

CONVERGENCIA DE CLUBES EN LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES AGROPECUARIOS: EVIDENCIA MUNDIAL, 1961–2022

CLUB CONVERGENCE IN TOTAL AGRICULTURAL FACTOR PRODUCTIVITY: GLOBAL EVIDENCE, 1961–2022

Carlos Julio Moreno¹

Cómo citar: Julio Moreno, C. (2026). Convergencia de clubes en la productividad total de los factores agropecuarios: evidencia mundial, 1961-2022. *Conocimiento Global*, 11(1), 111-131.
<https://doi.org/10.70165/cglobal.v11i1.665>

Resumen

Este estudio analiza la convergencia de la productividad total de los factores agrícolas mundiales entre 1961 y 2022 mediante la metodología de transición y el test log-t. A partir de datos internacionales, se evalúa si las trayectorias de eficiencia agrícola tienden hacia una senda común de largo plazo. Los resultados muestran una disminución sostenida del índice de dispersión relativa y no se rechaza la hipótesis nula de convergencia global en todas las especificaciones, lo que confirma la existencia de un proceso de convergencia absoluta en la productividad total de los factores agropecuarios. El análisis de clubes identifica un único grupo global, lo que sugiere la homogeneización de las dinámicas tecnológicas en la agricultura mundial. La convergencia observada refleja la difusión internacional de las innovaciones, el fortalecimiento institucional y el aumento de la cooperación científica y financiera. Los hallazgos indican que las políticas globales de innovación, crédito y sostenibilidad pueden generar externalidades positivas comunes. Finalmente, se plantea la necesidad de incorporar dimensiones ambientales y de sostenibilidad para evaluar una posible convergencia verde de la productividad agrícola global.

Palabras clave: Productividad agrícola, convergencia económica, difusión tecnológica, crecimiento agrícola, sostenibilidad.

Abstract

This study examines convergence in global agricultural total factor productivity over 1961–2022 using the transition-path approach and the log-t test. Drawing on international data, we assess whether agricultural efficiency trajectories tend toward a common long-run path. The results show a sustained decline in the relative dispersion index, and the null hypothesis of global convergence cannot be rejected across all specifications, confirming an absolute convergence process in agricultural total factor productivity. The club-convergence analysis identifies a single global club, suggesting an increasing homogenization of technological dynamics in world agriculture. The

Recepción: 20 de mayo de 2026 / Evaluación: 10 de junio de 2026 / Aprobado: 28 de junio de 2025

¹ Economista de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Especialista en Gerencia Estratégica de la Universidad de La Sabana, Especialista en Economía del Riesgo y de la Información de la Universidad de los Andes. Magíster en Ciencias Económicas de la Universidad Santo Tomás. Candidato a Doctor en Estudios de Desarrollo y Territorio de la Universidad de La Salle. Correo electrónico: cmoreno68@unisalle.edu.co. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4557-9509>



observed convergence reflects the international diffusion of innovations, institutional strengthening, and expanded scientific and financial cooperation. The findings imply that global policies on innovation, credit, and sustainability can generate shared positive externalities. Finally, we underscore the need to incorporate environmental and sustainability dimensions to evaluate the prospect of a green convergence in global agricultural productivity.

Keywords: agricultural productivity, economic convergence, technology diffusion, agricultural growth, sustainability.

Introducción

De acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, la productividad total de los factores (TPF, por sus siglas en inglés) es el indicador que mide la eficiencia con que se utilizan los recursos (tierra, trabajo, capital e insumos intermedios) y se transforman en producto. Por tal motivo, este indicador es clave para valorar el desempeño de los sistemas agroalimentarios. En términos generales, el crecimiento sostenido de la TPF ha permitido expandir la oferta mundial de alimentos y moderar precios pese al aumento poblacional, lo que se refleja en mejoras tecnológicas, organizacionales y de calidad de los insumos más allá de la acumulación de factores (USDA, 2024 y 2025; OECD, 2022). Al respecto, Fuglie (2018) da cuenta de cómo la inversión en I+D fortalece la dinámica de la TPF en conjunto con otros avances tecnológicos que hacen que se desplace la frontera de posibilidades de producción, lo cual se complementa con la reducción de costos inducida por la adopción de procesos de automatización y de digitalización (FAO, 2022).

A pesar del avance tecnológico mundial y de la expansión de la innovación agrícola, aún persisten brechas significativas de productividad entre los países y regiones. Estas diferencias plantean preguntas fundamentales sobre las dinámicas de difusión tecnológica, la acumulación de capital y la efectividad de las políticas de desarrollo rural. Desde la perspectiva teórica, la literatura sobre crecimiento económico ha explorado ampliamente la hipótesis de convergencia, entendida como el acercamiento de las economías a un mismo estado estacionario o trayectoria de largo plazo (Barro & Sala-i-Martin, 1992; Durlauf, Johnson & Temple, 2005). Sin embargo, con relación al sector agropecuario, los resultados empíricos son mixtos. Por ejemplo, Rezitis (2010) encuentra evidencia de convergencia en productividad agrícola para algunos países europeos, mientras que los resultados de Yuan (2021) y Sheng (2022) muestran que, a escala mundial y, en especial, en los países de la OCDE, la convergencia registrada es parcial y está condicionada por la intensidad en el uso de capital, el cambio técnico inducido y los procesos de aprendizaje tecnológico.

La heterogeneidad estructural del sector agropecuario se deriva de las diferencias en las dotaciones de tierra, capital, riego, fertilización, conocimiento y acceso al crédito, y hace poco realista la convergencia total a nivel mundial, debido a la presencia de patrones diferentes de crecimiento entre países o regiones. Con relación a esto, estudios recientes, como los de Gong (2020), Poudel (2011) y Yuan (2021), confirman la existencia de trayectorias divergentes o múltiples clubes de crecimiento agropecuario. Incluso en economías integradas, como China o Estados Unidos, la evidencia muestra convergencia únicamente entre subconjuntos de regiones con niveles de desarrollo agrícola similares (Gong, 2020; Poudel, 2011; Baier et al., 2012; Ertur & Musolesi, 2017; Prochniak & Witkowski, 2019). En esa misma línea, los hallazgos de Tomal (2024) indican que los enfoques modernos de convergencia deben incorporar dinámicas no lineales y heterogeneidad estructural, de tal manera que faciliten la identificación de clubes de economías que convergen entre sí, pero no necesariamente con el conjunto global.

A partir de esta discusión, el objetivo de esta investigación pretende evaluar empíricamente la existencia, magnitud y naturaleza de la convergencia de la productividad agrícola mundial, aplicando el modelo de transición y la prueba log-t, y contrastar la posibilidad de formación endógena de clubes de convergencia. Para cumplir el objetivo, este estudio adopta el enfoque de convergencia por transición y la prueba log-t, los cuales permiten modelar dinámicas de panel con heterogeneidad idiosincrática y trayectorias no lineales (Phillips & Sul, 2007). Este método combina ventajas de los enfoques tradicionales de convergencia β y σ con la posibilidad de identificar subgrupos de economías que comparten patrones de ajuste similares, sin imponer supuestos de homogeneidad paramétrica. Su aplicabilidad a la agricultura resulta especialmente relevante dada la coexistencia de heterogeneidad estructural y difusión tecnológica global.

El aporte de nuestro trabajo es doble. Primero, se analiza la convergencia de la PTF agrícola a escala global utilizando exclusivamente la base internacional del USDA-ERS (1961–2022), que integra mediciones armonizadas de insumos, producto y capital agrícola. Segundo, se implementa el procedimiento de identificación endógena de clubes, validando la convergencia intráclub mediante estimaciones robustas con corrección HAC y sensibilidad a distintos recortes temporales. Este diseño permite verificar si la reducción de la dispersión observada en la PTF responde a un proceso global o a subconjuntos de convergencia parcial.

Los resultados indican tres hallazgos clave: (i) una disminución sostenida del índice de dispersión relativa H_t , consistente con un acercamiento entre economías agrícolas; (ii) la no-rechazo de la hipótesis nula de convergencia global en el test log-t; y (iii) la identificación de un único club mundial de convergencia, lo que sugiere la homogeneización de las trayectorias tecnológicas agrícolas en el largo plazo. Estos resultados aportan evidencia renovada al debate sobre la convergencia productiva global y ofrecen implicaciones directas para la política agrícola internacional y la cooperación en innovación sostenible.

El resto del artículo se estructura de la siguiente manera: la sección dos presenta la revisión de literatura; la sección tres describe los datos y la estrategia empírica; la sección cuatro detalla la metodología de estimación y detección de clubes; la sección cinco expone los resultados principales; la sección seis discute los hallazgos; y en la sección siete se concluye.

Revisión de literatura

La literatura sobre convergencia económica, aunque originada en análisis del ingreso per cápita, ha sido paulatinamente extendida a la productividad y sus distintos componentes, incluida la agricultura, reconociendo que la heterogeneidad estructural entre unidades (países o regiones) puede impedir la convergencia absoluta o condicional homogénea. Desde los trabajos clásicos de Barro y Sala-i-Martin (1992), que formalizaron la hipótesis de convergencia condicional entre economías bajo supuestos de retornos decrecientes y difusión tecnológica, hasta las revisiones de Durlauf, Johnson y Temple (2005), el debate ha oscilado entre la posibilidad de convergencia y la persistencia de divergencias. En ese contexto, la agricultura presenta particularidades que desafían directamente los supuestos uniformes del modelo neoclásico: diferencias en dotaciones de tierra, variabilidad climática, acceso desigual al crédito, difusión tecnológica segmentada y costos de transporte y de escasa escala.

Desde esa perspectiva, una primera generación de estudios agrícolas evaluó convergencia mediante pruebas tradicionales de β y σ , encontrando resultados mixtos. Martin y Labys (1999) estimaron tasas de crecimiento de la TFP agrícola para múltiples países y observaron que la dispersión relativa entre agricultura y manufactura era sustancial, sugiriendo que las dinámicas de convergencia en la agricultura podrían ser más lentas o estar sometidas a resistencias estructurales.

En otro contexto, McCunn (2000) analizó estados en Estados Unidos y encontró evidencia de convergencia condicional (β) en TFP agregada agrícola, pero no de convergencia de dispersión (σ), indicando que la reducción de brechas no necesariamente acompaña tasas iguales de crecimiento (McCunn, 2000). En Europa, Rezitis (2010) documentó algunas señales de convergencia espacial en productividad agrícola entre países europeos, aunque enfatiza que los procesos de ajuste fueron lentos y heterogéneos (Rezitis, 2010). En un estudio complementario, Alexiadis (2012) aplicó técnicas de convergencia entre regiones agrícolas europeas y halló que, aunque existen indicios de acercamiento, la velocidad de convergencia es moderada y con marcada heterogeneidad regional (Alexiadis, 2012).

Sin embargo, la lógica de las pruebas β y σ es demasiado restrictiva cuando se supone que todas las unidades convergen hacia un único estado estacionario. Esta limitación ha motivado el uso de métodos más flexibles, capaces de captar heterogeneidad no observable y dinámicas no lineales. En ese sentido, Phillips y Sul (2007) formularon un enfoque de modelado de transición con una prueba log-t que permite detectar convergencia global si existe, o, en caso contrario, identificar clubes de convergencia endógenos entre unidades con trayectorias similares. Esta metodología ha sido ampliamente adoptada tanto en economía como en otras disciplinas por su capacidad para superar la necesidad de especificar previamente grupos y por su tratamiento flexible de heterogeneidad (Tomal, 2024). Sichera (2019) presenta una implementación práctica del método en R, facilitando su uso para investigadores empíricos (Sichera, 2019). Beylunioglu et al. (2016) destacan cómo el test log-t y su algoritmo de clustering representan una alternativa más robusta frente a métodos tradicionales de convergencia, especialmente en presencia de dependencia cruzada y estructuras dinámicas no homogéneas (Beylunioglu et al., 2016).

Este enfoque ha sido utilizado con éxito en diversos dominios: por ejemplo, Ghosh (2013) aplicó pruebas de clubes de convergencia a estados de India para analizar divergencia regional (Ghosh, 2013), mientras que Tomal (2021) mostró cómo el método puede adaptarse al análisis de convergencia de precios o variables no convencionales (Tomal, 2021). Asimismo, el test ha sido aplicado en estudios de emisiones sectoriales en Europa (Cialani, 2021), y en análisis de convergencia de disponibilidad alimentaria y emisiones de CO₂ en cuencas fluviales africanas (John et al., 2023). Estos trabajos demuestran la versatilidad del enfoque más allá del ingreso o la productividad agregada, extendiéndolo a contextos ambientales y agrícolas.

En el ámbito agrícola específicamente, Yuan (2021) investigó la convergencia mundial de la productividad agrícola utilizando un enfoque de promedio ponderado entre métodos paramétricos y semiparamétricos, y aplicó pruebas de convergencia descriptiva entre grupos (Yuan, 2021). El estudio concluye que no hay evidencia sólida de convergencia global, lo cual sugiere que la heterogeneidad estructural juega un papel decisivo. En China, Gong (2020) examinó la convergencia de TFP agrícola a nivel provincial contando con diversas estimaciones y métodos, concluyendo que muchas provincias no están convergiendo y que los factores institucionales y climáticos explican diferencias persistentes (Gong, 2020). Otros trabajos sobre análisis regional dentro de China como el presentado por Li et al. (2008), señalan que ciertas provincias convergen entre ellas, pero no hacia un patrón común nacional. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la noción de que la convergencia en agricultura no es automática ni universal.

En los últimos años, algunas investigaciones han enfatizado la necesidad de considerar mecanismos de innovación inducida, capital humano y difusión tecnológica en el análisis de convergencia. Por ejemplo, Sheng (2022) estudió 17 países de la OCDE y halló que la convergencia de TFP agrícola está condicionada por la profundización del capital y el cambio técnico inducido. En consecuencia, los países que invierten más en tecnología tienden a converger

más rápidamente que los que no lo hacen (Sheng, 2022). Adicionalmente, la literatura ha refinado el enfoque de Phillips-Sul (2007); en particular, Tomal (2024) ofrece una revisión sistemática de extensiones al método, tales como la extracción de tendencias alternativas, ajustes al algoritmo de agrupamiento y mejoras en la estimación del log-t en paneles con estructuras dinámicas complejas (Tomal, 2024). Este tipo de refinamientos metodológicos permite una aplicación más robusta del método en contextos agrícolas heterogéneos.

Sin embargo, Araujo & Possebom (2025) han identificado un desafío en la medición de la productividad agrícola que está relacionado con que los datos de productividad agrícola, como los de FAO o similares, pueden incurrir en errores de medición no clásicos que sesgan las estimaciones de convergencia. La propuesta de estos autores consiste en usar límites de identificación para corregir el sesgo derivado del uso de múltiples proxies del insumo-producto, lo que sugiere que muchos resultados de convergencia agrícola podrían estar sobrestimados si no se corrige por el error (Araujo & Possebom, 2025). Esta línea reciente invita a la prudencia metodológica al momento de aplicar pruebas de convergencia y al interpretar resultados empíricos.

Otro aporte proviene del trabajo sobre productividad sectorial y brechas globales. Investigadores como Herrendorf et al. (2022) comparan la dispersión de productividad en agricultura frente a agregado económico, y encuentran que la brecha entre el percentil 90 y el percentil 10 en productividad agrícola es mucho mayor que en el agregado, lo que subraya la elevada heterogeneidad estructural del sector primario. Este contraste implica que la convergencia en la agricultura enfrenta obstáculos más fuertes que otros sectores, lo cual justifica la adopción de métodos de convergencia por clubes. Asimismo, en estudios de crecimiento económico estructural como el de Bohr et al. (2024) se han construido modelos que integran el cambio estructural y las disparidades regionales, con lo que postulan que la transición desde una economía agrícola hacia la industria intensifica las diferencias espaciales de productividad. Dicha perspectiva teórica complementa la interpretación de los resultados empíricos en productividad agrícola internacional.

Metodología

A nivel mundial, el análisis de convergencia en la productividad agrícola requiere de un enfoque econométrico capaz de captar heterogeneidad estructural, trayectorias dinámicas y posibles agrupamientos endógenos entre países. La agricultura, a diferencia de otros sectores, se caracteriza por diferencias persistentes en dotaciones de tierra, capital, infraestructura y condiciones climáticas, lo que hace improbable la existencia de un único estado estacionario de largo plazo. Por tanto, este estudio adopta un enfoque de convergencia por clubes, basado en el modelo de transición de Phillips y Sul (2007), toda vez que permite identificar tanto la convergencia global como grupos específicos de países que comparten patrones similares de crecimiento de la productividad. Se inicia con un modelo de factor común con heterogeneidad temporal. Cada observación X_{it} , corresponde al índice de productividad total de los factores (TFP) del país i en el año t , y se puede expresarse como:

$$X_{it} = \delta_{it}\mu_t \quad (1)$$

donde μ_t representa el componente común asociado al progreso tecnológico mundial y δ_{it} refleja la posición relativa de cada país respecto a esa tendencia. La convergencia implica que $\delta_{it} \rightarrow \delta$ cuando $t \rightarrow \infty$, de modo que las diferencias relativas de productividad desaparecen. Sin embargo, si los países mantienen trayectorias divergentes o evolucionan en distintos equilibrios dinámicos, no se cumple la convergencia global. Para evaluar este proceso, Phillips y Sul proponen medir la relativa de transición de la siguiente manera:

$$h_{it} = \frac{X_{it}}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N X_{it}} = \frac{\delta_{it}}{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N \delta_{it}} \quad (2)$$

donde N es el número total de países. El término h_{it} representa la posición relativa del país i respecto al promedio mundial en cada período. Si existe convergencia, h_{it} tenderá a 1 para todos los países. La dispersión entre estas proporciones se mide mediante:

$$H_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (h_{it} - 1)^2 \quad (3)$$

En consecuencia, si la varianza transversal H_t tiende a cero con el tiempo, las economías convergen; de lo contrario, persiste la divergencia. Para formalizar el análisis empírico, se emplea la prueba log-t de convergencia, cuya forma funcional es:

$$\log \left(\frac{H_1}{H_t} \right) = -2 \log(\log t) = a + b \log t + \mu_t \quad (4)$$

$$\text{para } t = [rT], [rT] + 1, \dots, T,$$

donde T es el número total de periodos, r representa la fracción inicial de la muestra que se omite (generalmente entre 0,2 y 0,4) para evitar efectos transitorios, y $b = 2\alpha$ mide la velocidad de convergencia. La hipótesis nula de convergencia global se establece como $H_0: \alpha \geq 0$, frente a la alternativa $H_1: \alpha < 0$. El estadístico t-de-Student se calcula con errores estándar robustos HAC (Newey & West, 1994). Si el valor del estadístico es inferior a $-1,65$ (nivel de significancia del 5 %), se rechaza la hipótesis de convergencia global.

El parámetro estimado $\hat{\alpha}$ resume la dinámica del proceso. Un valor positivo indica convergencia, y su magnitud refleja la velocidad de aproximación entre las trayectorias de productividad; un valor negativo sugiere divergencia. Este enfoque tiene la ventaja de no requerir supuestos de estacionariedad, cointegración o equilibrio único, aspectos que suelen ser problemáticos en datos de largo plazo donde la productividad está influenciada por shocks tecnológicos, transiciones institucionales o crisis internacionales (Phillips & Sul, 2009; Tomal, 2024).

Si la prueba global rechaza la hipótesis de convergencia, el procedimiento continúa con la identificación de clubes endógenos. El algoritmo se desarrolla en tres pasos. Primero, los países se ordenan de mayor a menor según su nivel de TFP en el último año disponible (o el promedio de los últimos tres años). Segundo, se forma un grupo inicial (núcleo) con los países de mayor productividad y se estima la regresión log-t dentro de ese subconjunto. Si el estadístico t obtenido es superior a $-1,65$, el grupo se considera convergente. Luego se añaden, uno por uno, los países restantes, repitiendo la prueba en cada iteración. Si la inclusión de un nuevo país hace que el conjunto pierda convergencia, se cierra el club y se inicia la formación de otro con los países remanentes. Finalmente, se obtiene un conjunto de clubes $C_1, C_2, \dots, C_k$ que agrupan economías con trayectorias de productividad homogéneas. Para cada club se estima de nuevo el $\hat{\alpha}_c$, lo que permite comparar la velocidad de convergencia entre grupos.

El método de clubes tiene dos virtudes principales: primero, su naturaleza endógena evita imponer clasificaciones arbitrarias basadas en ingreso o geografía; segundo, su flexibilidad permite captar dinámicas estructuralmente distintas, propias de economías agrícolas con marcos institucionales, tecnológicos y ambientales diversos (Beylunioglu et al., 2016). Por ello, se ha convertido en una herramienta estándar para estudios de convergencia sectorial (Cialani, 2021; Sheng, 2022).

El análisis de este trabajo se aplica sobre la base de USDA-ERS, la cual abarca el período 1961 hasta 2022 y contiene datos anuales de TFP agrícola y de sus componentes como tierra, capital, mano de obra, fertilizantes, pasturas y riego. Se utiliza la serie TFP_{it} expresada en índices (base 2000 = 100). La base se depura para excluir países con más de 20% de datos faltantes, y las series se normalizan para garantizar la consistencia temporal. Posteriormente, se calcula h_{it} para cada país y año, y la serie de dispersión H_t que se emplea en la estimación del modelo. Las regresiones log-t se estiman mediante mínimos cuadrados ordinarios con errores HAC de Newey-West. Se fijan distintos valores de $r(0,2; 0,3; 0,4)$ para evaluar la sensibilidad de los resultados a la exclusión de observaciones iniciales.

Una vez identificados los clubes, se caracterizan mediante estadísticas descriptivas internas. Aunque el método no implica causalidad, comparar medias de variables como el capital, el uso de fertilizantes, la superficie irrigada o la fuerza laboral agrícola permite inferir diferencias estructurales entre grupos. Esta caracterización se apoya en la literatura que vincula convergencia productiva con acumulación de capital y difusión tecnológica (Sheng, 2022; Yuan, 2021; OECD, 2022). Los resultados se visualizan con trayectorias promedio h_{it} por club, que ilustran la dinámica de acercamiento o divergencia relativa, y con gráficos de la evolución de H_t , que muestran el grado de dispersión transversal a lo largo del tiempo.

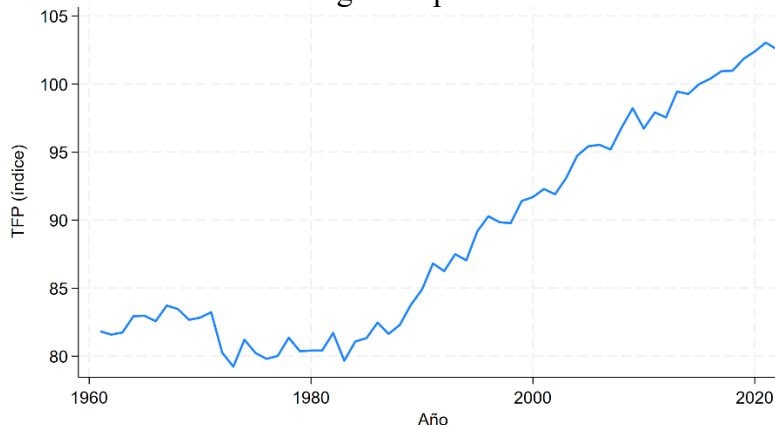
El enfoque metodológico adoptado posee claras ventajas respecto a las pruebas de convergencia tradicionales. Primero, evita imponer un único equilibrio de largo plazo, permitiendo la coexistencia de múltiples trayectorias, lo que se ajusta mejor a la realidad agrícola mundial. Segundo, la estimación es robusta frente a la no estacionariedad, lo que hace innecesario aplicar transformaciones de primera diferencia o cointegración. Tercero, el método permite cuantificar la velocidad de convergencia condicional, aportando una interpretación económica adicional sobre la intensidad de los procesos de ajuste (Tomal, 2024). Finalmente, al basarse en información longitudinal coherente y homogénea, se reducen los problemas de sesgo por diferencias en metodologías nacionales o revisiones estadísticas (Araujo & Possebom, 2025).

Datos y estadística descriptiva

Esta investigación utiliza la base ERS-USDA AgTFP International 2022 con series anuales de la TFP agrícolas por país para el periodo 1961 a 2022. Para hacer uniforme la lectura, la TFP se reexpresa en base 2000 = 100. La cobertura temporal del panel es altamente homogénea. La mayoría de los países cuenta con observaciones completas para todo el período en análisis, en donde más del 90 % de los casos exhibe una cobertura del 100 %. Solo un número reducido presenta brechas parciales, concentradas en países de menor capacidad estadística o en procesos recientes de independencia estatal. En conjunto, la estructura del panel es robusta, representativa y adecuada para el análisis de convergencia.

La Gráfica 1 presenta la trayectoria de la TFP promedio mundial. La curva es ascendente en el largo plazo, con una etapa de estancamiento y altibajos entre mediados de los sesenta y e inicios de los ochenta, seguida de una recuperación sostenida desde finales de los ochenta y una aceleración neta en la década de 1990 en adelante. En los años más recientes hay oscilaciones de baja amplitud, pero el nivel medio global se mantiene muy por encima de lo observado en los primeros decenios.

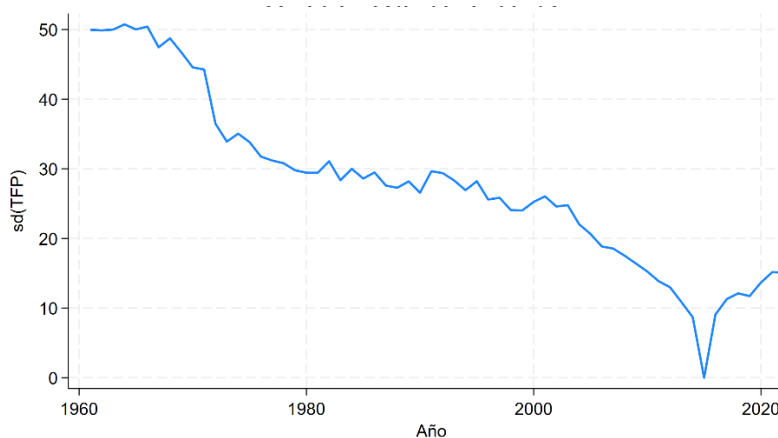
Gráfica 1. TPF agrícola promedio mundial



Fuente: elaboración propia con base en USDA-ERS.

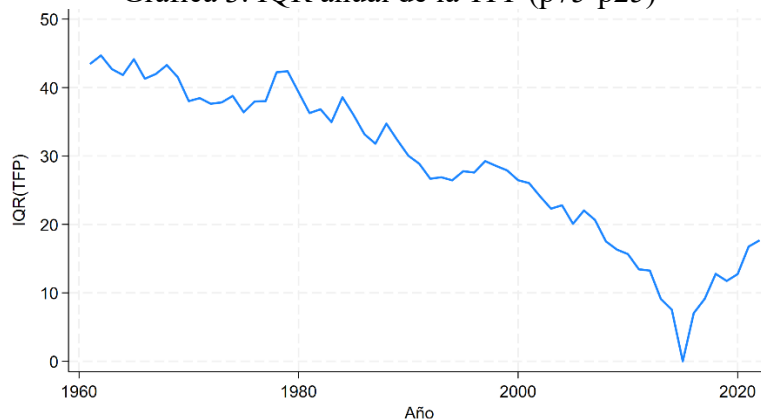
El énfasis siguiente recae en la dispersión internacional del TFP. La Gráfica 3 muestra la desviación estándar anual de TFP (2000 = 100), mientras que la Gráfica 4 reporta el IQR (p75–p25). Ambas medidas exhiben una tendencia descendente de largo plazo, que va desde niveles altos en los años sesenta, momento a partir del momento en que se observa una caída sostenida, especialmente marcada hacia finales de los setenta y los ochenta, seguida por una reducción más gradual que continúa hasta mediados de la década del 2010. En la cola del período, ambas curvas registran un ligero repunte (visible tanto en sd como en IQR), sugiriendo una reapertura parcial de brechas entre países.

Gráfica 2. Desviación estándar anual de la TFP



Fuente: elaboración propia con base en USDA-ERS (2022).

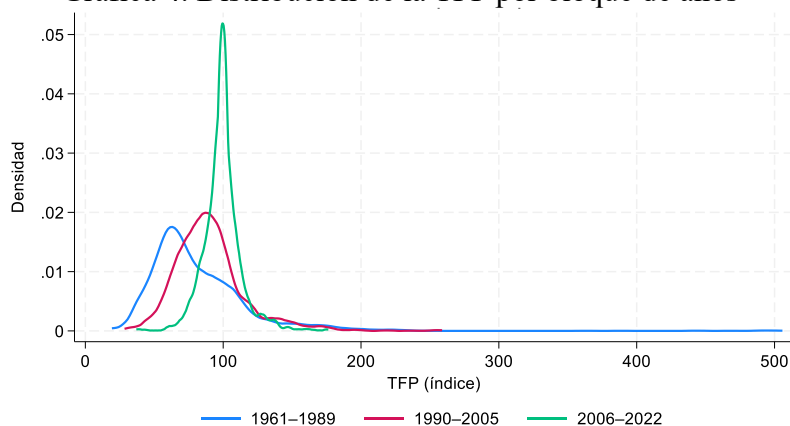
Gráfica 3. IQR anual de la TFP (p75-p25)



Fuente: elaboración propia con base en ERS–USDA.

La Gráfica 5 presenta las densidades kernel de la TFP para tres bloques temporales (1961–1989, 1990–2005, 2006–2022). Las curvas muestran un desplazamiento hacia la derecha, el cual es consistente con el aumento del nivel medio y, a la vez, un estrechamiento de la masa principal en los cortes más recientes, lo que coincide con la disminución de la dispersión. No obstante, persisten colas tanto a la izquierda (países rezagados) como a la derecha (países de frontera), de modo que la reducción de la desigualdad tecnológica no ha sido homogénea. Esta coexistencia de desplazamiento y persistencia de colas es un primer indicio de que los procesos de ajuste pudieron ser heterogéneos por grupos de países.

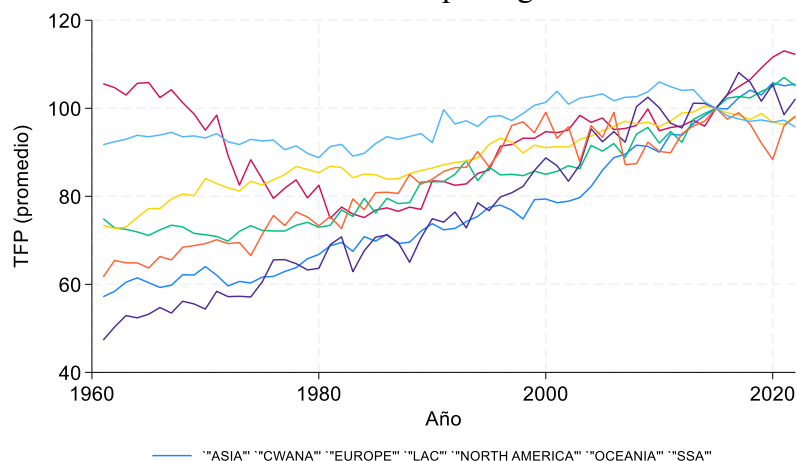
Gráfica 4. Distribución de la TFP por bloque de años



Fuente: elaboración propia con base en ERS–USDA.

La heterogeneidad por región FAO se presenta en la Gráfica 5, que representa la TFP media regional para el periodo analizado. Todas las regiones presentan trayectorias crecientes, pero con ordenamientos relativos persistentes y cruces ocasionales. La distancia entre algunas regiones se acorta conforme avanza el período, mientras que otras conservan brechas más visibles hacia el final de la muestra.

Gráfica 5. TFP media por región FAO



Fuente: Elaboración propia con base en ERS–USDA.

La Tabla 1 resume, para cada región y subperíodo (1961–1980, 1981–2000, 2001–2022 y total), medidas de nivel (media y mediana) y de dispersión (P25, P75 y desviación estándar). Esta tabla permite verificar dos patrones: (i) la convergencia en niveles medios entre ciertas regiones desde los noventa, y (ii) una reducción de la dispersión intrarregional en varios casos, especialmente en el bloque más reciente, aunque no de forma universal.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas de la TFP por región FAO: 1961–2022

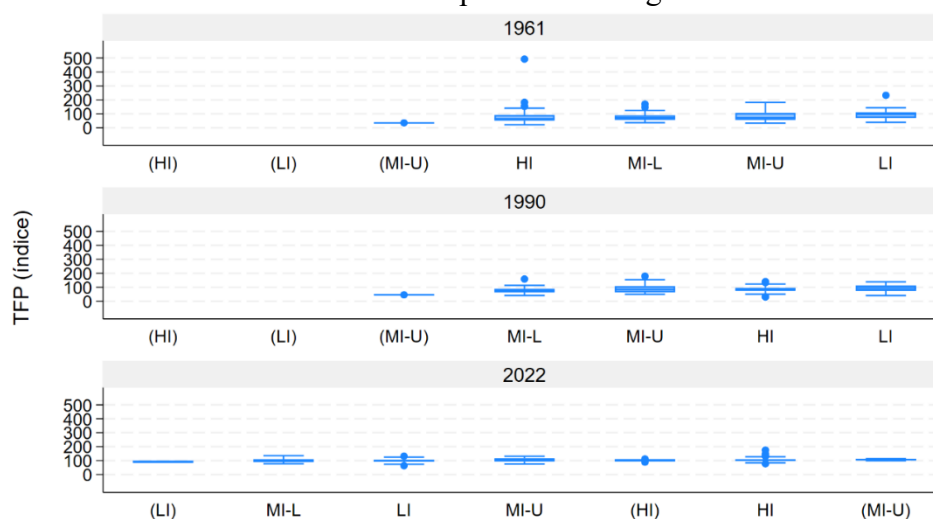
Región FAO	Periodo	TFP (media)	TFP (p25)	TFP (p50)	TFP (p75)	TFP (desv. estándar)	level	year	tfp
ASIA	1961-1980	61,54	42,04	51,39	65,05	34,96	region	1980	60
ASIA	1981-2000	73,16	57,47	69,06	78,30	26,21	region	1985	64
ASIA	2001-2022	93,88	85,19	96,47	101,36	14,54	region	2017	101
CWANA	1961-1980	93,82	60,79	70,28	103,62	65,29	region	1969	90
CWANA	1981-2000	82,84	63,04	77,57	100,03	27,42	region	1992	85
CWANA	2001-2022	100,43	87,40	98,96	109,24	22,77	region	2018	92
EUROPE	1961-1980	72,40	57,27	66,63	81,56	28,17	region	1973	67
EUROPE	1981-2000	82,10	69,13	82,19	92,59	22,12	region	1993	89
EUROPE	2001-2022	96,24	89,89	98,28	103,34	13,37	region	2004	89
LAC	1961-1980	80,59	60,70	76,83	100,00	29,62	region	1972	69

LAC	1981-2000	87,72	68,87	85,28	98,96	26,76	region	1989	80
LAC	2001-2022	96,69	88,51	97,53	103,52	13,78	region	2013	109
NORTH AMERICA	1961-1980	57,19	52,11	55,37	61,38	6,90	region	1973	63
NORTH AMERICA	1981-2000	74,42	65,42	74,46	81,88	11,01	region	1997	92
NORTH AMERICA	2001-2022	97,94	94,70	99,90	103,73	8,23	region	2018	104
OCEANIA	1961-1980	68,99	60,00	72,01	77,77	9,46	region	1967	78
OCEANIA	1981-2000	85,54	79,44	85,87	91,62	10,41	region	1988	75
OCEANIA	2001-2022	93,97	91,38	95,60	97,46	6,25	region	2002	98
SSA	1961-1980	92,54	66,52	89,38	107,18	35,02	region	1980	65
SSA	1981-2000	95,28	74,95	92,18	106,60	31,25	region	1998	73
SSA	2001-2022	101,09	92,93	100,00	106,37	17,37	region	2011	108

Fuente: Elaboración propia con base en ERS–USDA.

La Gráfica 6 muestra los diagramas de caja para 1961, 1990 y 2022. Allí se observan tres rasgos robustos: primero, las medianas aumentan de forma notable en todos los grupos entre 1961 y 2022; segundo, la dispersión intragrupo (altura de las cajas) tiende a reducirse en el tiempo, con algunas excepciones puntuales, y tercero, los saltos de nivel entre grupos de ingreso persisten hacia el período.

Gráfica 6. TFP por nivel de ingreso



Fuente: Elaboración propia con base en ERS–USDA.

La Tabla 2 cuantifica estas diferencias de la Gráfica 6 por subperíodos, mostrando que los grupos de ingreso medio–alto y alto concentran niveles más elevados de TFP en el último corte,

con menor varianza interna que a inicios del período, y que los grupos de ingreso bajo continúan exhibiendo rezagos en nivel y mayor dispersión residual.

Tabla 2. Distribución de la TFP por nivel de ingreso: media y percentiles, 1961–2022

Nivel de ingreso	Periodo	TFP (media)	TFP (p25)	TFP (p50)	TFP (p75)	TFP (desv. estándar)	year	tfp
(HI)	1981-2000	90,09	67,02	95,91	103,52	19,25	1992	58
(HI)	2001-2022	97,86	92,40	99,84	104,49	11,80	2020	98
(LI)	1981-2000	91,03	80,76	87,41	100,28	14,47	1995	105
(LI)	2001-2022	100,24	96,47	99,87	104,81	7,11	2008	91
(MI-U)	1961-1980	35,99	35,13	36,14	36,82	1,14	1963	35
(MI-U)	1981-2000	79,42	45,34	59,67	120,19	46,19	1987	45
(MI-U)	2001-2022	100,52	92,75	100,00	109,79	14,42	2004	75
HI	1961-1980	83,24	55,50	70,84	93,41	57,71	1962	20
HI	1981-2000	85,66	71,03	84,65	98,51	23,64	1996	90
HI	2001-2022	97,70	90,91	98,68	103,75	16,75	2001	85
LI	1961-1980	98,80	68,26	101,57	114,66	38,27	1968	103
LI	1981-2000	96,98	74,04	96,27	115,94	27,87	1986	107
LI	2001-2022	102,61	92,96	101,56	112,18	18,41	2015	100
MI-L	1961-1980	72,54	55,26	67,35	85,66	25,16	1978	46
MI-L	1981-2000	77,28	62,59	74,53	89,49	22,81	1999	97
MI-L	2001-2022	95,16	86,61	96,58	101,63	15,54	2016	109
MI-U	1961-1980	84,66	58,88	73,32	101,99	37,20	1974	50
MI-U	1981-2000	90,39	65,70	82,98	103,52	33,88	1995	74
MI-U	2001-2022	99,51	89,22	98,92	105,69	17,99	2003	91

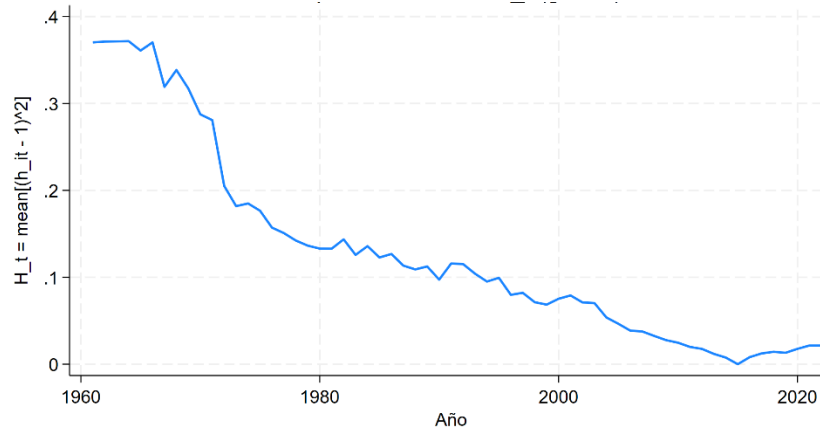
Fuente: Elaboración propia con base en ERS–USDA.

Resultados

Test global de convergencia

La gráfica 8 muestra la evolución temporal de la dispersión relativa $H_t = \text{mean}[(h_{it} - 1)^2]$ para el conjunto mundial de países durante 1961-2022. Se observa una tendencia descendente desde niveles cercanos a 0,38 en los años sesenta hasta valores inferiores a 0,05 hacia finales de la muestra, lo que sugiere una reducción sistemática en la heterogeneidad relativa TPF agrícola. Esta evidencia apunta hacia un proceso de aproximación global de los niveles de productividad, aunque, de acuerdo con la metodología de convergencia de clubes, esta primera impresión debe contrastarse mediante el test log-t propuesto por Phillips y Sul (2007).

Gráfica 8. Dispersión relativa H-t (global)



Fuente: Elaboración propias.

El test log-t parte de la descomposición $X_{it} = \delta_{it}\mu_t$, donde δ_{it} refleja la transición relativa de cada país respecto al componente común μ_t . La hipótesis nula de convergencia global ($H_0: \alpha \geq 0$) implica que las δ_{it} tienden a una unidad común en el largo plazo, mientras que la alternativa ($H_1: \alpha < 0$) señala la existencia de dinámicas heterogéneas persistentes o de múltiples clubes de convergencia.

Los resultados del test global se presentan en la Tabla 3. En todas las especificaciones, tanto para $r = 0,20; 0,30; 0,40$ como para rezagos HAC de 0, 1 y 3, los coeficientes $\hat{b}$ toman valores entre 1 y 2, con sus correspondientes $\hat{\alpha} = \hat{b}/2 \approx 1$. Los estadísticos t fluctúan entre 4 y 10, todos ellos positivos y muy alejados del umbral de significancia unilateral $-1,65$ propuesto por Phillips y Sul (2007). En consecuencia, el valor-p unilateral es 1,00 y la decisión, uniforme en todas las variantes, es no rechazar H_0 de convergencia global.

Tabla 3. Resultados test global

reject_crit	b_hat	alpha_hat	t	p	p_two_sided	decision_5pct	especificación	df_resid
0	1	1	7	1	0	No se rechaza H0	r=0,20, lag=0	47
0	1	1	6	1	0	No se rechaza H0	r=0,20, lag=1	47
0	1	1	4	1	0	No se rechaza H0	r=0,20, lag=3	47
0	2	1	9	1	0	No se rechaza H0	r=0,30, lag=0	41
0	2	1	6	1	0	No se rechaza H0	r=0,30, lag=1	41
0	2	1	5	1	0	No se rechaza H0	r=0,30, lag=3	41
0	2	1	10	1	0	No se rechaza H0	r=0,40, lag=0	35
0	2	1	7	1	0	No se rechaza H0	r=0,40, lag=1	35
0	2	1	6	1	0	No se rechaza H0	r=0,40, lag=3	35

Fuente: Cálculos propios.

Al analizar la productividad del sector agrícola mundial como un conjunto, las trayectorias de la TFP se mueven hacia una senda común de crecimiento de largo plazo. A nivel empírico, la convergencia global observada sugiere que los países han reducido las brechas en eficiencia sectorial, posiblemente por la difusión tecnológica, la globalización de la innovación agropecuaria y el avance en políticas de transferencia de conocimiento (Fuglie, 2018; Fuglie & Rada, 2023). Sin embargo, el hecho de que la convergencia sea confirmada a nivel global no descarta la existencia de grupos o clubes de países que convergen a distintos estados estacionarios de productividad, lo cual se examinará en la siguiente subsección mediante la identificación de clubes endógenos.

Metodológicamente, el cumplimiento de las condiciones del test (número suficiente de periodos, ausencia de valores negativos en H_t y ajuste con corrección HAC) garantiza la robustez de las estimaciones. La estabilidad de los resultados frente a distintos valores de trimming (r) y número de rezagos confirma que la ausencia de heterogeneidad persistente no depende de la especificación particular de la regresión, sino que refleja un patrón estructural de convergencia en la eficiencia agrícola mundial. La Gráfica 7 complementa esta evidencia, mostrando que la pendiente estimada es positiva, lo que coincide con la aceptación de la hipótesis nula.

En síntesis, los resultados del test log-t a nivel global permiten concluir que existe un proceso de convergencia absoluta en la productividad total de los factores agrícolas durante el periodo 1961-2022. Esta dinámica refleja la difusión global de innovaciones agrarias, la expansión del comercio tecnológico y la convergencia en las prácticas de manejo de recursos, aunque es probable que persistan diferencias regionales o institucionales que den origen a subconjuntos de convergencia parcial, explorados más adelante con los análisis de clubes.

Identificación y validación de clubes de convergencia

La identificación de clubes se llevó a cabo mediante el algoritmo secuencial de partición-fusión aplicado a las trayectorias de transición relativas a la $\{\delta_{it}\}$. Partimos del ordenamiento por el último año disponible y ejecutamos el procedimiento estándar: (i) formación del grupo base con maximización local del estadístico de prueba, (ii) evaluación del resto de economías en el grupo líder y, si corresponde, (iii) iteraciones sucesivas de separación y fusión condicionadas al resultado del test log-t dentro de cada subconjunto. Este enfoque garantiza que todo club retenido cumpla la condición de convergencia intragrupo, esto es, $\delta_{it} \rightarrow \delta^*$ para todo miembro del club, y que toda partición esté sustentada en evidencia estadística y no en reglas ad hoc.

Los resultados del modelo econométrico, resumidos en las Tablas 4 y 5, muestran que todas las economías de la muestra fueron asignadas a un único club ($\text{club_id} = 1$). En otras palabras, el algoritmo no encontró particiones estadísticamente necesarias: el conjunto de países exhibe una dinámica de transición suficientemente homogénea como para ser tratado como un solo conglomerado convergente. Esta salida es coherente con la evidencia global presentada en la subsección anterior (Gráfica 8), donde el índice de dispersión relativa H_t cae de manera persistente a lo largo del periodo 1961–2022 y se estabiliza en valores muy bajos al final de la muestra. La interpretación conjunta de ambos ejercicios es que no solo se verifica la convergencia global de la productividad total de los factores (TFP) agrícola, sino que, además, la formación endógena de clubes no requiere más de un grupo para racionalizar las trayectorias observadas.

Tabla 4. Tamaño de clubes	
club_id	n_paises
1	154

Fuente: Construcción propia.

Tabla 5. Muestra de los resultados de las membresías de clubes

iso3	country	club id	iso3	country	club id	iso3	country	club id
AFG	Afghanistan	1	FRA	France	1	NGA	Nigeria	1
ALB	Albania	1	GUF	French Guiana	1	NOR	Norway	1
DZA	Algeria	1	GAB	(France)	1	OMN	Oman	1
AGO	Angola	1	GMB	Gabon	1	PAK	Pakistan	1
ARG	Argentina	1	GEO	Gambia	1	PAN	Panama	1
BEL	Belgium	1	HUN	Georgia	1	RWA	Rwanda	1
				Hungary	1			

Fuente: Construcción propia.

La validación econométrica intraclub se documenta en la Tabla 6 y en la condensación por especificación preferida en la Tabla 7. Para el club 1, el coeficiente estimado $\hat{b}$ y su transformación $\hat{\alpha} = \hat{b}/2$ son positivos, mientras que los estadísticos t de la regresión log-t resultan altos y positivos en todas las combinaciones de parámetros que evaluaste (recortes $r = 0,20; 0,30; 0,40$ y rezagos HAC 0, 1 y 3). En particular, los t-estadísticos reportados se ubican, según tu hoja, en el rango aproximado de 37 a 75, muy alejados del umbral crítico unilateral de $-1,65$ que implicaría evidencias de no convergencia. En consecuencia, la columna decision_5pct marca uniformemente “No se rechaza H_0 ” (no se rechaza la hipótesis de convergencia intraclub). La estabilidad de la señal y su robustez a variaciones en r y en el número de rezagos confieren solidez a la conclusión principal: dentro del único club identificado, las economías comparten una senda de transición común.

Tabla 6. Resultados del test log-t por club de convergencia

club_i	especificació	r	Lag	b_ha	alpha_ha	t_sta	df_resi	n_paise	decision_5pc	reject_cri
d	n		s	t	t	t	d	s	t	t
1	r=0,20; lag=0	0	0	1	1	7	47	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,20; lag=1	0	1	1	1	6	47	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,20; lag=3	0	3	1	1	4	47	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,30; lag=0	0	0	2	1	9	41	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,30; lag=1	0	1	2	1	6	41	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,30; lag=3	0	3	2	1	5	41	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,40; lag=0	0	0	2	1	10	35	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,40; lag=1	0	1	2	1	7	35	154	No se rechaza H_0	0
1	r=0,40; lag=3	0	3	2	1	6	35	154	No se rechaza H_0	0

Fuente: Construcción propia.

Tabla 7. Resultados del test log-t por club: especificación preferida ($r = 0,30$, $\text{lag} = 1$)

club_i d	especificacio n	r	lags	b_ha t	alpha_ha t	t_sta t	df_resi d	n_paise s	decision_5p ct	reject_cri t
1	$r=0,20$; $\text{lag}=0$	0	0	1	1	7	47	154	No se rechaza H_0	0
1	$r=0,30$; $\text{lag}=0$	0	0	2	1	9	41	154	No se rechaza H_0	0
1	$r=0,30$; $\text{lag}=1$	0	1	2	1	6	41	154	No se rechaza H_0	0
1	$r=0,30$; $\text{lag}=3$	0	3	2	1	5	41	154	No se rechaza H_0	0

Fuente: Construcción propia.

Un aspecto metodológico relevante es que el algoritmo, al no requerir más de un club, no oculta convergencia “espuria” por agregación; por el contrario, confirma que la dinámica de ajuste es suficientemente homogénea para no justificar particiones adicionales. En ejercicios con alta heterogeneidad estructural, es común que el algoritmo genere al menos dos grupos (por ejemplo, uno de alto desempeño y otro rezagado). En nuestro ejercicio, la evidencia apunta a que la difusión tecnológica, el cambio técnico sesgado por factores y la asimilación de prácticas productivas se han expandido lo suficiente como para reducir las diferencias relativas en eficiencia sin segmentar el panel en trayectorias persistentemente divergentes. Esta lectura es consistente con la caída monotónica de H_t , que cuantifica la contracción de la dispersión de h_{it} alrededor de la unidad.

Conviene subrayar que “un solo club” no implica homogeneidad de niveles: la condición de convergencia intraclub se refiere a la trayectoria de transición, esto es, a las tasas de ajuste relativas al componente común, no a la igualdad de TFP en cada fecha. Es plausible que persistan diferencias de nivel en el corto y mediano plazo, derivadas de dotaciones, instituciones, infraestructura, clima o choques idiosincráticos, pero la estimación sugiere que esas brechas no son persistentes en el sentido del test: tienden a cerrarse asintóticamente. De hecho, esta distinción ayuda a reconciliar la clara disminución de H_t con los perfiles heterogéneos que se observan en las estadísticas descriptivas por región FAO o por nivel de ingreso: puede haber dispersiones transitorias o episodios de divergencia local, sin que ello invalide la convergencia de largo plazo de la cohorte completa.

Como comprobaciones adicionales de robustez, permiten tres lecturas. Primero, la sensibilidad a r : el mantenimiento del signo y la magnitud de $\hat{b}$ al pasar de $r = 0,20$ a $r = 0,40$ indica que los resultados no dependen del recorte inicial de la muestra; esto es, de cuán temprano iniciamos el horizonte efectivo para la regresión. Segundo, la corrección HAC con rezagos 0, 1 y 3 preserva la conclusión, lo que sugiere que la dependencia serial de segundo orden no altera la inferencia. Tercero, la consistencia entre la prueba global y la intraclub: la coincidencia de señales (ambas positivas y significativas) reduce la probabilidad de que estemos frente a un falso positivo inducido por la agregación.

En síntesis, la aplicación del algoritmo de clubes sobre la base mundial de TFP agrícola (1961–2022) no detecta particiones, todas las economías integran un único club y el test log-t confirma convergencia intragrupo de manera robusta. Junto con la evidencia de convergencia global, el resultado sugiere un patrón extendido de difusión y asimilación tecnológica en la agricultura mundial, compatible con procesos de integración de mercados, aprendizaje y escalamiento de buenas prácticas productivas.

Discusión

Los resultados obtenidos aportan evidencia sólida de convergencia global en la productividad total de los factores (PTF) para el sector agropecuario durante el período 1961–2022. Tanto el descenso sostenido del índice de dispersión relativa H_t (Gráfica 8) como la no significancia estadística de la hipótesis de no convergencia en el test log-t global (Tabla 6) confirman que las diferencias relativas de eficiencia productiva entre países se han reducido sistemáticamente. Esta tendencia se alinea con el proceso de difusión tecnológica y de integración de mercados agrícolas observado desde los años ochenta, impulsado por el comercio agroalimentario, la expansión de la investigación agrícola internacional y el fortalecimiento de las instituciones de innovación (Alston et al., 2021; Fuglie, 2018).

El hallazgo de un único club de convergencia (Tablas 4 y 5) constituye una señal de madurez en la difusión tecnológica agrícola global. A diferencia de estudios previos que identificaban múltiples clubes regionales o de ingreso (Baier et al., 2012; Ertur & Musolesi, 2017; Prochniak & Witkowski, 2019), los resultados de este trabajo sugieren que las dinámicas de productividad agrícola se han homogeneizado al punto de no requerir particiones estadísticamente significativas. Este resultado puede interpretarse como un síntoma de coordinación estructural en las fuentes de crecimiento, en donde los países, independientemente de su nivel de ingreso o localización geográfica, parecen compartir un proceso común de transición hacia mayores niveles de eficiencia tecnológica y organizacional.

El contraste con la literatura sobre convergencia condicional es particularmente relevante. Mientras varios autores sostienen que la convergencia global sólo se verifica tras controlar por factores estructurales como capital humano, infraestructura o instituciones (Barro & Sala-i-Martin, 2004; Islam, 2003), la evidencia del presente estudio indica que, incluso sin controles explícitos, las trayectorias de productividad tienden a acercarse. Este resultado no contradice los enfoques condicionales, sino que los complementa; esto es, las diferencias de dotaciones y políticas pueden afectar los niveles de PTF, pero no alteran la dirección común de las trayectorias de crecimiento agrícola. En otras palabras, los países difieren en su punto de partida, pero no en su rumbo de largo plazo.

El proceso puede interpretarse a la luz de los mecanismos de difusión tecnológica internacional. El fortalecimiento de los sistemas nacionales de investigación agrícola y la expansión de la cooperación científica multilateral (CGIAR, FAO, ERS) han generado externalidades de conocimiento que reducen la brecha entre países innovadores y países adoptantes. Asimismo, la globalización de los mercados de insumos y de maquinaria agrícola ha permitido que las innovaciones incorporadas en equipos y semillas se transfieran rápidamente entre los países (Fuglie & Rada, 2023). En paralelo, el crecimiento del financiamiento rural —público y privado— ha potenciado la adopción de tecnologías productivas y prácticas de manejo sostenible, facilitando la convergencia en la eficiencia total de los factores (Mhlanga et al., 2022).

Sin embargo, la interpretación de convergencia global no implica la eliminación completa de disparidades. Los resultados deben entenderse en términos de trayectorias de transición, no de igualdad de niveles. El hecho de que el test log-t indique convergencia sugiere que las tasas de crecimiento de la PTF tienden a estabilizarse entre países, pero las diferencias en el nivel absoluto de productividad pueden persistir debido a la presencia de heterogeneidades en dotaciones de recursos, calidad institucional o riesgos climáticos. Estas brechas estructurales pueden explicar por qué, a pesar de la convergencia estadística global, continúan observándose diferencias significativas en rendimiento por hectárea o en valor agregado por trabajador agrícola entre regiones (World Bank, 2023). En este sentido, la convergencia detectada es un fenómeno dinámico

de largo plazo, que está más vinculado con la dirección de cambio que con la igualdad de resultados inmediatos.

La robustez de los resultados en todas las especificaciones ($r = 0,20 - 0,40$; lags = 0-3) refuerza la confianza en la evidencia empírica. En ningún caso se rechazó la hipótesis nula de convergencia, y los coeficientes $\hat{b}$ y $\hat{\alpha}$ permanecieron positivos y consistentes (Tablas 6 y 7). Esto sugiere que la dinámica observada no es un artefacto de la parametrización del modelo ni del tratamiento de la autocorrelación temporal. La consistencia con el patrón descendente de H_t confirma la coherencia entre la evidencia estadística y la visual, y refuerza la validez metodológica del enfoque de Phillips y Sul (2007) aplicado al panel agrícola internacional.

Desde una perspectiva de política, la existencia de un único club convergente tiene implicaciones importantes. Primero, sugiere que las políticas globales de innovación y sostenibilidad agrícola, por ejemplo, las asociadas a la Agenda 2030 y a la transición hacia sistemas alimentarios bajos en carbono, pueden tener efectos amplios, sin requerir estrategias diferenciadas por “bloques de desarrollo” tan marcados como en décadas anteriores. Segundo, indica que la productividad agrícola mundial se ha vuelto más interdependiente, de modo que los avances tecnológicos o institucionales en un conjunto de países pueden propagarse con mayor rapidez. Tercero, revela que la cooperación internacional en investigación, crédito y capacitación rural es un instrumento eficaz para acelerar el cierre de brechas, pues los retornos de esas políticas se difunden globalmente a través de la red de adopción tecnológica.

No obstante, la convergencia global no debe interpretarse como irreversibilidad. La ligera inflexión ascendente del H_t después de 2015 (Gráfica 8) sugiere un posible ralentizamiento en la velocidad de convergencia, quizá asociado a choques recientes: el cambio climático, las tensiones comerciales o la desigual recuperación pos-COVID-19 podrían estar generando nuevos diferenciales temporales de productividad. Esta observación coincide con advertencias de la FAO (2022) sobre divergencias en productividad multifactorial entre regiones de bajos ingresos y el resto del mundo durante la última década. Por tanto, mantener la convergencia requiere sostener la inversión en investigación pública, infraestructuras rurales y políticas de adaptación climática.

Los resultados también invitan a discutir la relación entre convergencia tecnológica y sostenibilidad ambiental. La expansión de la frontera productiva global ha estado acompañada de mayor uso de insumos y presión sobre ecosistemas. Si bien la convergencia refleja eficiencia técnica creciente, su sostenibilidad dependerá de la capacidad de internalizar los costos ambientales del crecimiento agrícola. En este sentido, futuras investigaciones podrían extender el análisis hacia una convergencia verde, considerando simultáneamente la productividad y las emisiones agrícolas o el uso eficiente del agua, siguiendo la línea de investigación emergente en economía agrícola sostenible (Burnett & Veyssset, 2022).

En síntesis, la evidencia empírica sugiere que el sector agrícola mundial ha transitado hacia una convergencia tecnológica de largo plazo, impulsada por la difusión global de la innovación, la cooperación internacional y la expansión del conocimiento. A pesar de las heterogeneidades persistentes, la dirección general de ajuste es positiva, en donde las economías agrícolas tienden a compartir un componente común de crecimiento. Este resultado no sólo confirma la validez empírica del enfoque de convergencia por transición, sino que también refuerza la tesis de que la agricultura, tradicionalmente rezagada en los debates de crecimiento, se ha convertido en un vector de convergencia estructural dentro de la economía mundial.

Conclusiones

El presente estudio analizó la convergencia de la productividad total de los factores (PTF) agrícola mundial durante el período 1961 a 2022, utilizando la metodología de transición y el test log-t sugerida por Phillips y Sul (2007). A partir de la base de datos internacional del USDA-ERS, los resultados confirman la existencia de un proceso de convergencia global sostenida en la eficiencia agropecuaria, evidenciado por la reducción del índice de dispersión relativa H_t y por el no-rechazo de la hipótesis nula de convergencia en todas las especificaciones evaluadas.

El análisis de clubes de convergencia revela que todas las economías agrícolas conforman un único club global, lo que indica que las trayectorias de crecimiento de la PTF comparten una dinámica común de largo plazo. Este resultado refleja la creciente integración tecnológica y organizacional de los sistemas agrícolas a nivel mundial, resultado que puede ser atribuido a la difusión internacional de innovaciones, la expansión de la investigación sectorial y el fortalecimiento de los mercados globales de insumos, conocimiento y crédito.

Desde una perspectiva estructural, la convergencia observada no implica homogeneidad absoluta en los niveles de productividad, sino una coincidencia en las tasas de ajuste y en la dirección de cambio. Persisten diferencias derivadas de dotaciones naturales, infraestructura y capacidades institucionales, pero estas brechas tienden a cerrarse en el horizonte de largo plazo. La consistencia de los resultados frente a variaciones en el parámetro de recorte y en los rezagos HAC confirma la robustez estadística del proceso convergente, lo que valida la aplicabilidad del enfoque de transición en el análisis de la productividad agrícola.

En términos de política pública, la existencia de un patrón global de convergencia sugiere que las estrategias de innovación, financiamiento rural y cooperación internacional generan externalidades positivas globales. La coordinación entre políticas nacionales e iniciativas multilaterales, en investigación, capacitación y sostenibilidad, puede acelerar la difusión tecnológica y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), en particular los relativos a hambre cero y producción responsable.

Finalmente, los resultados invitan a ampliar el análisis hacia dimensiones complementarias, como la convergencia verde en la productividad ajustada por sostenibilidad ambiental y la estimación de velocidades de convergencia diferenciadas por región. Estos enfoques permitirán comprender mejor los límites y oportunidades del proceso de modernización agrícola global en un contexto de cambio climático y de transición hacia sistemas agroalimentarios sostenibles.

Referencias bibliográficas

- Alexiadis, S. (2012). Convergence in agriculture: evidence from the European Union. *Agricultural and Applied Economics Association*. Recuperado de <https://ageconsearch.umn.edu/record/163332/?ln=en>
- Alston, J. M., Pardey, P. G., & Ruttan, V. W. (2021). *Agricultural research, productivity, and food prices in the long run*. University of Chicago Press.
- Araujo, R., & Possebom, V. (2025). Potato Potahto in the FAO-GAEZ Productivity Measures? Nonclassical Measurement Error with Multiple Proxies. *arXiv*. <https://arxiv.org/abs/2502.12141>
- Baier, S. L., Dwyer, G. P., & Tamura, R. (2012). How important are capital and total factor productivity for economic growth? *Economic Inquiry*, 50(1), 288–313. <https://doi.org/10.1111/j.1465-7295.2011.00394.x>
- Barro, R. J., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic growth* (2nd ed.). MIT Press.

- Be-ylunioglu, F. C., et al. (2016). Detecting convergence clubs. University of Guelph Working Paper. <https://www.uoguelph.ca/economics/repec/workingpapers/2016/2016-04.pdf>
- Bohr, C. E., Mestieri, M., & Robert-Nicoud, F. (2024). Economic Geography and Structural Change. arXiv. <https://arxiv.org/abs/2412.03755>
- Burnett, P., & Veyssset, P. (2022). Measuring sustainable productivity growth in agriculture. *Ecological Economics*, 195, 107382. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107382>
- Cialani, C. (2021). Sectoral analysis of club convergence in EU countries' CO₂ emissions. *Energy Policy*, 152, 112156. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2021.112156>
- Durlauf, S. N., Johnson, P., & Temple, J. (2005). Growth econometrics. En *Handbook of economic growth* (Vol. 1, pp. 555–677). Elsevier.
- Ertur, C., & Musolesi, A. (2017). Weak and strong cross-sectional dependence in growth regressions. *Journal of Applied Econometrics*, 32(3), 477–503. <https://doi.org/10.1002/jae.2514>
- FAO. (2022). The State of Food and Agriculture 2022: Leveraging agricultural automation. FAO. <https://www.fao.org/publications>
- Fuglie, K. O. (2018). R&D capital, R&D spillovers, and productivity growth in world agriculture. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 40(3), 421–444. <https://doi.org/10.1093/aep/ppy005>
- Fuglie, K. O., & Rada, N. (2023). International agricultural productivity database. USDA Economic Research Service. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>
- Ghosh, M. (2013). Regional divergence and club convergence in India. *Journal of Regional Science*. <https://doi.org/10.1016/j.jors.2012.08.002>
- Gong, B. (2020). Agricultural productivity convergence in China. *China Economic Review*. <https://doi.org/10.1016/j.chieco.2020.101423>
- Herrendorf, B., et al. (2022). New evidence on sectoral labor productivity. NBER Working Paper. https://www.nber.org/system/files/working_papers/w29834/w29834.pdf
- Islam, N. (2003). Productivity dynamics in a large sample of countries: A panel study. *Review of Income and Wealth*, 49(2), 247–272. <https://doi.org/10.1111/1475-4991.00082>
- John, M. A., et al. (2023). Carbon (CO₂) emission and food availability convergence in the Niger Basin region using club clustering. *Ageconsearch*. <https://ageconsearch.umn.edu/record/342060>
- Li, G., Zeng, X. y Zhang, L. (2008). Estudio de la productividad agrícola y su convergencia en las regiones de China. *The Review of Regional Studies*, 38 (3), 361.
- McCunn, A. (2000). Convergence in U.S. productivity growth for agriculture. ISU Working Paper. <https://ideas.repec.org/p/isu/genstf/200005010700001304.html>
- Mhlanga, N., Karonga, T., & Amadu, F. O. (2022). Agricultural finance and smallholder inclusion in Sub-Saharan Africa. *Development Policy Review*, 40(6), e12611. <https://doi.org/10.1111/dpr.12611>
- Martin, W., & Labys, W. C. (1999). Productivity growth and convergence in agriculture and manufacturing. Surface (Syracuse University). Recuperado de <https://surface.syr.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1091&context=ecn>
- Newey, W. K., & West, K. D. (1994). Automatic lag selection in covariance matrix estimation. *The Review of Economic Studies*, 61(4), 631–653.

- OECD. (2022). Agricultural Total Factor Productivity and the Environment. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2022/05/agricultural-total-factor-productivity-and-the-environment_013d98b9/6fe2f9e0-en.pdf
- Phillips, P. C. B., & Sul, D. (2007). Transition modeling and econometric convergence tests. *Econometrica*, 75(6), 1771–1855. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0262.2007.00811.x>
- Poudel, B. N. (2011). Agricultural productivity convergence: Myth or reality? *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 43(1), 143–156. <https://doi.org/10.1017/S1074070800004107>
- Prochniak, M., & Witkowski, B. (2019). Real economic convergence in the EU: A panel data analysis. *Empirical Economics*, 56(2), 583–607. <https://doi.org/10.1007/s00181-017-1353-4>
- Rezitis, A. N. (2010). Agricultural productivity and convergence: Europe and the convergence. *Agricultural Economics*. <https://doi.org/10.1080/00036840701721026>
- Sheng, Y. (2022). Cross-country agricultural TFP convergence and capital deepening: Evidence for induced innovation from 17 OECD countries. *Journal of Productivity Analysis*, 58(2–3), 185–202. <https://doi.org/10.1007/s11123-022-00646-z>
- Sichera, R. (2019). A package for performing the Phillips and Sul’s club convergence test. *The R Journal*. <https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1197&context=r-journal>
- Tomal, M. (2024). A review of Phillips–Sul approach-based club convergence tests. *Journal of Economic Surveys*. <https://doi.org/10.1111/joes.12563>
- USDA. (2024). World agricultural production, resource use, and productivity: Six decades of change (EIB-268). USDA-ERS. <https://www.ers.usda.gov/publications/pub-details/?pubid=108671>
- USDA. (2025). International agricultural productivity: Data product, methods and revisions. USDA-ERS. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity>
- World Bank. (2023). World development indicators 2023. The World Bank. <https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators>
- Yuan, L. (2021). World agricultural convergence. *Journal of Productivity Analysis*, 56(3), 277–295. <https://doi.org/10.1007/s11123-021-00614-9>