



Universidad de San Andrés
Departamento de Economía
Licenciatura en Economía

**¿Los cultivos genéticamente modificados ayudan a la convergencia entre
zonas geográficas? Un experimento natural sobre el maíz en Argentina**

Ramiro Gallart
DNI: 39.757.267
Director de tesis: Christian A. Ruzzier
Buenos Aires, Argentina
24/10/2019

Resumen

Las áreas cultivables y las posibilidades de las zonas subtropicales se incrementaron desde el desarrollo de las semillas modificadas genéticamente (cultivos transgénicos), y la generación de granos capaces de resistir a los insectos y los climas hostiles comunes en estas áreas. Esto sugiere una explicación para la convergencia en la brecha de productividad entre zonas subtropicales y templadas. Este trabajo se propone explotar un experimento natural en Argentina para proveer evidencia de que este es un factor exógeno que afecta a diferentes provincias, permitiendo sostener que las provincias subtropicales se beneficiaron más que las templadas del desarrollo de las semillas modificadas, permitiendo así reducir la brecha y eventualmente realizar un catch up.

Abstract

The arable area and performance of subtropical zones has been increasing since the release of multiple GMO seeds that help crops fight insects and heavy weather, which are more common in those types of areas. This suggests an explanation for the convergence in the agriculture productivity gap (which shows a clear upward trend in agriculture production in subtropical zones towards tempered zones). We show causal evidence from a natural experiment in Argentina that provides exogenous variation in the production in different provinces, supporting this explanation that subtropical provinces have benefited more from the release of GMO seeds than tempered ones, making them increase their production exponentially and eventually catching up.

1. Introducción

La mayoría de las economías desarrolladas están situadas en zonas templadas. Solo dos de las treinta economías más ricas del mundo están en zonas tropicales, como mencionaba Sachs (2001). De esta observación se desprenden múltiples trabajos que buscan explicar qué es lo que determina que a las zonas subtropicales y tropicales les cueste más que a las templadas el desarrollo económico. El autor llega a la conclusión de que varios factores influyen en que estos países sean menos desarrollados: que las tecnologías desarrolladas en algunas regiones (por ejemplo Europa) son específicas para ciertas zonas ecológicas y no sirven para otras; que las tecnologías de las zonas templadas eran más productivas que las de los trópicos en los inicios del proceso moderno de crecimiento; y que factores demográficos y socio-políticos favorecieron a las zonas templadas en su desarrollo. No obstante, también es posible observar que en los últimos años, esta brecha entre los países templados y los tropicales y subtropicales se ha ido disminuyendo en el ámbito agrícola.

Partiendo de este escenario, este trabajo busca aportar evidencia empírica de que el desarrollo de cultivos transgénicos es una de las causas del catch-up económico entre estas dos zonas. Para eso, primero nos centraremos en explicar por qué en primera instancia las zonas tienen históricamente rindes muy distintos. Luego, para poder comparar la productividad agraria de las dos zonas, lo común es comparar el valor de lo que éstas producen; es por eso que será necesario evaluar cómo está estructurado el mercado y qué cultivos son los que proveen mayores riquezas.

Los cereales y oleaginosas representan la mayor parte del mercado de *commodities*, y estos, en su mayoría no eran originalmente propicios para zonas subtropicales, sino que eran cultivos típicos de zonas con temperaturas más bajas. Las zonas subtropicales se dedicaban en mayor medida a la

ganadería y la producción de cultivos intensivos en mano de obra, como el café, caña de azúcar y arroz. Sin embargo, con el pasar del tiempo, distintas tecnologías como la siembra directa, herbicidas y algunos fertilizantes permitieron que estos países comenzaran a ser un poco más relevantes en el mercado de cereales y oleaginosas. Pero los puntos de inflexión que permitieron a estos países en desarrollo ponerse a la altura de los otros fueron dos. En primer lugar, la inserción de la soja, ya que es un cultivo extensivo con altos rindes en zonas subtropicales, que hasta 1970 no era relevante y prácticamente no se producía, ya que aún no había una gran demanda como la hay actualmente, desde que se comenzó a utilizar para la alimentación de animales, especialmente pescado, y se popularizó en países como China. Y en segundo lugar, el desarrollo de semillas transgénicas, que permitieron expandir la zona agraria para varios de estos cultivos, como el maíz, la soja y el algodón, y aumentar su productividad reduciendo el costo, ya que ahora podían cultivarse con siembra directa y utilizando menos herbicidas y más baratos; y reduciendo pérdidas por plagas.

Por lo mencionado hasta el momento, en este trabajo nos interesamos particularmente por el desarrollo de los cultivos genéticamente modificados (GMO sigla en inglés), ya que es el único cambio que ocurrió desde los trabajos de Sachs (2001; 2003), Acemoglu, Johnson y Robinson (2001) y el Banco Interamericano de Desarrollo (1998-1999), los cuales llegan a la conclusión de que parecería no haber ninguna convergencia en la productividad agraria entre los países de ambas zonas (subtropicales y no subtropicales) hasta ese entonces. En otras palabras, este trabajo toma, a diferencia de los anteriores, datos de Argentina, e introduce también la novedad de estudiar el impacto de un desarrollo tecnológico particular (GMO). Además, los datos que utilizamos en este experimento son más actuales que los que se tomaron en los estudios antes mencionados.

En otras palabras, para estos autores no hay ninguna tendencia previa al experimento natural que utilizamos que muestre una convergencia entre ambas zonas, y nos proponemos evaluar si la introducción de los cultivos GMO modificó esta situación.

Por otra parte, podríamos preguntarnos por qué no se realizó antes el *catch up* entre las zonas, que de hecho había sido pronosticado en más de una ocasión. Una de las razones podría ser que, si bien la soja es un cultivo importante, no cubre el mismo volumen que todos los cereales juntos, y además porque hasta que no se desarrollaron cultivos más resistentes a los insectos, tenía rindes muy bajos.

2. Un poco de historia

El crecimiento de los cultivos de maíz y soja es algo global. Sólo en 2008, la extensión destinada a estos cultivos en el mundo creció en un 9,4%. En un año hubo 10,7 millones de hectáreas transgénicas cultivadas más que en 2007, y el número de países también se incrementó considerablemente, pasando de 6 en 1996, primer año de la comercialización, a 25 en 2008, cuando se sumaron por vez primera Burkina Faso, Egipto y Bolivia. En ese mismo año, Alemania se declara contraria a los transgénicos: sin embargo, por su clima frío, no es uno de los países que más podría beneficiarse de su implementación (Bello Janeiro, 2015).

Como se mencionó anteriormente, la soja no era un cultivo demasiado relevante hasta 1970, ya que no existía una gran demanda a nivel global, pero esto cambió cuando se convirtió en uno de los alimentos más populares para la ganadería y la piscicultura. La demanda de soja de China fue muy importante, tanto que en el 2018 un 96% de los despachos de exportación de poroto de soja

argentinos tuvo destino a China (J. Calzada et al., 2019). Y la introducción de los cultivos transgénicos, como sostenemos en este trabajo, les brindó la posibilidad a países de zonas que no eran adecuadas para el cultivo de maíz, soja o algodón, entre otros, de convertirse en productores relevantes.

Además de la soja, otro importante cultivo que también mejoró su rendimiento gracias a los avances tecnológicos, sobre todo en países subtropicales, es el maíz. En Argentina, la primera modificación transgénica del maíz, llamada evento Bt, se aprobó en 1998 y, desde ese entonces, una decena de eventos diferentes de maíz de ese tipo se han aprobado para su cultivo y comercialización. Estos diferentes eventos aprobados en Argentina permiten controlar peligrosas plagas, como el barrenador del tallo *Diatraea saccharalis*, otros lepidópteros (de los que permiten un control parcial), plagas como la isoca de la espiga (*Helicoverpa zea*), la oruga cortadora (*Agrotis spp.*) y el gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*). Los eventos con resistencia a coleópteros recientemente aprobados permiten controlar los gusanos de la raíz (*Diabrotica spp.*). Ese maíz es conocido como Maíz Bt.

Algo similar sucede con el algodón: el algodón llamado “algodón Bt” resulta de la incorporación de los genes Cry al genoma del algodón. Así, el algodón Bt que se cultiva en la Argentina es resistente a insectos (lepidópteros) y, en particular, a la oruga del capullo, la oruga de la hoja del algodonero y la lagarta rosada.

2.1 ¿Por qué la agricultura es tan importante para las economías en desarrollo?

La importancia del desarrollo agrícola para el crecimiento socioeconómico y el desarrollo en muchos países en desarrollo está estrechamente vinculado con sus posibilidades de crecimiento: la agricultura puede proporcionarles un “shock de riqueza” con el cual el Estado puede sustentar un aumento en la infraestructura y educación que a su vez permita a los agentes económicos ser más productivos. Un aumento del capital per cápita podría retroalimentarse y ayudarlos a crecer aún más.

Para los países que necesitan desarrollarse, el crecimiento económico mediante la agricultura es una gran promesa (Sertoglu et al., 2017). En muchos casos, la agricultura es la piedra fundacional del crecimiento económico, el desarrollo y la erradicación de la pobreza en los países en vías de desarrollo.

Un caso que puede funcionar como ejemplo de la importancia que tiene la agricultura para los países en vías de desarrollo es el de Nigeria. La agricultura contribuye con más de una cuarta parte del PIB en las naciones que más se están desarrollando, Nigeria entre ellas (Sertoglu et al., 2017).

En este punto es importante recordar que, como sostiene por ejemplo Sachs (2001), los problemas de las naciones en desarrollo aumentan cuando se trata de zonas subtropicales, que cuentan con ciertas desventajas (una estación de lluvia tardía; mayores temperaturas e influencia de ellas en la respiración y fotosíntesis de las plantas; una gran cantidad de plagas, pestes y parásitos; diferencias en la formación y erosión del suelo, y alta evaporación del agua). Para este autor, el PBI per cápita y el crecimiento económico están sensiblemente correlacionados con variables geográficas y ecológicas. Este vínculo puede ser directo (a través de la influencia de las variables geográficas y ecológicas en la productividad, la inversión, etc.) o indirecto (a través del efecto sobre la elección de instituciones).

Por otra parte, también existen autores como Acemoglu (2001), Johnson & Robinson (2000), Easterly & Levine (2002), y Rodrik, Subramanian & Trebbi (2002), que tienen un punto de vista diferente. Ellos sostienen que las variables geográficas influyen básicamente mediante la elección de instituciones. Según estos papers el rol directo de la geografía sería no significativo.

2.2 Situación actual de los cultivos modificados en Argentina

En nuestro país, la tasa de adopción de cultivos modificados genéticamente es una de las más altas en cuanto a adopción de tecnologías en el sector agropecuario. Es mayor, inclusive, a la observada años atrás con la incorporación de los híbridos. Estos niveles de adopción indican un alto grado de satisfacción por parte de los agricultores con respecto a los productos de esta nueva tecnología, que ofrece, además de la disminución de los costos, otras ventajas, como mayor flexibilidad en el manejo de los cultivos, disminución en el empleo de insecticidas, mayor rendimiento y mejor calidad. Según el informe de Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones Agrobiotecnológicas (ISAA), Argentina continúa siendo uno de los principales países productores de cultivos transgénicos, con 24,3 millones de hectáreas en 2014. Eso representa algo más del 13% del área global cultivada con transgénicos. En la campaña 2014 - 2015 se continuó registrando una excelente adopción de maíz (un 96% del maíz total), algodón y soja transgénicos (casi el 100% del algodón y soja total). En cuanto a las aprobaciones regulatorias, Argentina autorizó en 2014 la siembra comercial de un maíz con una combinación de los eventos BT11, MIR162, TC1507 y GA21.

3. Experimento natural y datos

Este trabajo propone una explicación causal a la convergencia de la producción de maíz en las provincias de Argentina a través del desarrollo de semillas transgénicas, argumentando que esto se da debido a que estos cultivos combaten precisamente las desventajas que presentaban las zonas subtropicales. Estas desventajas a las que hacemos referencia son principalmente una estación de lluvia tardía, mayores temperaturas, una gran cantidad de plagas, y diferencias en los suelos, como se explicó anteriormente. Nos proponemos explicar por qué la modificación regulatoria de 2008 marcó un antes y un después en estos cultivos, y que la exposición a este cambio regulatorio se relaciona con la distancia al Ecuador.

Los trabajos mencionados anteriormente no utilizan una econometría muy fina ni demasiados controles, ni de heterogeneidad ni de robustez. Un trabajo orientado en este sentido es el de Bustos, Caprettini y Ponticelli (2016), el cual utiliza datos micro para ver el impacto del desarrollo de semillas transgénicas en el empleo y la productividad laboral en Brasil. Nuestro objetivo en este trabajo es lograr explicar, mediante una serie de regresiones OLS, que el desarrollo de semillas transgénicas tuvo un impacto mayor en las provincias subtropicales de Argentina que en las templadas, lo que les permitió hacer un catch up y cambiar su tendencia. Idealmente también esperamos ver si estos datos son extrapolables a toda Sudamérica y eventualmente a todo el mundo. Para eso, tomaremos como variables relevantes la distancia al Ecuador que va a clasificar a nuestros sujetos en subtropical o no subtropical, el régimen de lluvias, y la aplicación de las modificaciones legales introducidas en 2008, cuando la Secretaría de Agricultura y Pesca del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación autorizó la siembra, consumo y

comercialización del segundo evento apilado de Argentina que combina las características de resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio.

3.1 El experimento natural

Para testear la hipótesis de que la modificación regulatoria de 2008 marca un antes y un después para estos cultivos, y que el grado de exposición a ella depende de la distancia con el Ecuador, vamos a necesitar datos concretos de la producción de maíz en todas las provincias relevantes, regímenes de lluvias y latitud media. Con estos datos vamos a poder realizar un diff-in-diff, debido a que el cambio regulatorio se presenta como un shock exógeno que tiene distinto grado de exposición para cada provincia dependiendo de su distancia al Ecuador. En esta sección vamos a describir los datos necesarios y la estructura del experimento, y cómo la aprobación del uso de semillas GMO del maíz puede ser explotado como una fuente de variabilidad exógena en su producción.

Utilizaremos datos de la producción de maíz, y no de soja, debido a que la inserción de la soja transgénica fue de manera más progresiva y empezó mucho antes, en 1996, y no contamos con datos previos a esa fecha. Por el contrario, en el maíz se dio en un contexto ideal para un experimento natural: si bien los primeros maíces resistentes a herbicidas comenzaron a desarrollarse en el 2000, no hubo una gran aplicación hasta el 2008, cuando el Ministerio de Agroindustria aprobó la comercialización, producción y consumo del maíz Bt con tolerancia al glifosato. Esto fue un hito, ya que fue el segundo caso en el que se aprobó un evento apilado (introducción de dos modificaciones genéticas en el mismo cultivo) en Argentina y tuvo gran aceptación en el mercado.

Es pertinente recordar que, en Argentina, el primer maíz transgénico resistente a insectos y tolerante a herbicidas fue aprobado en 2005, e incorpora dos características al mismo tiempo: resistencia al ataque de insectos lepidópteros y tolerancia a la aplicación del herbicida glufosinato de amonio.

En el año 2007, la Secretaría de Agricultura y Pesca del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación aprobó el primer evento apilado de Argentina que combina las características de resistencia a insectos (Bt) y la tolerancia al herbicida glifosato en la misma planta. La posibilidad de tener más de un rasgo ventajoso en cada planta es un objetivo siempre buscado por los mejoradores. En este caso, se trata de la combinación de dos rasgos transgénicos –de resistencia a insectos y de tolerancia a herbicidas– en híbridos de maíz, lo que genéricamente se denomina “stack” o evento apilado. El término “evento apilado” (también llamado acumulado, combinado o stack) hace referencia a la combinación de características en un mismo híbrido por cruzamiento entre líneas parentales GM que contienen los eventos correspondientes.

Pero fue, como mencionamos con anterioridad, 2008 el año de cambios más importantes, ya que la Secretaría de Agricultura y Pesca del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación autorizó la siembra, consumo y comercialización del segundo evento apilado de Argentina que combina las características de resistencia a insectos lepidópteros y tolerancia a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio. Los genes introducidos le confieren al nuevo maíz resistencia al herbicida glufosinato de amonio y protección contra las tres principales plagas del maíz en nuestro país, y al mismo tiempo resistencia al herbicida glifosato. Así, esta combinación de eventos le otorga a las plantas de maíz una protección contra insectos y permite el uso de herbicidas de

amplio espectro para el control de malezas. En la campaña 2014/2015 se sembraron 2,38 millones de hectáreas de maíz resistente a insectos y tolerante a herbicidas.

4.2 Sobre la recolección de datos

Para desarrollar el experimento, se utilizarán datos de la producción anual de maíz para cada departamento de las provincias argentinas relevantes, considerando que estas son las que tienen departamentos que producen al menos 100.000 toneladas en una campaña. A su vez, se utilizarán los datos de superficie sembrada y rendimiento para ver los mecanismos de acción.

Los datos fueron obtenidos de la página del Secretaría de Agroindustria que ofrece datos por departamento y provincia desde 1970 hasta la actualidad. De estos datos usaremos solo la ventana de 1998 hasta 2016, que es de la cual se obtuvieron datos más completos. También se utilizarán, como control, datos de los regímenes de lluvia del mismo período. Estos últimos datos los recogimos del Visor IDE.¹ Se obtuvieron datos para cada punto medio de todos los departamentos del país, que venían recopilados mensualmente. A partir de estos datos generamos una nueva variable, que es el acumulado anual.

Pudimos chequear en las características previas al tratamiento que el grupo está balanceado, sin embargo, una observación que es importante realizar es que los individuos del grupo tratado no son todos afectados por el tratamiento de la misma manera, ya que no todos tienen las mismas características geográficas y climáticas, lo que probablemente nos haga perder algo de potencia. De todos modos, decidimos correr con esta categorización uno-cero, ya que no pudimos obtener una medida no arbitraria para categorizarlos. La observación no está realizada a nivel de

¹ <http://ide.agroindustria.gob.ar/visor/#>

departamento porque la variabilidad de nuestra dummy subtropical solo varía a nivel de provincia. Para realizarlo a nivel departamento, necesitaríamos clasificar los departamentos en subtropicales y templados y es una información que no se encuentra disponible. De todas maneras se usó efectos fijos por departamento y se clusterearon los errores por provincia.

4.3 Econometría y resultados

En esta sección, usaremos la aprobación del uso de Maíz Bt con tolerancia al glifosato como una fuente de variación exógena en la producción de maíz de las provincias. La hipótesis principal es que, si estas semillas combaten mejor las desventajas propias de las zonas subtropicales que mencionamos anteriormente (estación de lluvias tardías, mayor cantidad de plagas e inconvenientes relacionados a las altas temperaturas) el aumento de su uso debería disminuir el gap productivo entre las distintas provincias.

Vamos a testear esta hipótesis estimando cuáles fueron los efectos que tuvo la aprobación del uso de estas semillas en el 2008 sobre la producción de las provincias subtropicales en comparación con las no subtropicales. El trabajo se propone también observar y comprender cuál es el mecanismo por medio del cual las semillas transgénicas ayudan a aumentar la producción de determinado cultivo: si es porque aumentan el rendimiento, o porque permiten expandir la zona de producción (ya que estos cultivos podrían desarrollarse en climas y suelos en los las semillas no modificadas no prosperan).

En otras palabras, trabajaremos con tres variables dependientes: producción, rendimiento y superficie sembrada. La producción de un cultivo puede aumentar si se mantiene la superficie sembrada y aumenta el rendimiento; si se mantiene el rendimiento y aumenta la superficie, o si aumentan ambas.

En este caso, intentaremos comprobar si es el rendimiento o la superficie sembrada lo que más crece a partir de la introducción de maíz transgénico.

Para esto vamos a usar la siguiente regresión:

$$\text{Tratado} = \text{Subtrop}i * \text{Ley}t$$

1. $\text{Ln Producción} = \alpha t + \delta i + \text{Lluvia } t_i + \text{Subtrop } i + \text{Ley}t + \beta \text{Tratado} + \epsilon it$
2. $\text{Ln Supsembrada} = \alpha t + \delta i + \text{Lluvia } t_i + \text{Subtrop } i + \text{Ley}t + \beta \text{Tratado} + \epsilon it$
3. $\text{Ln Rendimiento} = \alpha t + \delta i + \text{Lluvia } t_i + \text{Subtrop } i + \text{Ley}t + \beta \text{Tratado} + \epsilon it$

Donde αt captura los efectos fijos que hay por año, δi captura los efectos fijos por provincia que no varían en el tiempo, y ϵit es el término error. Luego tendremos tres variables control: el régimen de lluvias que varía en el tiempo y entre cada individuo; la variable “subtrop” que varía solamente entre provincias y toma valor 1 para las provincias clasificadas como tal por Burgos y Vidal (1951) quienes utilizan la clasificación de Thornthwaite (1948); y 0 para el resto; y por último la variable “Ley t” que toma valor 1 para todos los individuos después del 2008.

Nuestra variable explicativa principal varía en el tiempo y entre provincias, es la multiplicación de las últimas dos variables control. El parámetro de interés en esta ecuación es β , ya que captura el efecto de la interacción de las provincias subtropicales post ley en su producción. Es decir, si β toma valores superiores a 0, significa que la ley tiene un impacto progresivo sobre las zonas subtropicales, si es = 0 es que no hay diferencia en el efecto entre zonas, y por último, si es menor a 0, significa que tiene un impacto regresivo en estas zonas. Por lo argumentado previamente, esperamos que $\beta > 0$.

(Gráficos 1, 2, 3, 4, 5 y 6)

Al comparar los gráficos de las zonas subtropicales contra las templadas, podemos anticipar el principal resultado empírico. Las tendencias de ambos grupos eran muy similares antes del experimento, mostrando una leve tendencia creciente, pero después de la intervención empiezan a diferir, y así las zonas subtropicales aumentaron su tendencia en comparación a las templadas y tienden a acercarse a su nivel de producción.

Es importante aclarar que, como nuestra medida de tratamiento es una dummy, no podemos tener en cuenta qué tan expuestos al tratamiento están los cultivos de cada provincia. Por ejemplo, si comparamos Salta contra La Pampa, los resultados darían magnitudes más altas y más significativas debido a que no hay efectos mixtos en cada provincia, La Pampa no tiene casi ninguna característica de subtropical y Salta, casi todas.

Al presentar estas características perdemos significatividad y magnitud, pero podemos saber hacia dónde nos dirige este sesgo: va en contra de la relevancia de nuestro experimento y nunca a favor, por lo tanto los datos que obtengamos podemos tomarlos como un punto mínimo de la diferencia del impacto (*lower bound*); ya que, si al observar la diferencia del impacto entre ambas zonas, las que deberían verse beneficiadas en mayor medida tienen un porcentaje de su superficie que no se ve beneficiada; y las que no deberían verse beneficiadas, es decir las zonas templadas, se ven beneficiadas en particular por sus zonas “subtropicales”; lo único que hacemos es reducir la diferencia y terminamos obteniendo un lower bound.

Un supuesto básico en un diff-in-diff es que es lógico esperar que las tendencias pre-tratamiento hubiesen continuado en la ausencia de la ley del 2008. Para eso, fue necesario chequear primero que las tendencias de los tratados no fueran significativamente distintas a las de los no tratados

antes del tratamiento, y que tampoco fueron significativas las interacciones de estos años con el grupo tratado.

(Tabla 1; 2 y 3)

En este trabajo usamos como variable relevante la producción por dos razones. En primer lugar, porque capta los dos medios por los que se benefician las provincias: que aumenta la zona disponible para sembrar, y que aumenta su rendimiento. Y en segundo lugar, porque es económicamente la variable más relevante, ya que es lo que se traduce luego en ganancias.

(Tabla 4)

También realizamos un test placebo para ver si los efectos capturados se pueden deber a un shock en el pasado. Para eso, cortamos la muestra en el año de la ley y tomamos todos los valores previos. Una vez recortada la muestra, procedimos a cambiar la dummy “Ley” en $(Ley * Subtrop) = Tratados$ por otra en otro año, tomando 2004 como nuestro nuevo suceso. Los coeficientes estimados son todos estadísticamente no significativos, como se puede ver en la tabla x.2, haciendo que sea aún más creíble que el salto en la producción que capturamos sea por la aprobación de la ley y no por otro shock exógeno. A su vez, también muestra que los usuarios en su mayoría no se anticiparon a esto.

(Tabla 5)

Finalmente, tenemos los resultados principales del experimento. El tratamiento es significativo hasta a un 1%, y su magnitud es de 0.8012, por lo tanto las provincias subtropicales tienen un aumento de un 80% mayor que las zonas templadas post aprobación de la ley. A su vez, podemos ver que el pertenecer a una zona subtropical trae acaparado una baja de un 117% de la producción,

y que la ley tiene un impacto de un aumento en la producción de 115% en promedio para todas las provincias.

Por último, corrimos las mismas regresiones, pero con la superficie sembrada y el rendimiento en vez de la producción, para ver cuál fue el canal por el cual aumentó la producción, o si fue algo mixto.

(tabla 6 y 7)

Como ya adelantamos, con este experimento intentamos comprobar si es el rendimiento o la superficie sembrada lo que más crece a partir de la introducción de maíz transgénico. En las regresiones podemos observar que la superficie sembrada aumentó en un 59% más en los tratados y el rendimiento un 18%. Eso significa que el mayor impacto proviene del aumento del área sembrable.

5. Conclusiones

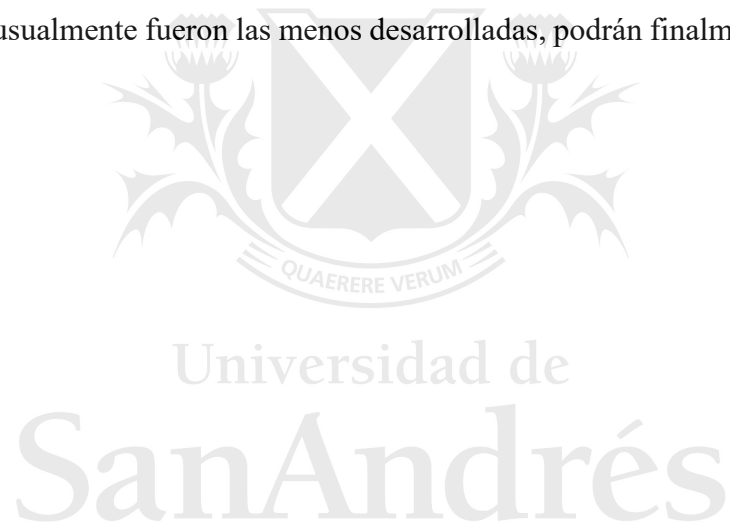
En este trabajo nos propusimos dar una explicación para la convergencia del gap productivo agrícola. Lo hicimos observando que los últimos avances tecnológicos, particularmente el desarrollo de semillas GMO, redujeron las pérdidas esperadas y aumentaron la productividad de manera más pronunciada para las provincias subtropicales. Según las conclusiones del experimento aplicado, esto ocurre porque las nuevas características que estos cultivos presentan son fortalezas para lidiar con las adversidades de las zonas subtropicales descritas a lo largo del trabajo (estación de lluvias tardía, altas temperaturas, diferencias en los suelos y mayor cantidad de plagas), que de todas maneras están presentes, en distinta medida, en todas las provincias.

Los resultados obtenidos en el experimento permiten demostrar el impacto de la introducción de las semillas GMO en las zonas subtropicales, incluso teniendo en cuenta ciertos sesgos que pudo haber en su desarrollo y aclararemos a continuación.

En primer lugar, al ser un espectro y estar clasificándolos con una dummy -una variable que sólo toma valores 1 o 0- perdemos potencia. Por eso, creemos que el resultado obtenido puede ser tomado como un *lower bound*, es decir que el efecto es como mínimo lo que capturamos, pero podría ser mayor.

En un test ideal para la teoría, tendríamos una variable que pueda captar distintas medidas de “subtropicalidad”, y la otra variable explicativa sería el porcentaje de uso de semillas GMO, en esa campaña, en esa provincia. Debido a que no pudimos encontrar esta información, nuestras variables explicativas tuvieron que ser dos dummies, una que llamamos “Ley” que toma valores 1 para todas las observaciones post 2008 y otra que llamamos “Subtrop” que toma valores 1 (clasificación de Thornthwaite (1948)). Otra razón por la que creemos que tenemos un sesgo hacia abajo es porque la ley de 2008 no fue la única que aprobó semillas GMO, hubo otras antes, pero con menos aceptación por el mercado. Dicho esto, podemos esperar que ya muchos productores estuvieran utilizando parte de esta tecnología, lo que hace que el cambio no sea tan marcado. Teniendo en cuenta que a pesar de estos sesgos negativos, la magnitud y significatividad que presentan los coeficientes nos hace ver la inmensidad del efecto de esta tecnología, consideramos que el experimento fue exitoso para demostrar el impacto de las semillas GMO en las zonas subtropicales.

En la teoría económica se pronosticó muchas veces que las economías iban a llegar a un *steady state*, y que desde ese momento las menos desarrolladas comenzarían a realizar el catch up con las más avanzadas. A pesar de esto, en la evidencia empírica casi siempre vimos que este gap solo se agranda. Sin embargo, con estas nuevas tecnologías parece ser que el catch up está empezando a realizarse y es muy prometedor. El campo argentino no es caracterizado por ser un *early adopter* de las nuevas tecnologías, pero a pesar de esto, logró adoptar esta tecnología rápido y con buenos rindes. Por eso, podemos esperar que esto ocurra en otras partes del mundo, y así las zonas subtropicales, que usualmente fueron las menos desarrolladas, podrán finalmente realizar el catch up.



Anexo

Tablas

	(1)
	Producción
Tendencia	-0.0031 (0.0057)
Tendencia x Eventualmente tratado	-0.0664*** (0.0122)
Constante	10.2819*** (0.0566)
Observaciones	1,676

Notas: *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Universidad de
San Andrés

Tabla 2. Tendencias pre-tratamiento | Cluster por departamento

	(1) Producción
Dummy 1993 x Eventually Treated	-0.2226 (0.4806)
Dummy 1994 x Eventually Treated	0.0250 (0.4114)
Dummy 1995 x Eventually Treated	-0.1152 (0.4042)
Dummy 1996 x Eventually Treated	-0.7367* (0.3844)
Dummy 1997 x Eventually Treated	0.0259 (0.3704)
Dummy 1998 x Eventually Treated	-0.2645 (0.3701)
Dummy 1999 x Eventually Treated	-0.2133 (0.3699)
Dummy 2000 x Eventually Treated	-0.2034 (0.3774)
Constante	10.3225*** (0.1254)
Observaciones	1,676

Notas: *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 3. Tendencias pre-tratamiento | Cluster por provincia

VARIABLES	(1) Producción
Tendencia	0.0029 (0.0123)
Tendencia x Eventualmente Tratado	-0.0446 (0.0311)
Lluvia	0.0011*** (0.0001)
Constante	9.0991*** (0.1912)
Observaciones	1,676

Notas: *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Universidad de
San Andrés

Tabla 4. Placebo robusto (efectos fijos por departamento y errores robustos)

VARIABLES	(1) Producción
Placebo	0.0584 (0.1100)
Región subtropical	-1.6289*** (0.3914)
Lluvia	0.0003** (0.0001)
leyplacebo	-0.5513*** (0.1043)
Constante	10.0501*** (0.1343)
Observaciones	1,676

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 5. Resultados principales (efectos fijos por departamento y errores robustos)

VARIABLES	(1) Producción
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.8012*** (0.0874)
Región subtropical	-1.1770*** (0.2658)
Lluvia	0.0003*** (0.0001)
Intro Ley	1.1487*** (0.1070)
Constante	9.9265*** (0.1081)
Observaciones	3,016

Notas: *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.



Tabla 6. Superficie (efectos fijos por departamento y errores clustereados por departamento)

VARIABLES	(1) Superficie Sembrada
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.5923*** (0.1609)
Región subtropical	-1.1359* (0.6622)
Lluvia	-0.0002* (0.0001)
Intro Ley	0.8605*** (0.0872)
Constante	9.1159*** (0.1696)
Observaciones	3,055

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 7. Rendimiento (efectos fijos por departamento y errores clustereados por departamento)

VARIABLES	(1) Rendimiento
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.1868*** (0.0291)
Región subtropical	-0.3327** (0.1553)
Lluvia	0.0003*** (0.0000)
Intro Ley	0.4054*** (0.0316)
Constante	8.1787*** (0.0443)
Observaciones	3,016

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 8. Resultados principales (efectos fijos por departamento y errores clustereados por provincia)

VARIABLES	(1) Producción
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.8012 (0.4532)
Región subtropical	-1.1770*** (0.0816)
Lluvia	0.0003 (0.0002)
Intro Ley	1.1487*** (0.2082)
Constante	9.9265*** (0.2095)
Observaciones	3,016

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 9. Resultados principales (efectos fijos por departamento y errores clustereados por departamento)

VARIABLES	(1) Producción
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.8012*** (0.1859)
Región subtropical	-1.1770 (1.1823)
Lluvia	0.0003* (0.0002)
Intro Ley	1.1487*** (0.1232)
Constante	9.9265*** (0.2700)
Observaciones	3,016

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 10. Superficie (efectos fijos por departamento y errores robustos)

VARIABLES	(1) Superficie Sembrada
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.5923*** (0.0703)
Región subtropical	-1.1359*** (0.1639)
Lluvia	-0.0002*** (0.0001)
Intro Ley	0.8605*** (0.0748)
Constante	9.1159*** (0.0766)
Observaciones	3,055

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 11. Superficie (efectos fijos por departamento y errores clustereados por provincia)

VARIABLES	(1) Superficie Sembrada
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.5923 (0.3776)
Región subtropical	-1.1359*** (0.0686)
Lluvia	-0.0002* (0.0001)
Intro Ley	0.8605*** (0.1108)
Constante	9.1159*** (0.0859)
Observaciones	3,055

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 12. Rendimiento (efectos fijos por departamento y errores robustos)

VARIABLES	(1) Rendimiento
Tratamiento(Zonasubtrop*Ley)	0.1868*** (0.0261)
Región subtropical	-0.3327*** (0.0609)
Lluvia	0.0003*** (0.0000)
Intro Ley	0.4054*** (0.0290)
Constante	8.1787*** (0.0350)
Observaciones	3,016

Notes: Robust standard errors are shown in parentheses. All regressions include provinces dummies and year dummies. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 13. Rendimiento (efectos fijos por departamento y errores clustereados por provincia)

VARIABLES	(1) Rendimiento
Tratamiento (Zonasubtrop*Ley)	0.1868** (0.0458)
Región subtropical	-0.3327*** (0.0062)
Lluvia	0.0003** (0.0001)
Intro Ley	0.4054*** (0.0434)
Constante	8.1787*** (0.0696)
Observaciones	3,016

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Tabla 14. Placebo (efectos fijos por departamento y errores clustereados por provincia)

VARIABLES	(1) Producción
Placebo	0.0584 (0.1555)
Región subtropical	-1.6289** (0.3655)
Lluvia	0.0003 (0.0002)
Ley placebo	-0.5513 (0.3582)
Constante	10.0501*** (0.2133)
Observaciones	1,676

Notas: Los errores robustos se muestran entre paréntesis. Todas las regresiones incluyen dummies por provincia y año. *Significativo al 10%. **Significativo al 5%. ***Significativo al 1%.

Gráficos

1. Rendimiento en provincias templadas



2. Superficie sembrada en provincias subtropicales

Universidad
San Andrés

3. Superficie sembrada en provincias templadas



4. Rendimiento por hectárea en provincias subtropicales

Universidad de
San Andrés

5. Producción en provincias templadas

6. Producción en provincias subtropicales



Estadísticas descriptivas



Universidad de
San Andrés

Referencias bibliográficas

Acemoglu, D., Johnson, S., & Robinson, J. A. (2001). The colonial origins of comparative development: An empirical investigation. *American economic review*, 91(5), 1369-1401.

Banco Interamericano de Desarrollo (1998). *América Latina frente a la desigualdad: progreso económico y social en América Latina: informe 1998-1999*. BID.

Bello Janeiro, D. (2015). La regulación de los alimentos transgénicos: la normativa de transgénicos desde la perspectiva europea de interés para la Argentina. *Revista crítica de derecho privado*, (12), 37-68.

Bustos, P., Caprettini, B., & Ponticelli, J. (2016). *Agricultural productivity and structural transformation: Evidence from Brazil*. *American Economic Review*, 106(6), 1320-65.

Burgos, J. J., & Vidal, A. (1951). Los climas de la República Argentina según la nueva clasificación de Thornthwaite. *Meteoros I (1)*.

Calzada, J., Di Yenno, F. & Terré, E. (10 de Mayo, 2019). Posibles consecuencias de la escalada en las tensiones comerciales entre Estados Unidos y China. *Bolsa de Comercio de Rosario*. Recuperado de <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/posibles>.

Easterly, W. & Levine, R. (2003). *Tropics, germs, and crops: how endowments influence economic development*, Journal of Monetary Economics, Elsevier, vol. 50(1), pages 3-39, January.

Sachs, J. D. (2001). *Tropical underdevelopment* (No. w8119). National Bureau of Economic Research.

Sachs, J. D. (2003). *Institutions don't rule: direct effects of geography on per capita income* (No. w9490). National Bureau of Economic Research.

Sertoglu, K., Ugural, S., & Bekun, F. V. (2017). The contribution of agricultural sector on economic growth of Nigeria. *International Journal of Economics and Financial Issues*, 7(1), 547-552.

Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.

