científicos chinos han orientado fuertemente la publicación de sus investigaciones a las revistas incluidas en el SCI (Jin y Rousseau, 2004; Wu *et al.*, 2004). En este sentido, si bien muchos de los análisis que comparan la producción científica de los países lo hacen exclusivamente a través de lo publicado en revistas incluidas en el SCI, entendemos que resulta más adecuado utilizar bases de datos más abarcadoras que incluyan el universo más completo posible de publicaciones periódicas, como en este caso. Esto es particularmente crítico cuando se pretende comparar países con niveles de desarrollo muy disímiles. Por otro lado, si bien la discriminación de los trabajos publicados en función de la inclusión o no de cada revista en el SCI proporciona una medida de la visibilidad promedio de los trabajos producidos en cada país, resulta importante considerar el hecho que algunas revistas no incluidas en el SCI tienen un índice de impacto similar a otras que sí están incluidas (Galetto y Oesterheld, 2010).

Los resultados del presente trabajo sugieren que la mayor cantidad de recursos asignados a ciencia y tecnología promueven la generación de conocimiento. Si bien la relación entre el desarrollo económico de las naciones y su actividad científica depende de numerosos factores, nuestros resultados coinciden con la relación positiva documentada por Jaffe (2005) para los países con un PBI *per capita* >1000

USD. Del grupo de países estudiados, Argentina destinó la menor cantidad de dinero a esta actividad, tanto en términos absolutos como en relación a su PBI, mientras que EEUU, Francia y Canadá destinaron las mayores proporciones. En el caso de la India, Raghuram (2004) sostiene que mayor soporte público para la investigación en ciencias agropecuarias genera un impacto económico para ese país porque contribuye al sostenimiento de su tendencia actual de crecimiento y consolida las ganancias de la actividad agropecuaria. En la transición de China hacia una economía basada en el conocimiento, el gasto en investigación y desarrollo ha sido considerado como un importante indicador para evaluar la inversión del país en su base de conocimiento. Su proporción del gasto bruto en esta área ha crecido exponencialmente durante la última década y, en solo cinco años creció del 0,7 al 1,3% (Zhou y Leydesdorff, 2006). Si bien el presupuesto para investigación y desarrollo de los EEUU es varios órdenes de magnitud superior al de la mayoría de los países, se ha estancado en los últimos años, al igual que lo documentado para Francia y Alemania (Brumfiel, 2006).

Los resultados muestran que el aumento en la producción de artículos fue menos que proporcional al aumento en la inversión de dinero. Por ejemplo, para EEUU y Argentina, una inversión de dinero 400 veces más grande se correlacionó con una producción de artículos tan solo 40 veces mayor para los EEUU con respecto a la Argentina. Una interpretación rápida de esta relación podría sugerir una mayor eficiencia económica del sistema científico de los países emergentes, lo cual podría ser cierto en parte ya que los científicos de los países emergentes suelen percibir un menor salario y

sus laboratorios poseen menos infraestructura que los de los países desarrollados. Sin embargo, es importante tener en cuenta que, dentro de la inversión total en ciencia y tecnología, las ciencias agropecuarias pueden ocupar una proporción distinta frente a otras disciplinas. Por ejemplo, mientras que la investigación en ciencias agropecuarias en la Argentina explica prácticamente un 20% de la inversión total, para los EEUU esta proporción es apenas del 2% (RICYT, 2000). Por otro lado, posiblemente el liderazgo científico y tecnológico de una nación, en cualquier disciplina, necesite superar un cierto umbral de inversión en valor absoluto por debajo del cual sea imposible liderar una disciplina, aún maximizando la eficiencia del sistema científico y tecnológico.

Este trabajo muestra que la provisión mundial de alimentos depende en buena medida de la producción de países periféricos, cuyas economías se encuentran en un marcado proceso de crecimiento. La competitividad de estos países parecería estar más fuertemente basada en sus condiciones agroecológicas y en la rápida adopción de tecnologías nuevas del sector agropecuario que en la generación propia de conocimiento y tecnología. Si bien en muchos de estos

países se verifica un crecimiento sostenido de sus sistemas científicos y tecnológicos, los indicadores de productividad científica e inversión en ese sector sugieren que las políticas de desarrollo deberán ser cuidadosamente analizadas a fin de contribuir a la producción sostenible de alimento durante el presente milenio.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen los valiosos aportes de Antonio Hall, Pablo Corradi, Edy Ploschuk, José Paruelo y tres revisores anónimos. El trabajo fue financiado por la Universidad de Buenos Aires y la Agencia de Promoción Nacional Científica y Tecnológica, Argentina.

REFERENCIAS

Albarrán P, Crespo JA, Ortuño I, Ruiz-Castillo J (2010) A comparison of the scientific performance of the U.S. and the European union at the turn of the 21st century. *Scientometrics* 85: 329-344.

Anastasiadis AD, de Albuquerque MP, de Albuquerque MP (2009) A characterization of the scientific impact of Brazilian institutions. *Braz. J. Phys.* 39: 511-518.

Benech-Arnold R, Semmartin M, Oesterheld M (2012) Seed science in the 21st century: its role in emerging economies. *Seed Sci. Res.* 22: 3-8.

Blake R, Fereres E, Henzell T, Powell W (2002) Las ciencias

agropecuarias en la Argentina. *Ciencia Hoy* 12: 31-51.

Bourlaug NE (2000) Ending world hunger. The promise of the biotechnology and the threat of antiscience zealotry. *Plant Physiol.* 124: 487-490.

Brumfiel G (2006) The scientific balance of power. *Nature* 439: 646-647.

CAB Abstracts (2012) www.cabi.org

Dimitri PJ (2010) Compilación bibliográfica de documentos sobre bibliometría escritos por autores argentinos. e-lis, e-prints in library and information science. <http://eprints.rclis.org/handle/10760/14861#T3CTNxEaP8w> (Cons. 10/04/2012). 35 pp.

Dow Jones (2010) www.dowjones.com

Ekboir J (2003) Why impact analysis should not be used for research evaluation and what the alternatives are. *Agric. Syst.* 78: 166-184.

FAOSTAT (2012) www.fao.org

Galetto L, Oesterheld M (2010) Impacto de revistas ecológicas no indexadas e indexadas por ISI: una propuesta para promover un cambio de valoración. *Ecol. Aust.* 20: 89-93.

ISI (1999) <http://ip-science.thomsonreuters.com>

Jaffe K (2005) Science, religion and economic development. *Interciencia* 30: 370-373.

Jin B, Rousseau R (2004) Evaluation of research performance and scientometric indicators in China. En Moed HF, Glänzel W, Schmoch U (Eds.) *Handbook of Quantitative Science and Technology Research*. Kluwer. Dordrecht, Holanda. pp. 497-514.

King DA (2004) The scientific impact of nations. What different countries get for their research spending. *Nature* 430: 311-316.

Lomonte B, Ainsworth S (2000) Desarrollo científico en Costa Rica: un análisis bibliométrico a través del Science Citation Index, durante el período 1980-1998. En *Desarrollo Científico y Tecnológico en Costa Rica: Logros y Perspectivas*. Tomo III. Academia Nacional de Ciencias de Costa Rica. pp. 81-114.

May RM (1997) The scientific wealth of nations. *Science* 275: 793-796.

Níaz M (2000) Investigación y la riqueza de una nación. *Interciencia* 25: 37-40.

Oesterheld M, Semmartin M, Hall A (2002) Análisis bibliográfico de la investigación agronómica en la Argentina. *Ciencia Hoy* 12: 52-62.

Paruelo JM, Guerschman JP, Verón SR (2005) Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo. *Ciencia Hoy* 15: 14-23.

Raghuram N (2004) Indian publishing: enduring the boom. *Trends Plant Sci.* 9: 9-12.

RICYT (2000) www.ricyt.org

Satorre EH (2005) Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* 15: 24-31.

SCI (1999) <http://ip-science.thomsonreuters.com>

Spinak E (1995) Quantitative analyses of scientific literature and their validity for judging Latin American production. *PAHO Bull.* 29: 352-359.

Wu Y, Pan Y, Zhang Y, Ma Z, Pang J, Guo H, Xu B, Yang Z (2004) China scientific and technical papers and citations (CSTPC): History, impact and outlook. *Scientometrics* 60: 385-397.

Zhou P, Leydesdorff L (2006) The emergence of China as a leading nation in science. *Res. Policy* 35: 83-104.