

Impacto Económico del Conocimiento Científico:
El Caso de La Genética Vegetal

Autores:

Víctor Castro, Alberto Arizu y Marcos Gallacher (*)

(*) Respectivamente Asociación de Semilleros Argentinos (ASA), Consultor Independiente y Universidad del CEMA

Contacto: Marcos Gallacher, gmg@cema.edu.ar

Resumen

La innovación constituye un importante factor de crecimiento económico. Este trabajo tiene como objetivo cuantificar el impacto económico de un tipo particular de investigación científica: el mejoramiento genético aplicado a la producción de semillas. En Argentina, trabajos anteriores realizados sobre el tema focalizan atención en los impactos de la investigación genética sobre medidas de productividad parcial (en particular, productividad de la tierra). Este trabajo, en cambio, utiliza el marco de función de producción para estimar el impacto de mejoras genéticas sobre producción, controlando por uso de otros insumos. El trabajo utiliza dos bases de datos: una integrada por una sección cruzada de países (incluyendo Argentina), la otra compuesta por datos de sección cruzada y series de tiempo de diversos cultivos argentinos. Los resultados muestran importantes retornos económicos asociados a la investigación en genética vegetal.

Abstract

Scientific innovation constitutes an important factor in economic growth. This paper has the objective of estimating the economic impact of one type of scientific research: genetics applied to seed production. In Argentina, previous research on this topic focalizes on the impact of genetic research on partial productivity measures - in particular land productivity. In contrast, this paper utilizes a production function framework to estimate the impact of genetic improvement, controlling for the use of other inputs. Two data bases are used: one integrated by a cross-section of countries (including Argentina), the other including cross-section and time-series observations of several crops produced in Argentina. Results show important economic returns associated with research in crop genetics.

Clasificación JEL: 031, Q16,

Impacto Económico del Conocimiento Científico:

El Caso de La Genética Vegetal

I. Introducción

El crecimiento económico de un país depende de una manera importante del ritmo de innovación que en él ocurre: en efecto, esta permite aumentar el *output* lograble a partir de un stock inicial de *inputs*. Descubrir nuevas formas de producción resulta interesante ya que permite, en última instancia, economizar uso de recursos. La innovación, sin embargo, no se produce en forma automática sino que requiere la inversión de importantes recursos. En algunos casos ocurre en empresas privadas: cuando los agentes pueden capturar los frutos de sus descubrimientos, existen incentivos para invertir en generar éstos. Otra vez resulta de proyectos financiados (aunque no necesariamente ejecutados) por el sector público. Sea cual fuere el caso, la problemática de la economía de la innovación resulta de importancia tanto para académicos, empresarios y responsables del diseño de política pública.

Este trabajo tiene como objetivo cuantificar el impacto económico de un tipo particular de investigación científica. Esta es mejoramiento genético aplicado a la producción de semillas. Trabajos anteriores realizados sobre el tema en Argentina focalizan atención en la evolución de la productividad de la tierra, ya sea utilizando datos de producción agregada o de ensayos de campo. Los estudios basados en producción agregada tienen el inconveniente de que no resulta posible estimar a partir de ellos qué porción de los incrementos de productividad (de la tierra) se debe a la genética y qué porción a cambios en otros factores productivos. A su vez, las investigaciones basadas en ensayos - si bien permiten estimar ganancia de productividad debida a mejoramiento genético (al mantener constante el uso de otros insumos) tienen la limitante de que no reflejan en forma adecuada las condiciones productivas imperantes en empresas reales.¹

En este trabajo - a diferencia de los trabajos anteriores - se intenta aislar el impacto de la genética de aquel resultante del cambio en el uso de otros factores productivos. Las estimaciones se realizan utilizando estadísticas agregadas de producción y uso de insumos a nivel del sector agropecuario. Se buscó obtener estimaciones del impacto económico real de la genética vegetal sobre el sector agropecuario en su conjunto.

Se presenta a continuación (Sección II) una síntesis de aspectos salientes - para la Argentina - de producción agrícola y mejoramiento vegetal. En la Sección III se estiman modelos de regresión a partir de los cuales puede evaluarse el impacto de la genética; los resultados económicos de esta evaluación se presentan en la sección IV. Se utilizan dos bases de datos. La primera permite comparar intensidades de investigación entre países, y productividad agrícola resultante. La segunda realiza un análisis similar, pero utilizando datos de los principales cultivos de grano de la Argentina.

Las conclusiones del trabajo se presentan en la Sección V. Los apéndices presentan información más detallada sobre la historia de la investigación genética en

¹ Fabio Nider realizó trabajos pioneros en este tema. Ver Nider (s/f1 y s/f2)

Argentina (Apendice I), la base de datos que incluye una muestra internacional de países (Apendice II) y la base de datos circumscripita a datos argentinos (Apendice III).

II. Producción Agrícola y Mejoramiento Vegetal

Los incrementos de productividad del sector agrícola de muchos países han sido notables (ver por ejemplo, Ahearn y colaboradores, 1998, Capalbo y Antle, 1988). Estimaciones hechas en Argentina por Daniel Lema (Lema, 2000) indican que en el período 1970-1997 la producción por unidad de insumo (o *productividad total de factores*, *PTF*) aumentó un 1.55 por ciento anual. Una parte importante de esta cifra se debe a mejoramiento genético: la *PTF* se define como el cociente entre producción y cantidad de insumos convencionales; este cociente aumenta si aumenta algún insumo no incluido dentro canasta de insumos que constituyen el denominador. Mejoramiento genético y mejoras en management son dos insumos que típicamente se excluyen de las mediciones de insumos convencionales y por lo tanto pueden dar lugar a aumentos de *PTF*. La mayor productividad se refleja en menores costos de producción, pero eventualmente también - en la medida que los incrementos de oferta son mayores que los de demanda - en menores precios. La problemática de productividad, y la asociada de los impactos de la investigación científica aplicada a procesos productivos se constituye entonces en un aspecto de importancia.

El mejoramiento genético aplicado a la producción agrícola argentina data de principios del siglo XX.² Fueron varios los hitos de este proceso: nuevas variedades de trigo (década del '20), híbridos de maíz (década del '50), trigos "mejicanos" en la década del '60 e híbridos de girasol en la del '70. A finales de la década del '80, y durante la del '90 hace irrupción la biotecnología moderna, con impactos sobre la producción de nuevas variedades de soja, primero, y otros especies algunos años más tarde. La biotecnología surge a partir de avances teóricos en biología molecular, con aplicaciones a través de técnicas de *marcadores moleculares* (trozos de ADN vinculados a genes que se desea imprimir a cultivares mediante cruzamientos) y de *transgenesis* (transferencia de genes de una especie a otra). Estos últimos permiten elevar eficiencia productiva tanto a través de mayor producción por unidad de recurso tierra, como así también a través de reducción de empleo de agroquímicos.

Entre la década del '80 y la del '90 se verificó un incremento en el ritmo de innovación genética (medido a través del número de nuevos cultivares registrados, Cuadro I). El período con mayor ritmo de innovación fue el quinquenio 1995-99, el trienio 2000-2002 le sigue en importancia. La innovación genética se concentra en el cultivo de maíz, seguido por el girasol y la soja. Las evidencias parecen indicar que la investigación genética tiene considerable ímpetu en Argentina. Por otro lado, los productores agropecuarios muestran una notable receptividad a mejoras que permiten eficientizar procesos productivos. Estudios llevados en Argentina muestran altos ritmos de difusión del maíz híbrido, estos, en efecto, fueron más acelerados que los descritos por Zvi Griliches en su notable trabajo (Griliches, 1957).

Estudios más recientes (Pena y Lema, 2002) muestran que los ritmos de difusión de tecnología genética se ha acelerado a lo largo del tiempo: un nivel de difusión equivalente al 90 por ciento de mercado potencial fue alcanzado luego de 25 años en el caso del maíz híbrido (fines de la década del '40 hasta la de '70), luego de 17 años en el caso de los trigos con germoplasma mejicano (mediados de la década del '70 hasta fines de la del '80) y en sólo 7 años en el caso de las sojas con resistencia a

² El Apendice I resume los hitos más importantes de la historia del mejoramiento genético llevado a cabo en el sector agropecuario argentino desde principios del siglo XX.

herbicidas (mediados de la década del '90 hasta comienzos de la del 2000. En definitiva, en el sector agropecuario existe una notable interacción entre investigación aplicada, por un lado, y aplicación de los resultados de ésta a nivel de la empresa individual por otro. Evaluar el impacto de la ciencia sobre la productividad de la empresa constituye entonces un tema relevante.

III. Impactos de la Genética Sobre la Producción: Teoría y Estimación

El mejoramiento vegetal impacta la productividad a través de distintos mecanismos. Por un lado, permite aumentar el *output* logrado aún sin modificar la cantidad de *inputs* empleados. Por otro, permite ahorro y/o sustitución de *inputs*: por ejemplo, los recientes avances en biotecnología incorporan resistencia a ciertos herbicidas a cultivos como la soja o el algodón. Esto reduce la intensidad de uso de capital (maquinaria), reemplazando éste por control químico de malezas.³ Por último, la genética puede también contribuir a: (a) mejorar calidad de producto (por ejemplo, trigos con mayor contenido proteico), (b) reducir riesgos debidos a impactos climáticos (en particular sequías) y (c) reducir riesgos por enfermedades fúngicas, bacterianas y virales.

Resulta posible incorporar la genética a una función de producción convencional: donde y representa producto obtenido, $\langle x_1, x_2, \dots, x_n \rangle$ el vector de insumos empleados, siendo la "genética" uno de éstos insumos. La cuantificación de la

$$[1] y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

"cantidad" de insumo genético resulta más compleja que para el caso de insumos convencionales: podemos medir con cierta precisión horas-hombre, horas-máquina o hectáreas sembradas, pero no podemos hacer lo mismo para la cantidad/calidad de "capital genético" incorporado a las semillas empleadas por los agricultores. En efecto, la innovación genética representa un típico caso de aumento de "calidad" de un insumo: si ésta no se estima, cabe observar incremento en el ratio entre producción e insumos convencionales "correctamente" medidos: esto es lo que habitualmente se denomina "cambio tecnológico" (ver Griliches, 1960, Peterson y Hayami, 1977).

La cantidad empleada de insumos "convencionales" (por ejemplo fertilizantes o herbicidas) aumenta o disminuye de un año a otro dependiendo de precios relativos. Los insumos genéticos - una vez desarrollados por las empresas - constituyen en cambio un "stock" que va creciendo a través del tiempo, en la medida que mejores semillas reemplazan a las existentes. Esto es así pues la producción de semilla implica altos costos "fijos" de I & D; en cambio, los costos variables (multiplicación) no necesariamente son mayores para el "nuevo" germoplasma que para el ya existente. Lo anterior implica que - una vez descubierto un nuevo germoplasma superior - será comercializado y adoptado, en gran medida con independencia de los vaivenes económicos. En otras palabras, el stock genético resulta de un proceso de acumulación (inversión) que presenta diferencias al que ocurre con items de capital convencionales (tractores, galpones). Por de pronto en el caso de la genética no existe - en forma tan marcada, al menos - pérdida de stock por desgaste del item en cuestión ("amortización" de bienes de capital convencionales).⁴

³ Ver por ejemplo Ferguson y Gould (1975, pag.395)

⁴ En algunos casos puede existir una pérdida por "amortización" del capital genético. Por ejemplo, cultivos tolerantes a enfermedades fúngicas pueden perder la tolerancia si la plaga se adapta al huésped. En este caso, el stock de capital genético se reduce por "obsolescencia" del mismo.

La Figura 1 muestra como el impacto de las innovaciones genéticas es "aditivo", en la medida que cada cultivar no sólo permite aumentar la producción en forma directa, sino que además constituye la nueva "materia prima" sobre la cual se desarrollarán cultivares posteriores. En el momento t_0 se lleva a cabo la primer innovación, con un impacto sobre la producción equivalente a la distancia $a-b$. Posteriormente, en t_1 se lleva a cabo la segunda innovación que aprovecha el know-how incorporado a la innovación anterior (distancia $a-b$), y además contribuye con know-how adicional (distancia $c-d$). Los dos descubrimientos entonces contribuyeron con un aumento de producción equivalente a la distancia $a-d$.

Pero aún cuando el cultivar se "deprecie" en el tiempo por creciente susceptibilidad a plagas del entorno, resulta posible postular que el conocimiento adquirido sirve de punto de partida para el descubrimiento posterior de nuevos cultivares: "estamos parados sobre los hombros de los que nos precedieron" (Figura 2). Lo que aquí se muestra es que en el momento t_0 ocurre la primer innovación, con un impacto $a-b$ que se reduce conforme avanza el tiempo. En t_1 se lleva a cabo la segunda innovación (la cual también se "deprecia"), sin embargo esta segunda innovación tiene un impacto total $c-e$ el cual se descompone en la distancia $c-d$ que representa know-how que se "heredó" de la innovación anterior, y una contribución adicional $d-e$ que representa el salto adicional de la segunda innovación con respecto a la primera. En otras palabras, la primer innovación tiene impactos que se reducen a lo largo del tiempo; pero sin embargo "transfiere" a la segunda innovación conocimiento relevante.

El capital genético - al igual que los otros insumos - tiene impactos sobre la producción que dependen en forma estrecha de la cantidad de insumos colaborantes con las cuales se combina. Algunos cultivares puede rendir mucho más que otros en condiciones "favorables" pero casi lo mismo (o aún menos) si las condiciones de clima/suelo son "poco favorables". Otros, por el contrario, pueden expresar sus ventajas en entornos productivos desfavorables. Existe, entonces, una variedad de situaciones genética/ambiente que merecen ser estudiadas. Evaluar el impacto económico de la genética (denotado aquí por el insumo x_n) resulta complejo pues ésta no sólo resulta en mayores niveles de producción dado *el mismo* vector $\langle x_1, x_2, \dots, x_{n-1} \rangle$ de insumos convencionales empleados, sino que además en muchos casos modifica las productividades marginales de estos insumos convencionales, con consiguientes modificaciones en las demandas de estos (ver, por ejemplo, Gallacher, 1986). Estos efectos "indirectos" de los nuevos germoplasmas - si bien sumamente importantes - no serán evaluados aquí.

En este trabajo, empleamos variantes de la función de producción [1] para estimar el impacto del mejoramiento genético. La primer base de datos permite una comparación internacional de intensidades de investigación y producción (ver descripción de datos en Apéndice II). La segunda emplea datos exclusivamente de la Argentina (descripción de datos en Apéndice III). Ambas bases de datos combinan series de tiempo con datos de sección cruzada. Postulamos una función de producción Cobb-Douglas convencional:

$$[2] y = A(d) \prod_{i=1}^n x_i^{\alpha_i}$$

donde y representa producción por unidad de recurso tierra, los x_i representan insumos (incluyendo genética) y A representa una variable que desplaza la función de producción dependiendo del impacto de ciertos factores (d) asociados a las

características del proceso productivo. Se emplean aquí dos bases de datos a fin de estimar versiones alternativas de [2]. Ambas incorporan datos de series de tiempo, pero en la primera de ellas (base "internacional") cada individuo corresponde a una medida de producción agrícola agregada para un país (uno de estos corresponde a la Argentina). En la otra serie de datos (base "argentina"), los individuos son distintos cultivos de granos para los cuales se cuenta con datos; en este caso todas las observaciones corresponden a datos nacionales.

El modelo empírico de estimación es:

$$[3]y_{it} \square f(MO_{it}, K_{it}, F_{it}, R_{it}, H_{it}, I_{it}, G_{it}, D)$$

donde "i" representa países o cultivos (base "internacional" y "argentina" respectivamente) y "t" representa tiempo. Las variables empleadas son:

y_{it}	= output de la i-ésima unidad (US\$/ha)
MO_{it}	= mano de obra (operarios/ 10^3 has)
K_{it}	= cantidad de capital (tractores/ 10^3 has)
F_{it}	= fertilizantes (kg/ha)
R_{it}	= funguicidas (kg/ 10^3 has)
H_{it}	= herbicidas (kg/ 10^3 has)
I_{it}	= insecticidas (kg/ 10^3 has o)
G_{it}	= genética (var/ 10^6 has)
D_{it}	= variable binaria que captura aspectos relevantes adicionales

El Cuadro II muestra datos descriptivos relativos a la base de datos "internacional". Como puede verse, entre países existen considerables diferencias en la intensidad y utilización de factores. En las economías con agriculturas "intensivas" los cocientes trabajo/tierra, tractores/tierra, fertilizantes/tierra y agroquímicos/tierra son entre 2.9 y 3.1 veces mayores a los observados en países con agricultura extensiva. La agricultura argentina muestra valores especialmente bajos de "intensificación". Por ejemplo, el ratio fertilizante/tierra es menos del 1/3 del existente en países "extensivos" y aproximadamente 1/10 del de países "intensivos". Los ratios mano de obra/tierra y tractores/tierra son asimismo mas bajos en Argentina.

Los valores de intensidad de investigación genética son asimismo muy distintos entre países. En los países de agricultura intensiva (ver Apéndice II), el valor promedio de introducción de nuevos cultivares es de 44.2 por millón de hectareas-año, reduciéndose a 7.3 cultivares por millón de hectareas-año en los países extensivos. Este valor es muy similar al de Argentina (7.5 cultivares por millón de hectareas-año). Las enormes diferencias en ritmo de introducción de nuevos cultivares puede deberse a diferencias en los factores que afectan la oferta y demanda de investigación genética. En relación a la *oferta*, el costo de investigación y desarrollo necesario para introducir nuevos cultivares: en algunos casos los costos son bajos ya que los nuevos cultivares representan variaciones marginales de cultivares existentes; en otros casos los costos son mas altos ya que reflejan la necesidad de crear material genético radicalmente distinto del existente hasta el momento. El ritmo de introducción depende también de la *demand*a de nuevos cultivares: esta es función - entre otras cosas - de la heterogeneidad de "nichos" agroecológicos con particulares problemas a resolver u oportunidades a aprovechar. La demanda de mercado por producción comercial de semillas depende además en forma marcada de las posibilidades que el agricultor tiene de usar su propia semilla de un año a otro.

Centrando ahora atención en los datos nacionales (Cuadro III), se observa que los ritmos de innovación genética son altos en maíz, arroz y girasol, y bastante menores en el resto de los cultivos. Las posibilidades de captura de rentas por obtención de nuevos cultivares explica el alto nivel de innovación en maíz y girasol.

Los resultados de estimación de la función de producción [1] figuran en el Cuadro IV. La estimación internacional (columna "Internacional") muestra que las variables mano de obra (MO), funguicidas (R) e insecticidas no son significativas. Los otros insumos (tractores, fertilizantes, herbicidas y genética), sin embargo, muestran resultados significativos ($p = 0.10$). A su vez, la función de producción estimada con datos nacionales (columna "Argentina") muestra resultados no significativos ($p = 0.10$) para los insumos fertilizantes y funguicidas; el insumo insecticida si bien no significativo a $p = 10\%$ muestra un valor "t" (considerando la crudeza de los datos) relativamente alto. Herbicidas y genética son los dos insumos significativos de esta regresión.

La elasticidad parcial del insumo genético estimada a partir de la base de datos Argentina (0.082) que es algo mayor, pero de todos modos sorprendentemente semejante a la obtenida con la regresión basada en datos internacionales (0.076). Este resultado es alentador, en especial si se considera la crudeza de los datos y del procedimiento de estimación empleado.

IV. Impactos Económicos de las Nuevas Variedades

Para la función de producción Cobb-Douglas el valor (marginal) de la investigación genética puede estimarse mediante:

$$[4] PM_i = \epsilon_i y / x_i$$

es decir, la productividad marginal es el producto de la elasticidad parcial del insumo y el producto medio del mismo. Utilizando el nivel promedio de uso de insumos, y para la regresión "internacional" las estimaciones de valor de la genética resultan entonces en unos 0.99 US\$/ (variedad/millón de hectáreas-año) para los países de agricultura "intensiva" y unos 4.9 US\$/ (variedad/millón de hectáreas -año) para los países extensivos. En Argentina, y utilizando el valor promedio de factores de producción el valor (marginal) de la genética resulta de 3.9 US\$/ (variedad/millón de hectáreas-año). Claramente, existen retornos decrecientes a la introducción de nuevas variedades, siendo los retornos en los países con agricultura intensiva entre 1/5 y 1/4 de los que muestran los países extensivos.

La productividad marginal de un insumo se define como el ratio entre aumento de producción y aumento en la utilización del insumo. Suponiendo (a) una superficie sembrada nacional de unas 25 millones de hectáreas y (b) que la función de producción estimada representa adecuadamente la productividad de factores en esta superficie, el impacto de 25 nuevas variedades adicionales por año se traduce en un incremento bruto de la producción *anual* de unos 97 millones de dólares.

Resulta razonable suponer, sin embargo, que la introducción de nuevas variedades tendrá impactos sobre la producción no sólo de uno sino en "varios" años futuros. Por ejemplo, si luego de producir una variedad adicional por cada millón de

hectáreas se cierran todos los programas de investigación genética del país el aumento en disponibilidad de cultivares obtenido en este año (año "t") tendrá aún así un impacto en la producción del año "t+1", "t+2", hasta "t+n" donde "n" es el número de años necesario para que nuevas plagas y/o cambios biológicos hacen que la productividad del nuevo germoplasma se haya reducido a la del germoplasma anterior que reemplazó. En términos marginales - y utilizando valores promedio de producción por hectárea en Argentina - el aumento en una variedad por año se traduce en un flujo incremental de fondos futuros de \$/ha 3.9 anual al año siguiente de haber sido introducido, y de cifras adicionales en los años siguientes. El Valor Actual Neto de este flujo anual constituye el real "valor" del descubrimiento obtenido.

A título ilustrativo, supóngase que el nuevo germoplasma permite mejoras de productividad idénticas a la productividad marginal, pero sólo durante 5 años hacia el futuro. En el año 6 todo este stock genético se "evapora", retornando entonces el stock al nivel que tenía el año anterior al del descubrimiento inicial. Usando una tasa de descuento del 15 por ciento anual (bastante alta para proyectos de inversión) se obtiene un VAN de los ingresos de la innovación genética es de unos US\$ 13 por hectárea, o sea resulta entonces en un VAN de ingresos totales (25 millones de hectáreas) de unos $25 \times 13 = \text{US\$ } 325$ millones.⁵ En otras palabras, aumentar un 13 por ciento el ritmo de introducción de nuevos cultivares (1 variedad más sobre un promedio de 7.5 por millón de hectáreas-año) tiene como resultado un incremento de output de la producción pampeana estimado en (Valor Actual Neto) más de 300 millones de dólares por año.

El incremento de 13 por ciento en el ritmo de introducción de variedades requiere obviamente recursos, sean estos provistos por el sector privado o el público. Entre éstos merecen mencionarse los salarios de personal altamente capacitado (fitomejoradores o *crop breeders*), salarios de personal de apoyo, gastos para realizar ensayos, imputaciones sobre uso de capital durable (vehículos, laboratorios, etc). Excede al alcance de este trabajo cuantificar el incremento de costos asociado con la mayor producción de cultivos, sin embargo la cifra de más de 300 millones de dólares asociados a introducir un cultivar adicional parecería superar con creces incrementos de costos que es posible vislumbrar.

La regresión "Argentina" permite obtener estimaciones adicionales de impacto económico. En este caso, la productividad marginal de la genética es de 6.4 US\$/(variedad/millón de hectáreas -año), es decir considerablemente - casi 60 por ciento - más alta que la estimada con los datos que comparan países entre sí. Esta mayor productividad marginal tiene como implicancia un Valor Actual de la innovación genética (tasa de descuento de 15 por ciento, duración de innovación de 5 años) de unos US\$/ha 21, en lugar del US\$/ha 13 estimado previamente. El impacto global de la innovación a nivel del país en su conjunto y suponiendo nuevamente 25 millones de hectáreas resulta entonces de unos 525 millones de dólares por cada 25 variedades adicionales lanzadas.

V. Conclusiones

La innovación genética, medida como nuevos cultivares registrados por unidad de superficie, se revela como un factor importante en lo relativo a aplicación de conocimiento a procesos productivos. En efecto, la mayor producción que estas

⁵ Lo anterior supone una demanda perfectamente elástica de la producción Argentina. Supone además que los precios de los granos no cambian en el período mencionado. Este último supuesto es criticable (los granos muestran una tendencia decreciente), sin embargo considerar una "vida útil" del nuevo conocimiento genético de 5 años constituye un sesgo en sentido contrario al anterior.

permiten resulta no ya de mayor nivel de insumos convencionales (fertilizantes, tierra, mano de obra) sino de "know-how". El conocimiento científico es especialmente valioso pues se acumula a lo largo del tiempo; a diferencia de los insumos convencionales no se "agota" una vez utilizado sino que por el contrario permite generar mas conocimiento en el futuro.

Este trabajo muestra que los impactos del conocimiento científico son altos: en el caso específico de la producción de granos, un incremento de un 13 por ciento en el ritmo de introducción de nuevas variedades resulta en incrementos (en términos de Valor Actual Neto) de la producción que oscilan entre los 300 y los 500 millones de dólares. La técnica de estimación y los datos empleados en este trabajo son primitivos; trabajos posteriores bien pueden llegar a conclusiones distintas. Entre otros aspectos, merece explorarse cual es el *impacto temporal* del descubrimiento genético; es decir hasta adonde existe un *spillover* de conocimiento entre años. Al respecto, merece también explorarse de que forma se lleva a cabo la acumulación de investigación: ¿Ocurre a través de un proceso similar al de "rezagos distribuidos", donde los descubrimientos mas recientes son mas relevantes que los anteriores? ¿Cual es el ritmo de "depreciación" de conocimiento a lo largo del tiempo? También resulta pertinente analizarse cuales son los costos de obtener nuevos descubrimientos: en términos económicos, la "función de oferta" de nuevas variedades.

Por último, puede destacarse que factores que frenan el ritmo de inversión en investigación (por ejemplo, restricciones a los derechos de propiedad intelectual) tienen importantes consecuencias sobre los incentivos para la innovación genética, y por lo tanto sobre el output lograble.

VI. Bibliografía

Ahearn, M., J.Yee, E.Ball y R.Nehring (1998), "Agricultural productivity in the United States". USDA-ERS Information Bulletin 740.

Capalbo, S.M. y J.Antle, editores (1988), ***Agricultural Productivity: Measurement and Explanation***. Resources for the Future. Washington DC.

Ferguson, C.E. y J.P.Gould (1975), ***Teoría Microeconómica***. Fondo de Cultura Económica.

Gallagher, M. (1986): Implicancias económicas del cambio tecnológico: nuevas variedades en la región triguera IV. ***Estudios Económicos*** Vol IV Num. 7/8 pag.1-11. Universidad Nacional del Sur.

Griliches, Z (1957), "Hybrid corn - and exploration in the economics of technical change. ***Econometrica*** (2): 501-522.

Griliches, Z.(1960), "Measuring inputs in agriculture: a critical survey". ***Jour.Farm Econ.***(42):1411-1427.

Gutierrez, M. (1988), "Semillas Mejoradas: Desarrollo Industrial e Impacto sobre la Producción Agrícola". En ***La agricultura pampeana. Transformaciones productivas y sociales***. Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires.

Lema, D.(2000), "Crecimiento y productividad de la agricultura argentina: 1970-1997". INTA - Instituto de Economía y Sociología Rural.

Nider, F. (s/f1), Importancia del mejoramiento genético en el incremento de los rendimientos unitarios de los principales cultivos argentinos". Publicación de Dekalb Argentina.

Nider, F. (s/f2), "Contribución genética al incremento de los rindes de maíz, sorgo y girasol argentinos". Departamento de Investigación de Dekalb Argentina.

Obtschatko, E. de. (1988), "Las Etapas del Cambio Tecnológico". En: **La agricultura pampeana. Transformaciones productivas y sociales**". Fondo de Cultura Económica. Buenos Aires.

Pena, J. y D.Lema (2002), "Adoption of herbicide resistant soybeans in Argentina: An economic analysis" En N. Kalaitzandonakes (ed), **Economic and Environmental impacts of Agbiotech**. Kluwer Academic Publishers.

Peterson, W. y Y.Hayami (1977), Technical change in agriculture". En: Lee Martin (ed), **A Survey of Agricultural Economics Literature** (Vol. 1). University of Minnestota Press.

Ras, N. (1977), **Una interpretación sobre el desarrollo agropecuario de la Argentina**. Ed. Hemisferio Sur. 2° Edición. Buenos Aires.

UPOV (2002). "UPOV-ROM Plant Variety Database". Unión Internacional de Protección de Obtenciones Vegetales. 2002/06, CD-ROM.

WIPO. Organización Mundial de la Propiedad Intelectual. Registro Internacional de Variedades vegetales, On Line, www.wipo.org/ipstats/en/.

Figura 1: Innovación Genética y Producción
(Innovación tiene impacto constante en el tiempo;
innovaciones futuras se benefician de innovaciones anteriores)

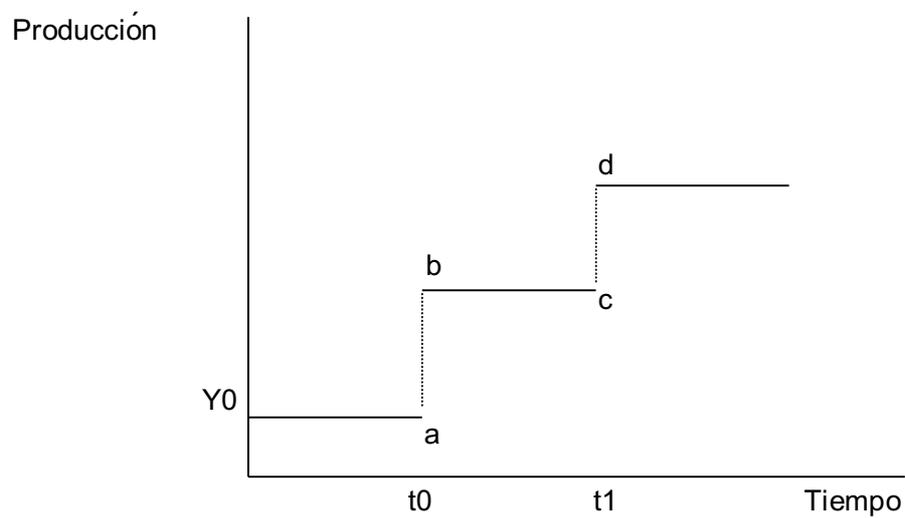
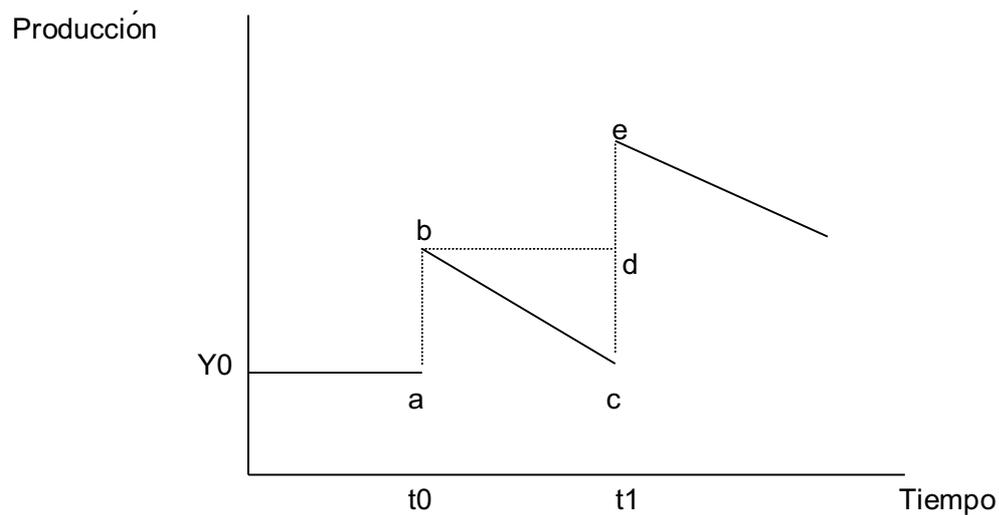


Figura 2: Innovación Genética y Producción
(Innovación tiene impacto decreciente en el tiempo;
innovaciones futuras se benefician de innovaciones anteriores)



Cuadro I: Innovación Genética - Cultivos Seleccionados

Cultivo	Quinquenio				
	80-84	85-89	90-94	95-99	2000-02
-- Nuevos Cultivares (promedio anual) --					
Algodón	3.0	0.2	1.4	1.2	2.0
Arroz	4.2	0.0	1.0	3.2	0.7
Maíz	29.6	11.2	29.0	43.4	44.3
Girasol	14.0	6.0	20.6	26.6	11.0
Soja	15.4	1.2	16.8	25.6	19.0
Trigo	11.2	2.4	4.4	9.0	9.7
Total	77.4	21.0	73.2	109.0	86.7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Dirección Nacional de Semillas, SAGPyA (ex-INASE)

Cuadro II: Producción y Uso de Factores- Comparación Internacional

	Promedio Países Agricultura		
	Extensiva	Intensiva	Argentina
Valor Producción (*)	457	520	403
Mano Obra/10 ³ has	54	170	54
Tractores/10 ³ has	20	78	10
Fertilizante/10 ³ has	72	210	23
Agroquímicos/10 ³ has	74	212	24
Innov. Genética/10 ⁶ has (**)	7.3	44.2	7.5

Elaboración en base a datos de SAGPyA, CASAFE, FAO, Unión Internacional de Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV) CD-Rom 2002/06 y Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO), Registro Internacional de Variedades Vegetales.

(*) VBP corresponde sólo a cultivos considerados para cada país (ver Apendice I)
 Resto de variables corresponde a total de sector agrícola según estadísticas FAO
 (**) Nuevas variedades introducidas, Dirección Nacional de Semillas, SAGPyA

Cuadro III: Producción y Uso de Factores - Argentina
(Promedios 1989-2001)

	VBP U\$S/ha	Genet Var/10 ⁶ has	Fert kg/ha	Agroq kg/ha
Algodon	738	2.9	0	33
Arroz	979	11.2	0	27
Maíz	419	15.2	85	17
Girasol	424	7.9	14	17
Soja	467	3.5	7	34
Trigo	273	1.3	77	6

Elaboración en base a datos SAGPyA y CASAFE.

Cuadro IV: Resultados de Regresión

	Internacional	Argentina
	Coeficiente (valor t)	Coeficiente (valor t)
Constante	5.113 (26.63)	5.896 (24.3)
DEXT	0.189 (2.89)	n/c n/c
LogMO	-0.042 (-1.78)	n/c n/c
LK	0.062 (2.30)	n/c n/c
LogF	0.154 (4.82)	-0.028 (-1.57)
LogR	-0.010 (-0.39)	0.004 (0.72)
LogH	0.154 (3.52)	0.086 (2.11)
LogI	0.010 (0.43)	0.034 (1.60)
LogG	0.076 (3.48)	0.082 (2.26)
Dext	0.19 (2.89)	n/c
Dalg	n/c	0.671 (2.60)
DArz	n/c	0.377 (5.13)
	n = 105 R ² = 0.81	n = 72 R ² = 0.88

Apéndice I: Mejoramiento Genético en Argentina - Una Síntesis

Hacia 1930 el crecimiento agrícola argentino comenzó a mostrar signos de estancamiento (Ras, 1977). La tasa de cambio tecnológico fue muy baja y el sector agrícola argentino perdió competitividad frente a los países rivales. En el caso del trigo en particular influyó también la focalización en la selección por calidad, dejando en segundo plano la mejora en los rendimientos. Las variedades argentinas eran caracterizadas como 'correctoras' por su alta aptitud panadera pero mantenían algunas características, como la tendencia al vuelco, que las tornaban incompatibles con planteos de alta productividad basados en el uso masivo de fertilizantes. Como consecuencia, la producción argentina no creció a la par de la demanda y fue perdiendo posiciones dentro del mercado triguero mundial.

A partir de los años 40 los semilleros privados consolidaron su posición dentro de la industria. Simultáneamente, la necesidad de impulsar una mejora tecnológica en el sector agropecuario llevó al gobierno a crear el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) en 1956, organismo que agrupó diversas Estaciones Experimentales diseminadas por el país. Unos años más tarde nació el movimiento CREA. Ambas instituciones se convirtieron en motor de arranque de un nuevo ciclo de expansión basado en el progreso tecnológico. Con la creación del INTA cobró nuevo impulso la investigación y el desarrollo de innovaciones genéticas. En particular, este organismo participó activamente en dos hitos históricos: el desarrollo de semilla híbrida y la introducción de germoplasma extranjero.

La incorporación de los híbridos representa un hito histórico para la agricultura. La adopción de maíces híbridos (a partir de fines de la década del '40) se dio en conjunto con el progreso en la mecanización agrícola, dando lugar a un proceso de retroalimentación en el que los beneficios de las inversiones en maquinaria se potenciaban con la utilización de semilla híbrida (Obtschatko, 1988). Como ejemplo, la uniformidad en la maduración y la resistencia al vuelco permitieron una generalización de la cosecha mecánica. La mecanización, el uso de generalizado de agroquímicos, el perfeccionamiento de las prácticas de cultivo (fechas de siembra, densidades, etc.), en conjunto con la difusión de los híbridos generaron un salto tecnológico trascendental en la agricultura pampeana durante las décadas del 60 y 70 (Gutiérrez, 1988). A estos cambios deben sumarse la introducción de semillas mejoradas ("mejicanas") de trigo en la década del '60. Al igual que en el caso de la semilla híbrida, la introducción de las variedades mejicanas generó un rápido incremento de la productividad agrícola. No sólo aportaron un mayor potencial productivo y una mejor adaptación al uso de fertilizantes, sino que también, al acortar el ciclo del cultivo, favorecieron la expansión de la soja al hacer viable el doble cultivo trigo / soja de segunda.

El uso de la hibridación ("heterosis") como herramienta genética continúa hasta el presente. En el caso del maíz, inicialmente se lanzaron al mercado híbridos dobles, seguidos a partir de 1971 por híbridos de tres líneas. Desde mediados de la década del 90 predominan los híbridos simples. Adicionalmente, a mediados de los años 80 los criaderos introdujeron materiales con genética proveniente de Europa, la que amplió la frontera de este cultivo y contribuyó a modificar el tipo comercial predominante en la producción argentina.

El avance tecnológico ocurrido en la agricultura del último cuarto de siglo se dio simultáneamente con un cambio en la industria semillera local. El crecimiento del mercado

local atrajo a firmas internacionales, las que incrementaron su presencia en el país. Contribuyó al desarrollo de la industria semillera la sanción de la Ley 20.247 hacia fines de la década del 70. Esta Ley de Semillas y Creaciones Fitogenéticas aportó seguridad jurídica y protección de derechos a los obtentores y propietarios de nuevos cultivares. Esta protección es especialmente importante en las especies "autógamas", las que carecen de la protección "natural" propia de las semillas híbridas. Bajo este marco legal, los productores locales accedieron a innovaciones provenientes de centros privados de investigación ubicados tanto en el país como en el exterior. Es así que durante la década del 80 el maíz recibió el aporte de germoplasma exótico proveniente de Europa y los Estados Unidos de Norte America. La incorporación de materiales venidos del Hemisferio Norte implicó un abandono parcial del típico maíz flint comercializado por la Argentina, lo cual generó inicialmente ciertas resistencias por parte del sector comercial.

Hacia mediados de los 80 ya se promocionaban en el Sudeste y Sudoeste de Buenos Aires híbridos provenientes de Europa, adaptados a suelos mas fríos y períodos libres de helada más cortos. Con este aporte, la frontera del cultivo de maíz se expandió hacia el Sur.

Desde hace ya más de una década las limitaciones comerciales han sido superadas. Actualmente se ofrecen en el país semillas adaptadas tanto a zonas subtropicales como a las templadas y frías; conviven en el mercado los tipos flint y dentado.

El crecimiento del cultivo de soja está estrechamente vinculado con el entrada de germoplasma extranjero y los cambios en la industria semillera. La expansión inicial de esta oleaginosa durante la década del 70 se basó enteramente en genética proveniente de Estados Unidos y Brasil, ya que hasta esos años esta especie no ocupaba la atención de la industria semillera local.

De las variedades incorporadas provenientes de USA, algunas lograron una rápida difusión, producto de la adaptación as diferentes variables que afectan la producción local. Fue recién en la década de los ochenta, donde las instituciones tanto publicas como privadas aportaron los primeros cultivares mejorados en el país. Trabajos realizados por INTA demuestran que la ganancia genética anual en Argentina es mayor que en USA y que esta ganancia podría ser atribuida a que los factores limitantes del cultivo soja en nuestro país son menos en cantidad.

Las perspectivas del mejoramiento genético de soja en nuestro país, han cambiado por varios factores. Entre otros podemos mencionar que el rápido avance de la biotecnología hizo que muchos laboratorios, en especial los de USA, destinaran enormes recursos al objetivo de incorporar nuevos caracteres en los cultivos. Otro ejemplo importante que ha cambiado el accionar de los programas de mejoramiento, es el aspecto sanitario. Muchos cultivares son susceptibles a la podredumbre húmeda del tallo y a otras enfermedades detectadas en los últimos años, la muerte súbita y el cancro del tallo. Asimismo, la utilización de cultivares con mayor potencial de rendimiento, mejor aptitud agronómica, comportamiento a las enfermedades y mayor adaptación a las condiciones ambientales específicas, son las principales causas que hacen que los rendimientos promedio se mantengan en el país por encima de 2500 kg.

En 1996, con la aparición de los primeros cultivares transgénicos de soja, la biotecnología pasa a primer plano dentro de la actividad agrícola pampeana. Esta herramienta comprende una serie de técnicas específicas surgidas como resultado de los avances científicos en materia de biología molecular. Su aplicación en el campo de la genética vegetal puede dividirse en dos ramas:

(a) *El uso de marcadores moleculares*: Los marcadores moleculares son trozos de ADN vinculados a genes que se desea imprimir a un cultivar mediante cruzamientos. Contar con indicadores de la presencia de genes específicos permite aumentar la precisión en el

trabajo de los mejoradores al facilitar la identificación, dentro de la descendencia de un cruzamiento, de aquellos individuos que recibieron los genes que deseados. Gracias a ello, se logran importantes reducciones en el tiempo y en los costos necesarios para la obtención de innovaciones genéticas. En la Argentina este tipo de técnicas se aplican en diversos centros de investigación de los que han surgido, por ejemplo, muchos de los híbridos de girasol actualmente en uso.

(b) *La transgénesis*: Esta técnica permite transferir genes de una especie a otra. Gracias a ella es posible superar las barreras entre especies y por lo tanto aumentar, hasta límites indefinidos aún, las posibilidades de mejoramiento de los vegetales cultivados. Sus aplicaciones irán creciendo a medida que se incorporen nuevos conocimientos sobre biología molecular y se avance en la decodificación del mapa genético de las principales especies cultivadas. En una primera etapa, el uso comercial de la transgénesis ha sido orientado a elevar la eficiencia productiva tanto mediante el incremento de los rendimientos como a través de la reducción en el empleo de agroquímicos. Se espera el inicio de una segunda etapa en la que el objetivo pasará a ser el aumento de la calidad nutritiva de los alimentos.

La Argentina ha ingresado en una nueva revolución agrícola. Su problemática es mantener su competitividad como productor internacional. Es evidente que para hacerlo en un mercado mundial fuertemente subsidiado, el país debe proceder a una reconversión tecnológica que le permita valorizar sus cadenas agroalimentarias. Actualmente se encuentran disponibles comercialmente en nuestro país tres cultivos genéticamente modificados: soja, algodón y maíz, con diferentes características (soja tolerante a glifosato, maíz resistente a insectos, maíz tolerante al herbicida glufosinato de amonio, algodón tolerante a glifosato y algodón resistente a insectos). Si bien estos productos son los únicos en el mercado hasta el momento, se está investigando en numerosos cultivos, entre ellos el girasol, cultivo estratégico para nuestro país y el único en el cual Argentina es formadora de precios.

Apendice II: Base de Datos - Comparación Internacional

Se incluyeron en la base de datos países para los cuales se contara con información sobre introducción de nuevos cultivares. Los datos recopilados corresponden a Alemania, Argentina, Australia, Bélgica, Canadá, Chile, Dinamarca, Estados Unidos, Francia, Hungría, Irlanda, Nueva Zelandia, Polonia, Reino Unido, Rumania, Sudafrica y Uruguay. Los cultivos considerados para estimar el Valor de la Producción son sólo aquellos para los cuales se tienen datos de nuevos cultivares. Para decidir la inclusión o no de un cultivo se consideró además la relevancia del mismo en la agricultura del país, y la existencia de cotizaciones internacionales de precios. Estos pueden o no ser los cultivos mas importantes de cada país. Se toma entonces a los cultivos para los cuales hay datos de innovación genética como los "representativos" de la agricultura del país en cuestión. Los cultivos seleccionados fueron algodón, arroz, avena, cebada, colza, girasol, maíz, soja, sorgo y trigo. Las siguientes series se construyeron a partir de una variedad de fuentes de datos:

Valor de la Producción Agrícola/ha (VPA): Se multiplica producción de cada año por precio "internacional" promedio (del período 1991-1993) de los cultivos para los cuales hay datos de innovación genética, y se divide la cifra resultante por las hectáreas sembradas de estos. Este valor resulta el "proxy" de la producción valorizada por hectárea del país en cuestión. Los datos de producción y superficie fueron obtenidos de registros FAO.

Mano de Obra (MO): representa mano de obra empleada en la producción agrícola (número de personas cada mil hectáreas), o sea población económicamente activa en el sector rural. Para esta y las siguientes variables el valor de superficie representa tierra arable mas cultivos permanentes. Observese que esta variable y todas las otras referidas a insumos no corresponden estrictamente a los cultivos utilizados para construir la variable VPA sino al sector agrícola en su conjunto. Restricciones de datos obligan a realizar esta simplificación.

Capital (K): Como índice aproximado de la intensidad de uso de capital durable se utilizó el cociente entre cantidad de tractores disponibles por cada mil hectáreas. Fuente FAO.

Fertilizantes (F): Los datos se obtuvieron de la serie FAO, y se refieren a toneladas totales de producto por cada mil hectáreas. Para todos los países incorporados en este trabajo FAO cuenta con estadísticas completas de este insumo.

Fungicidas, Herbicidas e Insecticidas (R, H, I): Todos expresados como toneladas de producto por cada mil hectáreas. Fuente FAO.

Innovación Genética (G): Esta ultima variable cuantifica el aporte de genética a la producción agrícola. Como medida de la intensidad de la innovación genética en cada país se tomó el promedio del registro de cultivares durante el periodo disponible para cada país entre 1990 - 2000 y, por cada millón de hectáreas cultivadas. Estos registros fueron tomadas de la base de datos de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (WIPO, www.wipo.org/ipstats/en/) y la Unión Internacional de Protección de Obtenciones vegetales (UPOV, (UPOV CD-ROM 2002). Los países adheridos vuelcan en el registro de propiedad los nuevos cultivares a comercializar en el mercado, sobre la base de ser nuevos, diferentes, uniformes y estables, con lo que. La disponibilidad de datos sobre registro de variedades limitó tanto la cantidad de países incorporados a la serie estadística como el periodo considerado. Los registros anteriores al 1990 son escasos e incompletos para la mayoría de los estados miembros de la UPOV. Cabe aclarar que a la Unión Internacional de Protección de obtenciones Vegetales (UPOV), pertenecen gobiernos de más de 47 países cuyas legislaciones estan adaptadas a las diferentes actas de este organismo internacional, otorgando una estandarización en los registros de cultivares. El registro considerado contempla todas las especies, incluyendo las hortícolas y forrajeras. Cabe aclarar además que para Estados Unidos el registro solo contempla los cultivares bajo propiedad y no el listado completo que incluye aquellos cultivares que estan bajo el dominio publico, como en el resto de los países.

Apéndice III: Base de Datos - Argentina

Se eligieron los principales cultivos de grano: algodón, arroz, maíz, girasol, soja y trigo. Para todos ellos se tienen registros completos de innovación genética, para el período 1980 - 2002. Estos datos corresponden a nuevas variedades registradas ante la SAGPyA (Dirección Nacional de Semillas, ex-INASE). Restricciones en cuanto a disponibilidad de datos de utilización de agroquímicos obligan a circunscribir el análisis al período 1989 -2001. En un primer momento, se construyó un

Valor de la Producción Agrícola/ha (VPA): Se multiplica producción de cada año por precio internacional promedio (1991/93) de los cultivos considerados y se divide la cifra resultante por las hectareas sembradas de estos. Estos precios son los mismos que los utilizados para la base de datos "Internacional". Este valor resulta el "proxy" de la producción valorizada por hectárea del país. Los datos de producción y superficie fueron obtenidos de registros de la SAGPyA..

Mano de Obra (MO): Restricciones de información impiden incorporar esta variable al modelo de regresión.

Capital (K): Restricciones de información impiden incorporar esta variable al modelo de regresión.

Fertilizantes (F): CASAFE (Camara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes) publica una serie de consumo total de fertilizantes (toneladas) para el período 1980-2001. Existen además datos de consumo a nivel de cultivo individual para maíz, girasol, soja y trigo, pero sólo para los años 1997-2001. Estos últimos datos se incorporaron directamente a la serie analizada. Para estos cultivos, y para los años 1989-1996 (para los cuales no se tienen cifras de consumo por cultivo) se estimaron consumos suponiendo que el porcentaje de consumo de fertilizante por cultivo en el año 1997 representa en forma "razonable" la importancia del consumo del mismo cultivo en los años 1989-1996. Es decir, se supuso que la importancia de cada cultivo en la demanda total de fertilizantes del año 1997 puede extrapolarse al período 1989-1996. Se supuso además que el consumo de fertilizantes en algodón y arroz es nulo.

Funguicidas, Herbicidas e Insecticidas (R, H, I): Todos expresados como toneladas de producto por cada mil hectareas. La fuente de datos es CASAFE.

Innovación Genética (G): Se utiliza el datos de nuevas cultivares registrados en el año, según información de la Dirección Nacional de Semillas, SAGPyA (ex-INASE).