

EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD, EFICIENCIA Y RESILIENCIA DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS DURANTE EL PERIODO DE COVID 19 (2020-2022): ESTUDIO DE CASO PARA LATINO AMÉRICA Y OTRAS REGIONES MUNDIALES

Luis Angel Figueroa-Campos

Estudiante de maestría, Posgrado en Sistemas Agrícolas y Alimentarios Resilientes, Wageningen University, Países Bajos

*Autor de correspondencia: angel.figueroacampos@wur.nl

RESUMEN

Para operacionalizar el término de resiliencia en sistemas alimentarios es necesario cuantificar indirectamente este atributo, de tal manera que se pueda medir el impacto causado por fenómenos externos. Una manera de concebir la resiliencia es en términos de mantener la eficiencia productiva a través del tiempo. Se asume que la resiliencia es una propiedad intrínseca de los sistemas complejos adaptativos, la cual debe ser medida como una comparativa de las tomas del comportamiento del sistema en cuestión (series de tiempo) y comparando casos similares (paneles de datos). En este trabajo se integran los conceptos y resultados de análisis econométricos basados en producción agrícola total (TFP), análisis por envoltura de datos (DEA) e índice de Malmquist para identificar naciones que en el periodo del 2020 al 2022 sirvan de ejemplo en términos de mantener su eficiencia productiva bajo contextos adversos como lo fue la pandemia de COVID. Los resultados son discutidos con un enfoque de sistemas complejos adaptativos.

INTRODUCCIÓN

Existen fenómenos globales cuyos efectos agregados en unidades de toma de decisiones son más frecuentes e inminentes tales como, los fenómenos climáticos extremos, las políticas económicas agresivas e impredecibles y las pandemias, entre otros. Estos riesgos de diferentes naturalezas tienen un impacto asimétrico a través de escalas de organización y dimensiones ecológicas, económicas y sociales sobre sistemas complejos, incluyendo los sistemas de producción y distribución de alimentos.

Cita: Figueroa-Campos L.A. 2025. Evaluación de la productividad, eficiencia y resiliencia de sistemas de producción de alimentos durante el periodo de COVID 19 (2020-2022): estudio de caso para regiones mundiales. *REMEVAL* 1(2): 180-200. <https://doi.org/10.63121/6yn6ey68>

Recibido:

7 Julio, 2025

Aceptado:

2 Agosto, 2025

Publicado:

29 Agosto, 2025

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license.



Para analizar el efecto de fenómenos globales sobre sistemas agroalimentarios y su resiliencia, el presente trabajo propone analizar la productividad de las naciones y discutir los resultados a partir de un enfoque de sistemas complejos. La resiliencia se plantea entonces en términos de eficacia productiva y capacidad de mantener dicha eficacia posteriormente a un fenómeno externo que disruptió con los planes y comportamientos habituales de las cadenas alimenticias, como lo fue la pandemia de COVID 19.

Se asume que la resiliencia es un atributo intrínseco de los sistemas que, en este caso, refleja la continuidad de un comportamiento agregado. Sin embargo, siendo que no hay un planteamiento universal sobre este concepto, el presente trabajo sugiere una manera de cuantificar indirectamente este atributo de los sistemas al integrar herramientas de análisis econométrico.

El objetivo general del presente trabajo es analizar desde una escala nacional, la eficiencia en productividad de actividades del sector agrícola en diferentes regiones del mundo, con énfasis en la región de Latino América, pero integrando al estudio Norte América, Asia, Europa y Oceanía, durante el periodo 2020 a 2022, a través de tres herramientas de análisis econométrico: en primer lugar, una visualización general del indicador de Productividad Agrícola Total (TFP), en segundo, un análisis de envoltura de datos (DEA) y, por último, un análisis de Malmquist, con el fin de identificar las regiones y países que muestran mayor resiliencia posterior a COVID-19.

METODOLOGÍA

A continuación, se hace una breve descripción de las herramientas conceptuales utilizadas para el análisis de productividad y eficiencia, así como referencia a la base de datos donde se ha recopilado la información de las diferentes naciones que se ha utilizado para la investigación. También se mencionan las fuentes literarias utilizadas como referencia para la discusión de los resultados.

El reporte de Productividad Agrícola Internacional mide la productividad agrícola mediante el indicador de Productividad Agrícola Total (TPF). Este compara la proporción del total de productos de actividades agrícolas con los insumos combinados usados en su producción de tierras, labor humana, capital, y recursos materiales empleados en la producción en campo. La mayoría de la información usada para desarrollar los indicadores proviene de FAOSTAT, integrando también información de otras múltiples bases de datos (*Department of Agriculture, U.S.*, 2025). En (a) se describe el cálculo del indicador, definido como una proporción de salidas (productos) y entradas (insumos):

$$TFP = \frac{Y}{X} \tag{1}$$

Productividad Agrícola Total o *Total Factor Productivity* (*Department of Agriculture, U.S, 2025*).

$$\ln\left(\frac{TFP_t}{TFP_{t-1}}\right) = \sum_i R_i \ln\left(\frac{Y_{it}}{Y_{it-1}}\right) - \sum_j S_j \ln\left(\frac{X_{jt}}{X_{jt-1}}\right) \quad 2)$$

Diferencia ponderada de valor(costos)-participación entre el total del crecimiento de productos con el total de crecimiento de insumos (*Department of Agriculture, U.S, 2025*).

$Y =$ Total de productos

$X =$ Total de insumos

$R_i =$ participación en los ingresos del i -ésimo producto

$S_j =$ participación en los costos del j -ésimo insumo

El crecimiento total de la producción se estima sumando las tasas de crecimiento de cada producto, ponderadas por su participación en los ingresos, representado en la f(2), es la diferencia ponderada de valor-participación entre el total del crecimiento de productos con el total de crecimiento de insumos. Estas tasas de crecimiento son usadas para estimar el índice anual, donde el año base t tiene un valor de 0. Si el total de los productos crece más rápido que el total de los insumos es llamado una mejora en la productividad por factor total (*Department of Agriculture, U.S, 2025*).

Ahora, son múltiples los productos e insumos que componen las actividades agrícolas en su conjunto, también, se asume mercados competitivos en equilibrio, donde la tecnología subyacente es representada por funciones de producción de rendimientos constantes a escala, por lo que las mejoras tecnológicas tienen un efecto “positivo” en el rendimiento, también se asume que un producto agrícola i tendrá su elasticidad definida por la participación de un insumo j en su costo para cada insumo presente. (*Department of Agriculture, U.S, 2025*).

Estas tasas de crecimiento de Productividad Agrícola Total (TPF) son comparadas para generar el Índice TPF, que tiene como base el año 2015, desde su última actualización en 2024, asignado un valor de 100, por lo que, un valor de 115 en el año 2020 sería un aumento del 15% en el TFP en relación con 2015. Este incremento en eficiencia técnica es conducido por cambio del conjunto de tecnologías disponibles, extensión y educación, acceso al mercado y reformas institucionales, derivado de políticas públicas.

En este contexto, y con el fin de proporcionar un análisis e interpretación válido, los valores del TFP son referenciados al 2020, por lo tanto, se asume que:

El Valor del índice en el año t asignando una puntuación de 100 al año 2020 se calcula como:

$$\text{TFP Index}_t^{\text{base 2020}} = \frac{\text{TFP}_t}{\text{TFP}_{2020}} \times 100 \tag{3}$$

y

$$\text{TFP}_t = \text{TFP Index}_t^{\text{base 2015}} \times \left(\frac{\text{TFP}_{2015}}{100} \right) \tag{4}$$

Valor en el año t , asignando una puntuación de 100 al año 2015 al índice.

$$\text{TFP Index}_t^{\text{base 2020}} = \frac{\text{TFP Index}_t^{\text{base 2015}}}{\text{TFP Index}_{2020}^{\text{base 2015}}} \times 100 \tag{5}$$

Despeje del índice de Productividad Agrícola Total para el año 2020 con un valor de 100.

De tal manera que se generan nuevos valores, por región, de TFP con base al año 2020, dadas en las (c), (d) y (e), estos son estructurados como un panel de datos para un análisis estadístico descriptivo.

Posteriormente, se realizó un análisis por envoltura de datos (DEA) para evaluar e identificar aquellos países en el continente América, Oceanía, Europa y Asia que definen una frontera de eficiencia al tener una puntuación de =1, la cual sirve como referencia para países “ineficientes” (Coelli, *et al.*, 2005), la puntuación se obtiene al estimar la mínima distancia para acercarse lo más posible a sus virtuales versiones eficientes, *theta*. Este procedimiento fue realizado para el año 2020, 2021 y 2022. En grandes rasgos, consiste en definir entradas (insumos) y salidas (productos rentables) para generar una frontera de eficiencia establecida por unidades de toma de decisiones (en este caso países), para cada año, por medio de un planteamiento de optimización lineal. Se realizó un análisis orientado a entradas, con un enfoque constante retorno a escala (CRS), también con retorno variable a escala (VRS) para finalmente, estimar la eficiencia a escala (SE).

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \tag{6}$$

Planteamiento del problema linear DEA, con retorno constante de escala, orientado a salidas (Coelli, *et al.*, 2005).

Donde x es la cantidad de insumos, y la cantidad productos, i es el índice de los insumos, r el índice de los productos, j el índice de unidades de toma de decisión, en este caso países. θ es la puntuación de eficiencia, se refiere al porcentaje total de insumos que son necesarios para generar la misma cantidad de productos, mientras que el porcentaje de posible reducción (mejora en procesos) de insumos para cada unidad de toma de decisión es $1-\theta$. λ es el peso asignado a cada unidad de decisión j que sirve de referencia a las unidades de decisión más ineficientes y que tienen valores similares en términos de escala/eficiencia (Coelli, *et al.*, 2005).

Para el modelo con retorno variable a escala (VRS) se agrega una limitación más al problema de optimización, la cual fuerza los valores de referencia a la hora de generar la frontera a tener como 1 el valor de la suma total ($\sum \lambda_j$), esto controla el tamaño a escala a diferencia de CRS de acuerdo con Thanassoulis, 2001, quien también describe la eficiencia de escala como:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \tag{7}$$

Limitación agregada al problema linear para plantear un retorno variable de escala (VRS)

“...mide la divergencia entre la puntuación de eficiencia (θ) de una DMU bajo CRS y VRS respectivamente...cuanto mayor sea la divergencia entre las calificaciones de eficiencia de VRS y CRS, menor será el valor de la eficiencia de escala y más adverso el impacto del tamaño de escala en la productividad” (Thanassoulis, 2001:140) f(8).

$$SE_o = \frac{\theta_o^{CRS}}{\theta_o^{VRS}} \tag{8}$$

Cálculo de la eficiencia de escala (Scale Efficiency).

El problema linear de optimización es resuelto en *RStudio*, usando la paquetería *Benchmark*, la cual a su vez utiliza la paquetería *lpsolve* para resolver el problema, utilizando un algoritmo *simplex*.

La variable establecida como el producto total (y) es definida como el valor bruto de la producción agrícola de cultivos, ganado y acuicultura multiplicado por \$1000 a precios constantes de 2015. Las variables usadas (**Cuadro 1**) como insumos (J), esta

Cuadro 1. Descripción de las variables usadas como insumos para el análisis por envoltura de datos (DEA) y el análisis de Malmquist, fuente: Department of Agriculture, U.S, 2025.

Insumo	Descripción
Tierra	Superficie agrícola ajustada por calidad, tierras de cultivo regadas con lluvia.
Tierra de cultivo	Total de tierras de cultivo (incluidas tierras cultivables y tierras con cultivos permanentes)
Tierra irrigada	Área total con equipo de irrigación
Pastizales	Superficie total de pastos permanentes
Labor	Número de trabajadores en sectores agrícolas
Capital	Valor del stock de capital neto, \$1000 a precios constantes de 2015
Fertilizante	Nutrientes totales de nitrógeno (N), fósforo (P2O5) y potasio/potasa (K2O) de fertilizantes inorgánicos y N de fertilizantes orgánicos aplicados a los suelos
Alimento para producción animal	Energía metabolizable total de alimentos para animales, M Cal

Fuente: Elaboración propia.

información es parte de la base de datos con la que se calculó el TFP, en la misma se puede consultar las fuentes de información y explicación de las unidades.

El componente final del presente trabajo consiste en un análisis de Malmquist (i) para periodos adyacentes, este *“mide los cambios de productividad a través del tiempo y puede ser descompuesto con un enfoque no paramétrico parecido a DEA...representa cambios de eficiencia y cambios tecnológicos”* (Lee, 2011:1). Se utilizó un modelo de retorno variable a escala para tomar en cuenta las diferencias en área de los países.

$$\text{MPI}_{t,t+1}^I(x_t, y_t, x_{t+1}, y_{t+1}) = \underbrace{\frac{D_{t+1}^I(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_t^I(x_t, y_t)}}_{\text{Efficiencychange}(EC)} \times \underbrace{\left[\frac{D_t^I(x_{t+1}, y_{t+1})}{D_{t+1}^I(x_{t+1}, y_{t+1})} \cdot \frac{D_t^I(x_t, y_t)}{D_{t+1}^I(x_t, y_t)} \right]^{1/2}}_{\text{Technicalchange}(TC)} \tag{9}$$

Estimación del índice de Malmquist, planteado como un cambio de eficiencia entre dos periodos adyacentes (Färe *et al.*, 1994).

Donde D_t^I es una función que tiene como resultado la distancia de una unidad de toma de decisiones (países en este ejercicio) en el periodo t , a la frontera de eficiencia, dados un conjunto de tecnologías, insumos y productos, (Färe *et al.*, 1994), este valor es una puntuación similar a theta, donde toma el valor de 1 si está en la frontera de eficiencia.

$$EC = \frac{\hat{\theta}_t + 1(x_t + 1, y_t + 1)}{\hat{\theta}_t(x_t, y_t)}, \quad TC = \sqrt{\frac{\hat{\theta}_{t+1}(x_t, y_t)}{\hat{\theta}_t(x_t, y_t)} \cdot \frac{\hat{\theta}_t(x_{t+1}, y_{t+1})}{\hat{\theta}_{t+1}(x_{t+1}, y_{t+1})}}, \tag{10}$$

Definición de cambio de eficiencia y cambio de la frontera tecnológica (Färe et al., 1994).

El cambio en eficiencia entre estos dos periodos adyacentes es conducido por dos componentes, cambio de eficiencia, que hace referencia a los recursos y tecnologías disponibles, y es que tan lejos o cerca se está de la frontera de eficiencia. El cambio de la frontera tecnológica hace referencia a los conjuntos de tecnologías disponibles en cada año y puede comprenderse como una contracción o expansión de la frontera (Chang y Ross, 2024, Färe et al., 1994). En este planteamiento, una mejora en la eficiencia puede ser explicada por que hubo más tecnologías disponibles o que se fue más eficiente con las tecnologías disponibles, lo que permitió mejores resultados en términos de cantidades de proporciones de insumos y productos obtenidos.

$$\text{MPI} = \text{EC} \times \text{TC}. \quad 11)$$

Simplificación del índice de Malmquist definido por el cambio de eficiencia y el cambio en la frontera tecnológica

En (1) se simplifica el índice, donde valores >1 indican crecimiento en productividad mientras que valores <1 un decremento; La definición y desglose formal del método usados como referencia son por Färe et al., 1994 y Chang y Ross, 2024. Para visualizar la aportación de cada componente del índice se descompone la multiplicación para generar una visualización aditiva.

$$\underbrace{\text{MPI} - 1}_{\text{totalchange}} = \underbrace{(\text{EC} - 1)}_{\text{catch-up}} + \underbrace{(\text{TC} - 1)}_{\text{frontiershift}} + \underbrace{(\text{EC} - 1)(\text{TC} - 1)}_{\text{interaction}}.$$

12)

Visualización aditiva del aporte de cada componente al indicador.

Para el análisis de Malmquist se usaron en la comparación regional, un conjunto con todos los países con datos disponibles en las regiones seleccionadas, para la comparación intrarregional se usaron subconjuntos por región.

Con el fin de realizar una discusión de los resultados finales dentro un contexto ya establecido y más amplio de análisis con planteamientos teóricos aplicables sobre resiliencia de sistemas complejos adaptativos, se utiliza como referencia conceptos establecidos en el marco de evaluación para sistemas alimentarios ABCD (Agencia, Buffer, Conectividad y Diversidad) (Fonteijn et al., 2022), Análisis de Sistemas complejos adaptativos (Carmichael y Hadzikadic, 2019, Cumming, 2011, Adger et al., 2005),

Resiliencia de socio ecosistemas (Folke, 2006), Ciclos adaptativos y Panarquía (*Resilience Alliance - Panarchy*, n.d., Meuwissen *et al.*, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, se presentan visualizaciones de los resultados obtenidos, la sección está semi estructurada, comparando los datos interregional e intrarregional, primeramente, de los valores de la Productividad Agrícola Total, luego los resultados del análisis por envoltura de datos, los resultados del análisis de Malmquist y finalmente una correlación entre los tres.

En términos del cambio en referencia al año 2020 en el valor bruto de la producción agrícola de cultivos, ganado y acuicultura, Oceanía presenta los mejores rendimientos, seguido por Latino América y Asia (Figura 1).

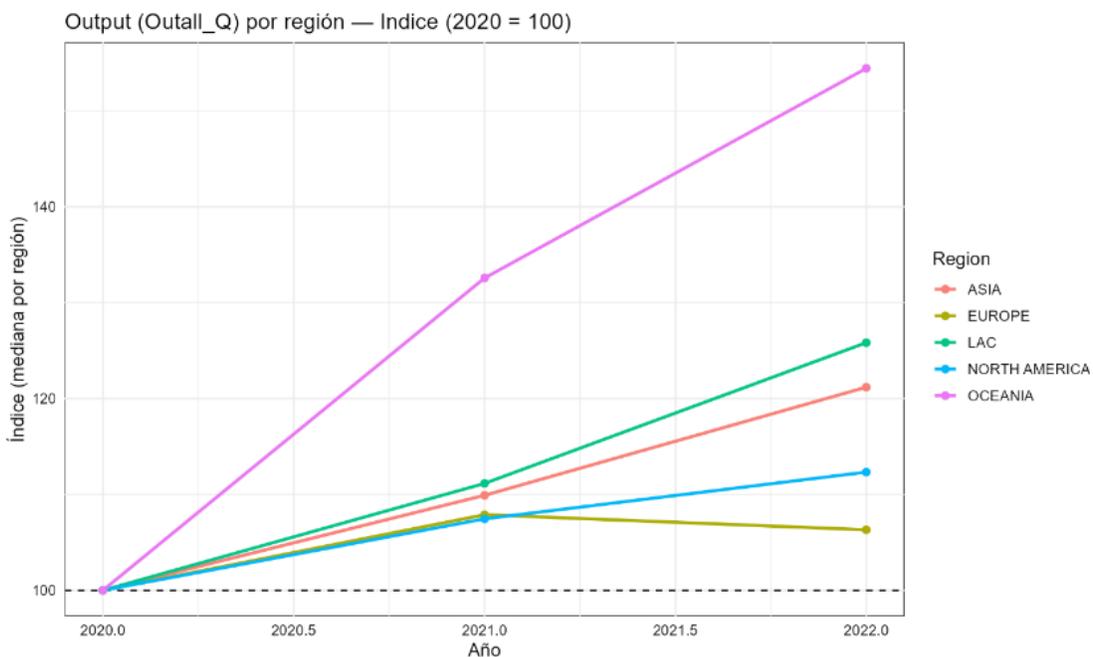


Figura 1. Valores de la variable Output (valor bruto de la producción total agrícola base 2020).

Dado que en un sistema complejo hay variables de cambio cualitativo rápido y lento, la variabilidad en el comportamiento en un lapso relativamente corto (2020 a 2022) puede ser atribuido a las variables e interacciones de cambio rápido, y a que la respuesta de instituciones suele ser cuando fenómenos impactan el diario vivir de la sociedad (*Resilience Alliance - Panarchy*, n.d., Folke, 2006) por ejemplo, asumiendo que

hubo más cambios en las cantidades y/o precios de fertilizantes, alimentos para ganado y valor del capital, su efecto en la eficiencia de procesos, tanto en la incertidumbre para la planeación estratégica como cuestiones operativas en lapsos más cortos de acción, tendrá mayor impacto en el conjunto de tecnología disponible y posiblemente en la eficiencia técnica en uso de los recursos, que los tamaños o tenencias de las áreas de producción, así como cambios drásticos institucionales.

En este caso, “El crecimiento de la Productividad Total de los Factores (TFP) refleja la capacidad de producir más con menos: mayor producción con un conjunto determinado de insumos” (Bureau y Antón, 2022: p. 4) debido a que, en este caso, el indicador usa un año de referencia para evaluar el cambio a través del tiempo, es interesante ver los cambios antes y después del 2020; en este sentido, se observa el impacto en la tendencia del comportamiento en la eficiencia a escala regional, donde inicialmente resalta Oceanía con valores altos en el indicador tanto previo como posterior al 2020. Latino América y Norte América presentan valores de TFP menores al año de referencia tanto previa como posteriormente sin llegar a recuperarse (Figura 2).

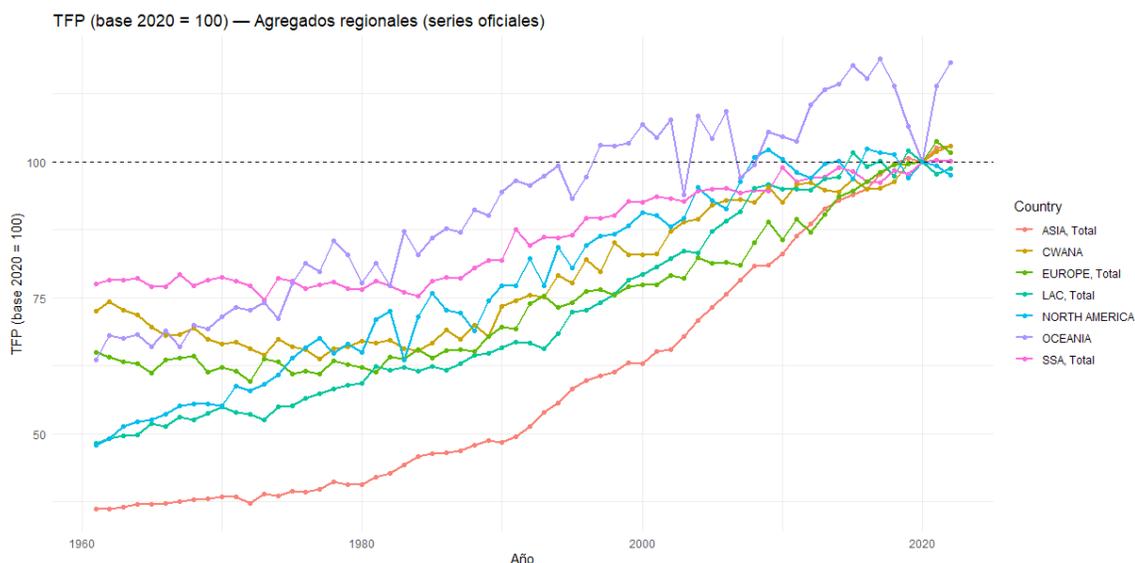


Figura 2. Serie de tiempo de 1961 a 2022 con valores de Productividad Agrícola Total (TFP) base 2020.

En referencia a los insumos, si bien se presenta usualmente como segundo lugar, Oceanía no resalta por tener valores tan altos como Norte América, únicamente en la superficie total de pastos permanentes (Pasture_Q), sin embargo, su valor bruto de la producción total (Output_Q) y valor en Productividad Agrícola Total muestran resiliencia en términos de mantener sus capacidades productivas eficientes o mejoramiento tecnológico a través del proceso de manejar el COVID-19, dado que para

2022, se acercaron a sus valores máximos en 2017, aun cuando hubo un declive previo al año 2020.

Como se observa en la **Figura 3** algunos países aumentaron sus valores del indicador. En Latino América se observa que Perú, tuvo un aumento de 110.15 en 2021 y 118.66 en 2022, siendo el mayor valor en el índice de productividad agrícola total durante los dos años del análisis, siendo Ecuador, República Dominicana y Suriname quienes se mantuvieron en el top 5 durante los dos años de análisis.

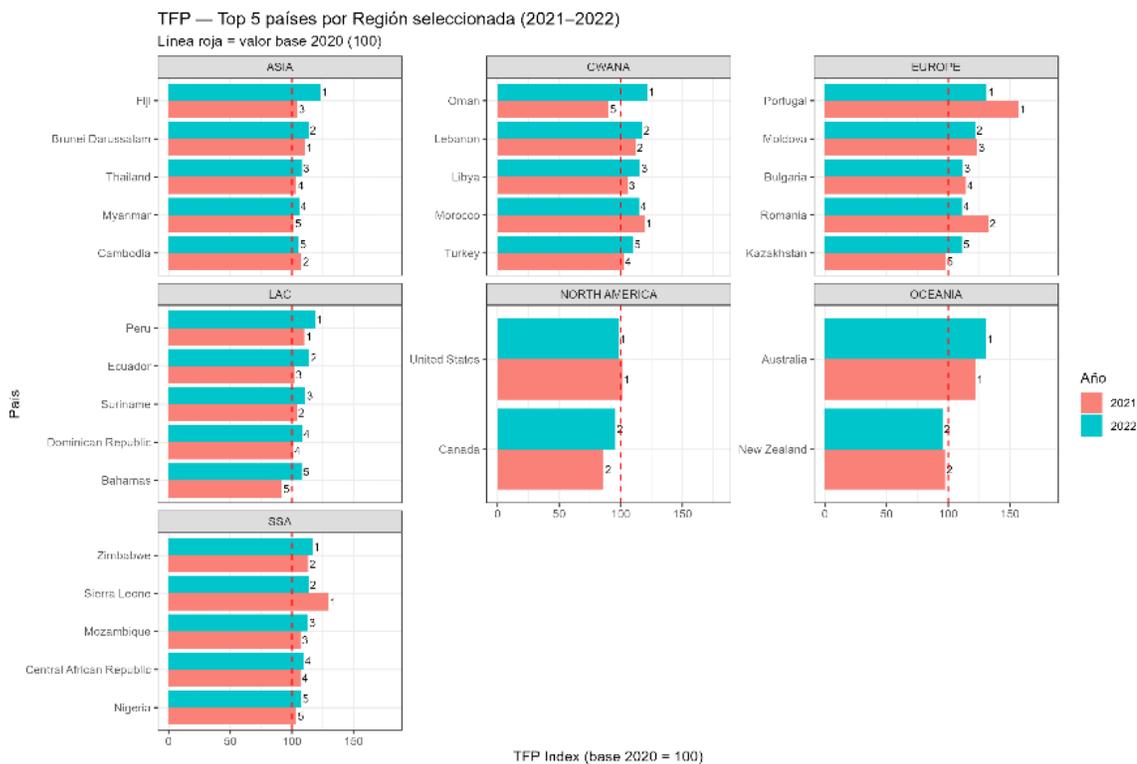


Figura 3. Los 5 países con valores más altos en Productividad Agrícola Total 2021 y 2022.

Brunei, Fiji, Oman, Marruecos, Portugal, Moldavia, Romania, Perú, Sierra Leone y Zimbawe son las mejores referencias para sus respectivas regiones en términos de reducir los costos de producción, debido a que su crecimiento en el indicador implica, ya sea un mejoramiento en la eficiencia de los procesos o un mejoramiento en el conjunto de tecnologías (o ambas), lo cual deriva en menor cantidad o costos de los insumos (Bureau y Antón, 2022).

Oceanía y Norte América representan, en esta base de datos, grandes áreas, pero únicamente dos gobiernos, sin embargo, ambos tienen valores bajos, indicando un impacto en su capacidad para mantener procesos posteriores al COVID-19. Al

contrastar con los resultados de la descomposición aditiva del MPI (Figura 8), observamos que hay un cambio negativo en la frontera tecnológica, puede ser por la pérdida de mano de obra u otros insumos disponibles que se redujo el conjunto total de posibles insumos.

Los siguientes son resultados del análisis por envoltura de datos, particularmente los valores de eficiencia de escala. El promedio presentado en la Figura 4 es resultado de las diferencias tecnológicas y de eficiencia de procesos entre países de estas regiones, en Latino América, Asia y Europa, es mayor la cantidad de países y por lo tanto el promedio es más sensible a valores extremos.

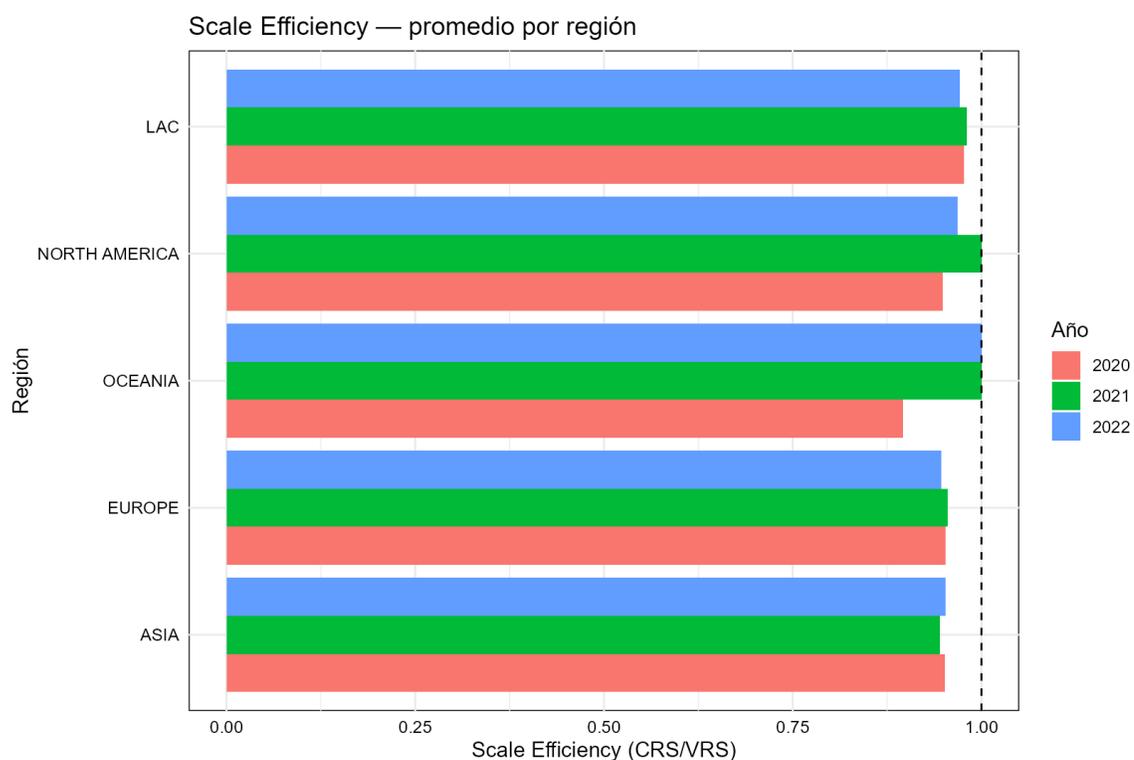


Figura 4. Promedio de la puntuación en eficiencia de escala (SE) de los países que componen cada región.

En términos de eficiencia de escala (SE), Oceanía es parte del conjunto que define la frontera en el año 2021 y 2022, durante este periodo los países de esta región operaron óptimamente en su escala más productiva (Aparicio y Santín, 2025), por lo que refuerza la interpretación de un retorno a su capacidad y eficiencia de producción previa al 2020, dados los conjuntos tecnológicos de producción disponibles en cada año considerando retornos a escala al igual que Norte América en el año 2021.

Para aquellas naciones que tienen valores <1 esto implica haber posibilidad de mejora en el uso de sus recursos (Figura 5). Coinciden valores =1 con los países identificados en el ranking de TFP en las regiones analizadas, sin embargo, Perú presenta en los tres años valores menores a 1, no operando en una escala óptima, fue capaz de mejorar su capacidad para producir la misma cantidad con menos insumos en los siguientes años.

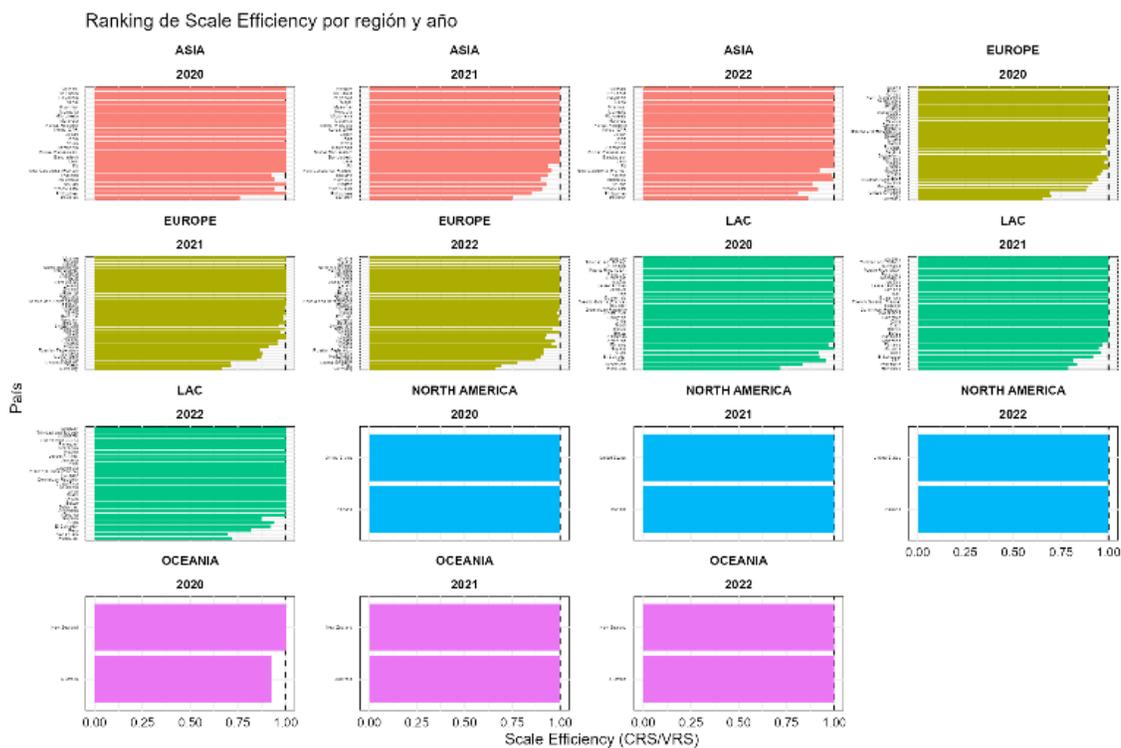


Figura 5. Puntuación obtenida por país en eficiencia de escala (SE).

Resultados del análisis de Malmquist

El ranking presentado en la Figura 6 se realizó con el conjunto de todos los países. Latino América y Europa toman el ranking 1 en el periodo 2020 a 2021 y 2021 a 2022 respectivamente, Asia tiene el número 2 en el año 2020 a 2021 y LAC en el segundo periodo. En esta narrativa indica la presencia de mecanismos de retroalimentación entre escalas de organización que manejaron los cambios e impactos asimétricos sobre las variables de cambio “rápido” en las cadenas de suministros, particularmente aquellos procesos lineales y no lineales que impactaron niveles de producción y precio

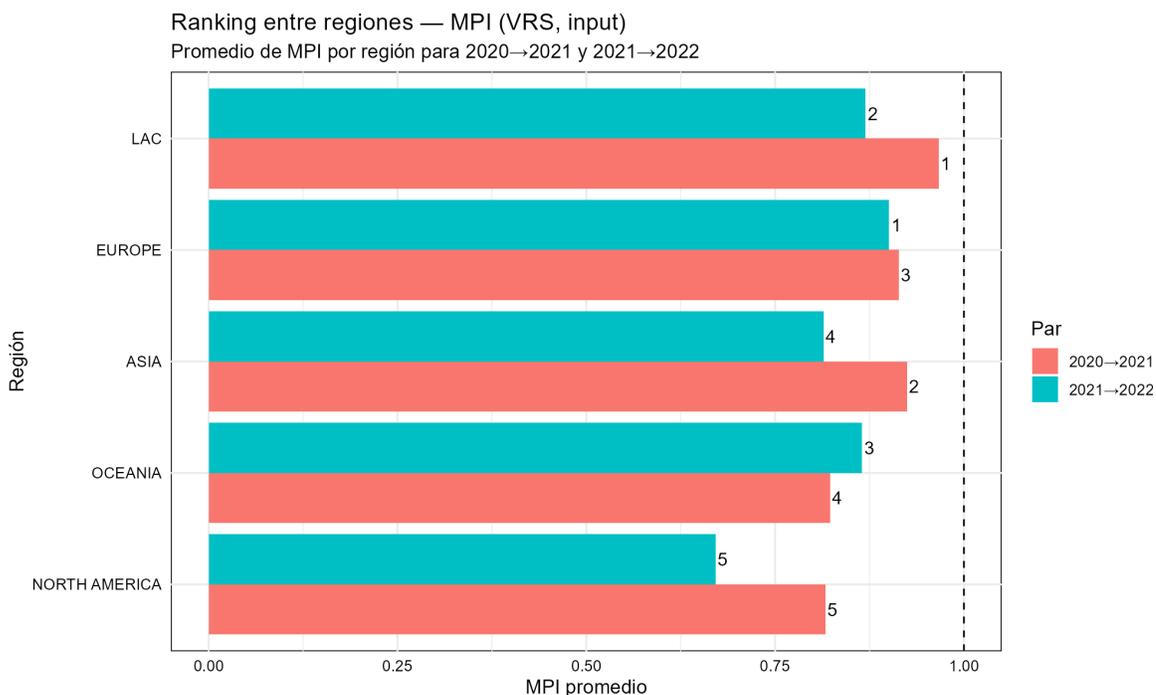


Figura 6. Puntuación promedio del indicador de Malmquist de los países que componen cada región.

en finca, logrando incrementar la eficiencia en su producción total después del impacto producido en 2020.

Este ranking se realizó con subconjuntos por región (Figura 7). En Latino América, Bahamas, Cuba y Guana resaltan en el periodo 2020 a 2021, Honduras y Paraguay en el periodo 2021 a 2022. Los demás países presentan valores menores a 1, de acuerdo con el indicador, esto es una disminución en la eficiencia de su productividad total agrícola, posterior a 2020, pudiendo ser que tenían valores altos previamente y hubo una reducción del conjunto de tecnologías disponible, o posible declive en la eficiencia técnica del uso de los recursos, ilustrado como un distanciamiento de la frontera de eficiencia.

En Norte América, únicamente Canadá en el periodo 2020 a 2021 presenta un valor mayor a 1, habiendo un valor menor a 1 en ambos periodos en Estados Unidos y los países de Oceanía. En Asia, Mongolia, Micronesia, Tímones del Este y Bangladesh presentan valores mayores a 1 en el periodo 2020 a 2021, en el siguiente periodo, este es el caso únicamente para Sri Lanka y Bután, que mantuvo durante ambos periodos sus valores en 1.

En Europa, durante el periodo 2020 a 2021, Croacia, Estonia y Eslovenia presentan valores mayores a 1, Eslovaquia y Finlandia mantienen un valor igual a 1. En el siguiente periodo son muchos más los países que presentan mejoras en la eficiencia de su producción agrícola total, incluyendo a Hungría, España, Suecia, Ucrania y Rumanía, con Albania manteniendo su valor igual a 1.

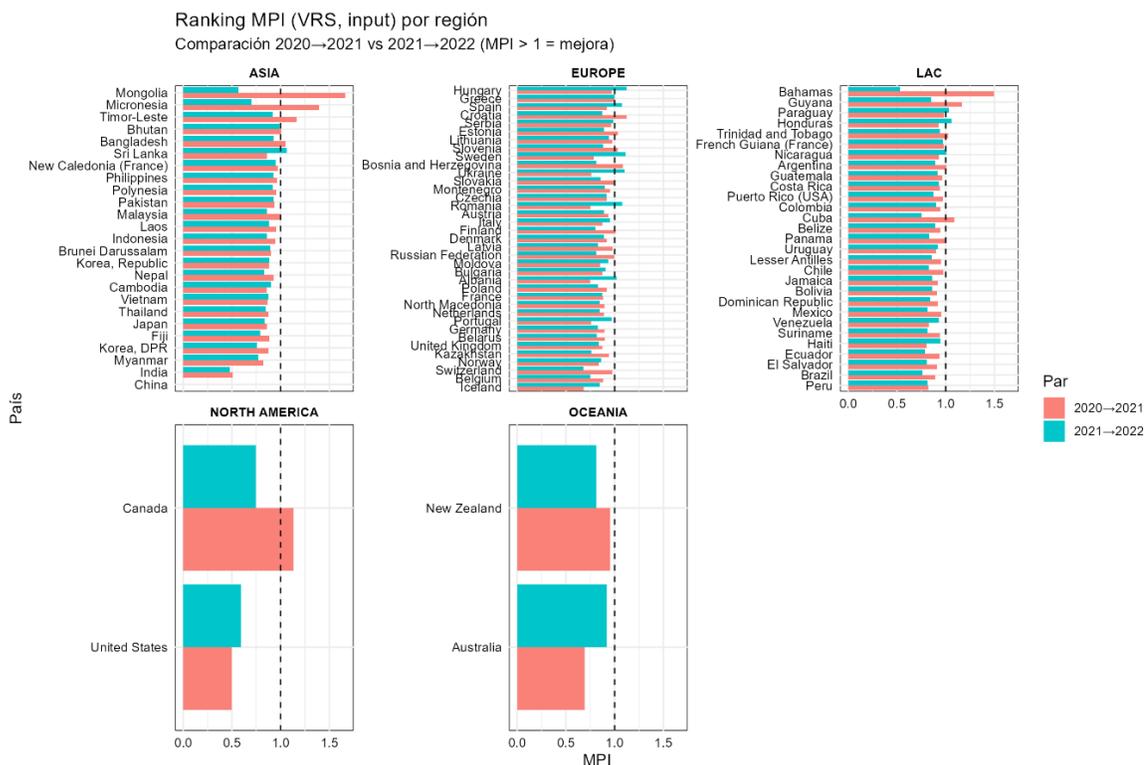


Figura 7. Puntuación obtenida de cada país en el índice de Malmquist.

En la Figura 8 se visualizan los países con mayor valor en el indicador de Malmquist, siendo este ranking particularmente útil para Latino América, Asia y Europa, y se descompone al atribuir el crecimiento a un componente determinado por un conjunto de tecnologías disponibles y otro por eficiencia técnica.

Para el caso de Latino América, el mayor crecimiento fue durante el periodo 2020 a 2021, atribuido mayormente en Bahamas y Guyana por un incremento en la frontera tecnológica y por lo tanto una mayor disposición de tecnologías que permitieron una producción más eficiente (con mayor costo-beneficio). Cuba tiene mayormente su incremento atribuido a lograr ser más eficientes con el mismo conjunto de tecnologías, acercándose más a la frontera de eficiencia. En el periodo 2021 a 2022 hubo pocos cambios relativos a la contribución aditiva, todos relacionados a la disponibilidad y uso de conjuntos de tecnologías, pudiendo ser por una irrupción en las cadenas de suministros que contrajeron la frontera al haber menos tecnología disponible (ej.- tipos de agroquímicos, piezas industriales, trabajadores, etc...).

Similarmente en Asia, en el periodo 2020 a 2021, el incremento en los países mencionados es atribuido a mayor disponibilidad y uso de tecnologías en el periodo 2020 a 2021, particularmente para Mongolia y Micronesia, durante el siguiente periodo

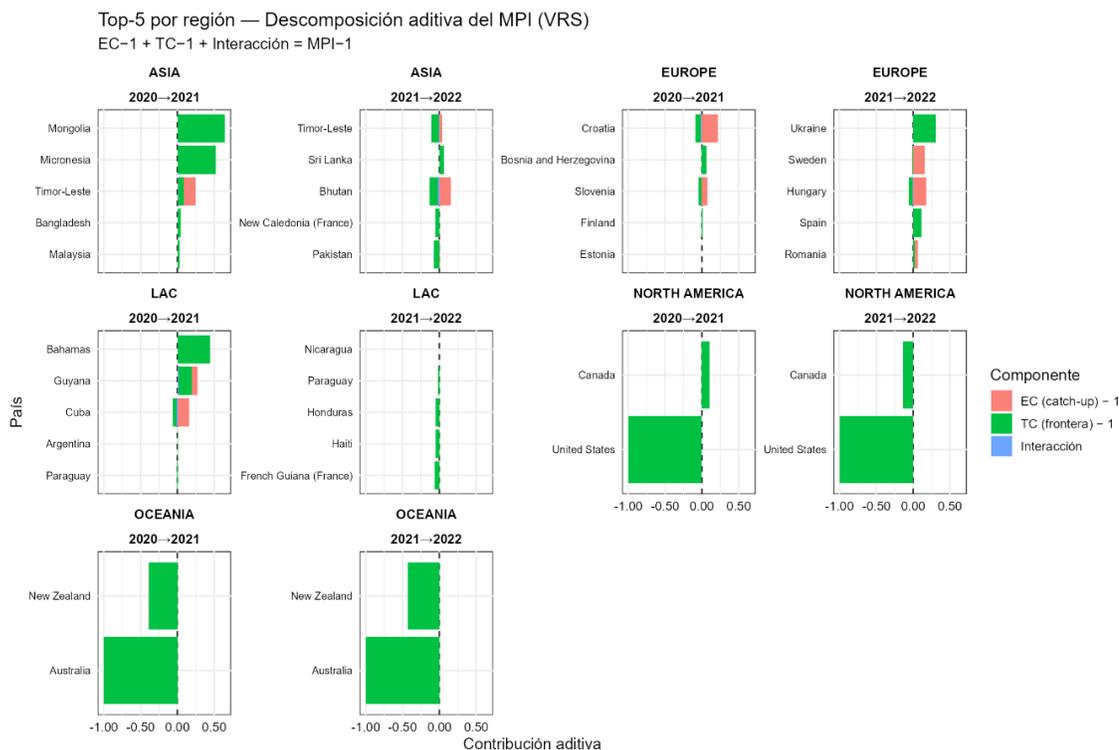


Figura 8. Descomposición aditiva del índice de Malmquist

el mayor incremento es atribuido a una mejora en la eficiencia del uso de los recursos y tecnologías disponibles.

En Europa, el mayor incremento en el periodo 2020 a 2021 es mayormente atribuido a un mejoramiento en la eficiencia, particularmente en Croacia, mientras que en el siguiente periodo 2021 a 2022, Ucrania resalta por un incremento atribuido a el subconjunto de tecnologías, siendo este menor en España, mientras que en Suecia y Hungría el incremento es atribuido a mejorar la eficiencia.

Estos análisis son realizados con fronteras regionales generadas por los subconjuntos de datos, por lo que, cuando se define estas fronteras de eficiencia y el cambio relativo en ellas, por el conjunto de tecnologías disponibles, es en relación con los países que componen esa región, “estas medidas capturan el desempeño en términos de las mejores prácticas definidas por la muestra” (Färe et al., 1994:78).

Coherencia en los resultados obtenidos por las 3 herramientas de análisis:

Una posibilidad de la correlación negativa (Figura 9) entre TFP y MPI (también en Eficiencia de escala y MPI en menor medida) es que los países con una productividad total agrícola alta y que tienden a producir en su escala optima tienen incrementos

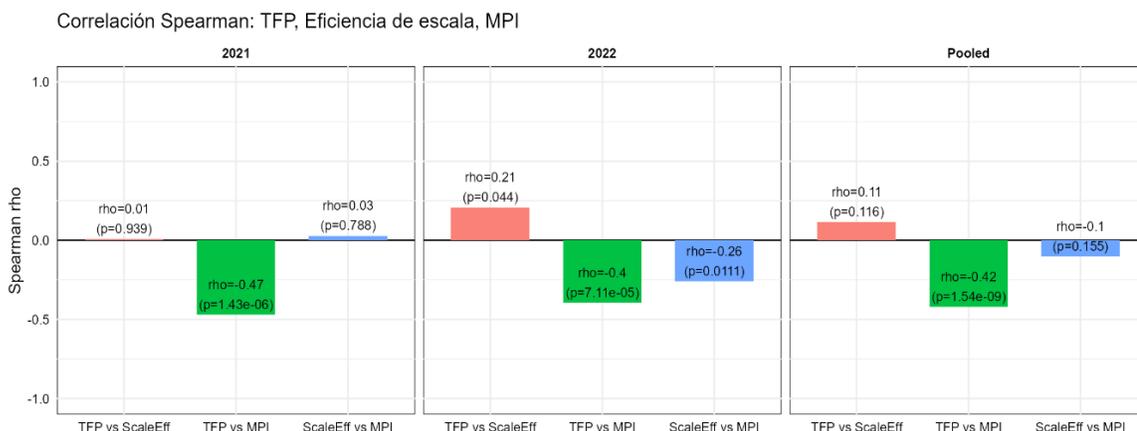


Figura 9. Resultados de la correlación de Spearman.

relativamente pequeños, coincidiendo con Farnoukdia, 2023: “ puede atribuirse a que, si un país ha alcanzado el desarrollo en un año determinado, se vuelve cada vez más difícil lograr un mayor desarrollo en el año siguiente... si un país ha experimentado un deterioro en un año determinado, resulta comparativamente más fácil lograr el desarrollo en el año siguiente mediante cambios menores.” (Farnoukdia, 2023: 3070)

La correlación positiva presentada entre TFP y escala de eficiencia, particularmente en el año 2022, coincide en una relación monótonica entre operar en una escala óptima e incrementar la productividad total agrícola, siendo que se busca acercarse a usar la óptima cantidad posible de recursos y tecnologías disponibles de una manera eficiente (SE), podría haber una correlación más puntual con un incremento en la eficiencia técnica.

Factores que determinan el incremento en TFP hacen referencia a los componentes del índice de Malmquist, directamente como es el cambio del conjunto de tecnologías disponibles (expansión de la frontera) o en extensión y educación y acceso al mercado, que refiere indirectamente a eficiencia técnica (acercamiento a la frontera) (Department of Agriculture, 2025, Färe et al., 1994). Estos tienen impactos en procesos operativos y planeación estratégica, pero aún en el alcance de actores relacionados directamente con el sector agrícola, mientras que reformas institucionales derivadas de políticas públicas, que no necesariamente ocupan están relacionados al sector, pueden tener un efecto más amplio, más asimétrico y no lineal sobre la productividad de los sectores agrícolas.

A continuación, se describe detalladamente la región de Latino América al comparar los valores de los países que presentaron las puntuaciones más altas en Productividad Agrícola Total (Cuadro 2) y el índice de Malmquist (Cuadro 3) durante el año 2021 y 2020, esto para resaltar los ejemplos de resiliencia en términos de aumentar y/o mantener su TFP y el cambio en productividad entre los periodos 2020 a 2021 y 2021 a 2022.

Cuadro 2. Comparación de los resultados para el top 5 en valores de Productividad Agrícola Total (TFP).

Rank	Country	TFP 2021	SE 2021	MPI 2020-2021	Country	TFP 2022	SE 2022	MPI 2021-2022
1	Perú	110.15	0.91	0.79	Perú	118.66	0.95	0.77
2	Haití	109.67	1	0.79	Ecuador	114.06	1	0.71
3	Bolivia	105.86	0.97	0.91	Suriname	110.87	0.92	0.84
4	El Salvador	105.63	0.99	0.90	República Dominicana	108.39	1	0.79
5	Belize	104.51	1	0.90	Bahamas	108.06	1	0.51

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. Comparación de los resultados para el top 5 en puntuación del índice de Malmquist.

Rank	Country	TFP 2021	SE 2021	MPI 2020-2021	Country	TFP 2022	SE 2022	MPI 2021-2022
1	Bahamas	91.88	1	1.44	Nicaragua	98.73	1	1.00
2	Guyana	85.09	0.90	1.27	Paraguay	76.62	1	0.98
3	Cuba	95.9	0.98	1.09	Honduras	95.21	0.71	0.95
4	Argentina	92.06	1	1.00	Haití	107.67	1	0.94
5	Paraguay	92.69	1	0.99	Guiana Francesa	99.09	1	0.93

Fuente: Elaboración propia.

Dado que la base de datos utilizada para este análisis agrega la información a un nivel nacional, se pueden definir las naciones entonces como sistemas complejos adaptativos, con un comportamiento de la condición del sistema (en este caso TFP, SE y MPI) dentro de un régimen de atracción que involucra interacciones a través de escalas de organización públicas y privadas, en dimensiones económicas (la agricultura como actividad económica), sociales (dados los impactos del COVID-19 sobre la salud) y ecológicas (considerando el manejo del suelo y insumos de recursos renovables), estas interacciones son no lineales pero generan dependencia de caminos, capturando procesos y mecanismos con patrones distinguibles entre sí y caracterizables. Si bien los datos hacen referencia directamente a los insumos y productos en términos de masas y costos, las interacciones implícitas justifican un acercamiento de sistemas complejos adaptativos para su análisis (Folke, 2006, Carmichael y Hadzikadic, 2019).

Es intuitivo querer identificar las políticas públicas y prácticas (o procesos y patrones identificables) realizadas en las múltiples escalas de organización que permitieron a estos países ser resilientes y mantener o aumentar su productividad y eficiencia a través de este periodo en crisis sanitaria, no solo con productores primarios pero también el sector industrial y de comercialización, afectados, en gran medida por las estructuras institucionales, regulaciones e interacciones de poder, así como capacidad

de monitoreo y acción de los múltiples actores, tanto pequeños productores como grandes empresas públicas que dirigen la dirección de la adaptación, siendo que una mejora en términos econométricos no necesariamente implica una distribución justa de las ganancias o manejo sustentable de los recursos implicados en la producción. “*Un sistema de manejo para un recurso natural tiene múltiples escalas y que deber ser manejado en diferentes escalas simultáneamente*” (Adger et al., 2005:1)

Un acercamiento es caracterizar los grupos demográficos, actores y sistemas que componen el sector agrícola e identificar los mecanismos de retroalimentación formales (e informales) presentes relacionados al género, estatus social, grado de educación y oportunidad de educación (Agencia), capacidad de ahorros, cantidad de ahorros, parámetros estadísticos relacionados a capacidades financieras (Buffer), redes de comerciantes, distancias a mercados, porcentaje de insumos intercambiados entre quienes (Conectividad), actividades económicas no agrícolas, tipo de sistema de producción o industrialización (Diversidad). Las propiedades de Agencia, Buffer, Conectividad y Diversidad son propuestas en el enfoque ABCD para evaluar la resiliencia de sistemas de alimentos (Meuwissen et al., 2019, Fonteijn et al., 2022).

La presencia de estos mecanismos de retroalimentación, cuantificándoles a través del tiempo y en interacciones horizontales y verticales en las escalas de organización públicas y particulares pueden ayudar a identificar los diseños y configuraciones de políticas, infraestructura y capacidades de los agentes que, en interacciones no lineales pero con una dependencia de caminos registrable, se correlacionan con resiliencia. De esta manera, con un registro fiable, los cambios en regímenes de dominio derivados de fenómenos externos a nivel nacional pueden ser integradas como las decisiones o criterios de selección de las unidades de toma de decisión a estas opciones (u comportamientos emergentes no planeados, y por lo tanto importancia de tener Agencia en el sector agrícola), que, en un cambio correlacionado, generan adaptaciones que permiten mantener la eficiencia del sector agrícola, siendo la coherente limitación de esta categoría de análisis clave (Folke, 2006, Carmichael y Hadzikadic, 2019, Cumming, 2011).

De esta manera, resiliencia es propuesta en este trabajo como cuantificable indirectamente en términos de mantener o aumentar la eficiencia; debido a que este atributo es intrínseco de los sistemas, ser eficiente es primeramente definido por las capacidades tecnológicas del sistema y posteriormente que tan óptimamente se usan esos recursos, esta última caracterización de optimización requiere comparación con sistemas con capacidades y escalas similares.

Metodológicamente, se puede correlacionar la presencia de propiedades de agencia, diversidad, conectividad y buffer con la productividad agrícola total o el índice de Malmquist, tanto individualmente y/o en múltiples configuraciones y valores, especialmente después de un evento externo que afecta negativamente y amenaza con un cambio en el régimen de dominio. Una caracterización de este tipo se justifica en

una nación como México, donde hay grandes diferencias en las escalas y capacidades de producción de los actores que componen el sector agrícola y toda su cadena de producción y valor.

Limitaciones del estudio

La base de datos utilizada para el análisis tiene sub conjuntos de datos de países que fueron estimados debido a la falta de información (*Department of Agriculture*, U.S. 2025), así como múltiples cambios y revisiones que le hacen sujeto a sesgos y errores. La información es altamente agregada e incorpora múltiples sectores, por lo que los resultados deben ser tomados con crítica.

El análisis DEA de escala de eficiencia (SE) como Malquemist (MPI) fue orientado a entradas, se asumió que los países buscaron mantener los niveles de productividad con los mismos o menos insumos debido a disrupciones en la cadena de suministros. Para el análisis de Malquemist regional se usaron subconjuntos regionales, mientras que la escala de eficiencia uso el conjunto total de los países para hacer una comparación que considere ejemplos interregionales, lo cual limita su comparación y hace abertura a un análisis comparativo de subconjuntos de datos.

La diferencia en complejidad en términos de toma de decisiones es evidente entre regiones y países del mundo, habiendo, por ejemplo, más países y por lo tanto más límites administrativos en Latino América que en Oceanía o Norte América; este punto no es considerado explícitamente en el análisis, se propone una posterior revisión de la correlación entre productividad, número de regímenes de gobierno y participación, para identificar mecanismos institucionales y políticas públicas que aportan resiliencia en términos de agencia, conectividad y diversidad (Fonteiñ *et al.*, 2022) abstraídas en variables e indicadores de índole social.

CONCLUSIONES

Se han identificado las regiones y países por región más resilientes, en términos de que mantuvieron y/o aumentaron su capacidad de conversión de insumos (eficiencia) en procedimientos y mejoramiento del conjunto de tecnologías disponibles durante el periodo 2020 a 2022, obteniendo diferentes resultados dependiendo de la herramienta de análisis.

En Latino América, de acuerdo con la producción agrícola total (TFP), Perú resalta por ser el país que estuvo presente en los 2 años, estando presente El Salvador y República Dominicana, Bolivia, Haití y Belize en los primeros lugares durante 2021 y 2022. En términos del índice de Malmquist, Paraguay se mantuvo en el ranking para el análisis de ambos periodos, en el cual también estuvo para 2021 Bahamas, Cuba, Argentina y en 2022 Nicaragua, Honduras y Haití.

Se estimó una correlación negativa entre la producción agrícola total (TFP) con el índice de Malmquist, una correlación negativa entre la eficiencia de escala (SE) y el índice de Malmquist y una correlación positiva entre la producción agrícola total (TFP) y la eficiencia de escala (SE), siendo coherente con las referencias bibliográficas consultadas.

Se identificaron y discutieron conceptos, enfoques y posibles metodologías que integran múltiples disciplinas con el fin de caracterizar y cuantificar la resiliencia, resaltando el enfoque de sistemas complejos adaptativos y ABCD, los cuales están estructurados coherentemente para su integración con enfoques econométricos.

LITERATURA CITADA

- Adger, W. N., Brown, K., y Tompkins, E. L. (2005). The Political Economy of Cross-Scale Networks in Resource Co-Management. *Ecology and Society*, 10(2). <https://www.jstor.org/stable/26267741>
- An introduction to efficiency and productivity analysis (with J. Coelli, T., Prasada, D. S., Battese, G., y O'Donnell, C.). (2005). New York : Springer. <http://archive.org/details/introductiontoef0000unse>
- Aparicio, J., y Santín, D. (2025). Global scale efficiency in data envelopment analysis. *International Transactions in Operational Research*, 32(5), 2474–2496. <https://doi.org/10.1111/itor.13501>
- Bureau, J. C., y Antón, J. (2022). Agricultural Total Factor Productivity and the environment: A guide to emerging best practices in measurement (OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers 177; OECD Food, *Agriculture and Fisheries Papers*, Vol. 177). <https://doi.org/10.1787/6fe2f9e0-en>
- Carmichael, T., y Hadzikadic, M. (2019). The Fundamentals of Complex Adaptive Systems (pp. 1–16). https://doi.org/10.1007/978-3-030-20309-2_1
- Cumming, G. S. (2011). Spatial resilience: Integrating landscape ecology, resilience, and sustainability. *Landscape Ecology*, 26(7), 899–909. <https://doi.org/10.1007/s10980-011-9623-1>
- DEPARTMENT OF AGRICULTURE, U. S. (2025). International Agricultural Productivity—Update and Revision History | Economic Research Service. Economic Research Service U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE. <https://www.ers.usda.gov/data-products/international-agricultural-productivity/update-and-revision-history>
- FAOSTAT. (n.d.). Retrieved August 3, 2025, from <https://www.fao.org/faostat/en/#search/agriculture>
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., y Zhang, Z. (1994). Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries. *The American Economic Review*, 84(1), 66–83.
- Farnoukdia, H. (2023). (PDF) Malmquist index evaluation of countries: 2000-2019. ResearchGate. <https://doi.org/10.1051/ro/2023118>
- Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. *Global Environmental Change*, 16(3), 253–267. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.04.002>
- Fontejn, H. M. J., Van Voorn, G. A. K., De Steenhuisen Pijters, C. B., y Hengeveld, G. M. (2022). The ABCD of food systems resilience: An assessment framework. <https://doi.org/10.18174/580782>
- Lee, C. (2011). Malmquist Productivity Analysis using DEA frontier in Stata. CHI11 Stata Conference, Article 21. <https://ideas.repec.org/p/boc/chic11/21.html>
- Meuwissen, M. P. M., Feindt, P. H., Spiegel, A., Termeer, C. J. A. M., Mathijs, E., Mey, Y. de, Finger, R., Balmann, A., Wauters, E., Urquhart, J., Vigani, M., Zawalińska, K., Herrera, H., Nicholas-Davies, P., Hansson, H., Paas, W., Slijper, T., Coopmans, I., Vroeghe, W., ... Reidsma, P. (2019). A

framework to assess the resilience of farming systems. *Agricultural Systems*, 176, 102656. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102656>

Resilience Alliance—Panarchy. (n.d.). Retrieved February 8, 2023, from <https://www.resalliance.org/panarchy>

Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis*. Springer US. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-1407-7>

The logo for REMEVAL, featuring the word "REMEVAL" in a blue, sans-serif font. The letter "e" is stylized with a yellow and orange gradient and a curved underline.