



**Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo**



**Instituto de Investigaciones  
Económicas y Empresariales**

**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

Factores determinantes de la eficiencia en la industria manufacturera  
de las economías del APEC, 2000-2022. Un estudio a través del  
DEA radial y no radial con variables ambientales

**TESIS**  
**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:**  
**MAESTRA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

Presenta:  
**I.G.E. Erika Andrea Ruiz Reyes**

Director de tesis:  
**Dr. José César Lenin Navarro Chávez**

Morelia, Michoacán, agosto de 2025

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

**ACTA DE REVISIÓN DE TESIS**

En la Ciudad de Morelia, Mich., el día 11 de agosto de 2025, los miembros de la Mesa de Sinodales designada por el H. Consejo Técnico del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (ININEE) de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), aprobaron presentar el examen de grado la tesis titulada:

**“FACTORES DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA INDUSTRIA  
MANUFACTURERA DE LAS ECONOMÍAS DEL APEC, 2000-2022. UN ESTUDIO A  
TRAVÉS DEL DEA RADIAL Y NO RADIAL CON VARIABLES AMBIENTALES”**

Presentada por la alumna:

***ERIKA ANDREA RUIZ REYES***

Aspirante al grado de **MAESTRA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**. Después de haber efectuado las revisiones necesarias, los miembros de la Mesa de Sinodales manifestaron SU APROBACIÓN DE LA TESIS, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

**LA MESA DE SINODALES**

*Director de la Tesis*

**DR. JOSÉ CÉSAR LENIN NAVARRO CHÁVEZ**

**DR. ODETE VIRGINIA DELFÍN ORTEGA**

**DR. PLINIO HERNÁNDEZ BARRIGA**

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

**CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

En la Ciudad de Morelia, Michoacán, al día 11 de agosto de 2023, la que suscribe ERIKA ANDREA RUIZ REYES, alumna del programa de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales adscrito al Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales (INIEE), manifiesta ser la autora intelectual del presente trabajo de tesis desarrollado bajo la dirección del DR. JOSÉ CÉSAR LENIN NAVARRO CHÁVEZ y sobre los derechos del trabajo titulado: **"FACTORES DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LAS ECONOMÍAS DEL APEC, 2000-2022. UN ESTUDIO A TRAVÉS DEL GRAFICAL Y NO RADIAL CON VARIABLES AMBIENTALES"** a la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo para su difusión con fines estrictamente académicos.

No está permitida la reproducción total o parcial de este trabajo de tesis ni su tratamiento o transmisión por cualquier medio o método sin la autorización escrita del Dr. J. C. Navarro Chávez director del mismo. Cualquier uso académico que se haga de este trabajo deberá realizarse conforme a las prácticas legales establecidas para este fin.

---

**ERIKA ANDREA RUIZ REYES**

**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS Y EMPRESARIALES**  
**MAESTRÍA EN CIENCIAS EN NEGOCIOS INTERNACIONALES**

**CARTA DE ORIGINALIDAD**

**A QUIEN CORRESPONDA**

Por este medio se hace constar que el trabajo de tesis titulado **"FACTORES DETERMINANTES DE LA EFICIENCIA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA DE LAS ECONOMIAS DEL APEC, 2004-2022. UN ESTUDIO A TRAVÉS DEL DEA RADIAL Y NO RADIAL CON VARIABLES AMBIENTALES"** realizado por la alumna **ERIKA ANDREA RUIZ REYES** con matrícula (509730) de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales, dirigido por el **DR. JOSÉ CÉSAR LENIN NAVARRO CHÁVEZ**, fue analizado a través de la herramienta de detección de plagio "Plagiar".

Con base en el reporte de las similitudes encontradas por dicha herramienta informática, se considera que el trabajo de tesis no constituye un plagio con respecto a obras de terceros.

Los resultados del análisis se encuentran bajo registro de la coordinación de la Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales y de la Secretaría Académica del Instituto de Investigaciones Económicas y Empresariales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

**ATENTAMENTE**

Morelia, Mich., a 11 de agosto de 2025.

**DR. JOSÉ CÉSAR LENIN NAVARRO CHÁVEZ**  
**DIRECTOR DE TESIS**

**ERIKA ANDREA RUIZ REYES**  
**ALUMNA**

## Índice

|                                                                                                                         |             |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>RELACIÓN DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS .....</b>                                                                     | <b>I</b>    |
| <b>GLOSARIO.....</b>                                                                                                    | <b>V</b>    |
| <b>ABREVIATURAS .....</b>                                                                                               | <b>VI</b>   |
| <b>RESUMEN .....</b>                                                                                                    | <b>VII</b>  |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                   | <b>VIII</b> |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                                                                                | <b>IX</b>   |
| 1.1 Planteamiento del problema.....                                                                                     | 1           |
| 1.2 Objetivos de la investigación .....                                                                                 | 4           |
| 1.3 Justificación .....                                                                                                 | 4           |
| 1.4 Tipo de investigación.....                                                                                          | 8           |
| 1.5 Hipótesis de la investigación .....                                                                                 | 9           |
| 1.6 Identificación de variables .....                                                                                   | 10          |
| 1.7 Operacionalización .....                                                                                            | 10          |
| 1.8 Instrumentos.....                                                                                                   | 10          |
| 1.9 Universo.....                                                                                                       | 11          |
| 1.10 Alcances y limitaciones de la investigación .....                                                                  | 11          |
| <b>Capítulo 2 .....</b>                                                                                                 | <b>13</b>   |
| <b>El sector manufacturero en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC..</b>                                | <b>13</b>   |
| 2.1 Antecedentes históricos del APEC .....                                                                              | 13          |
| 2.2 La industria manufacturera en el APEC a través de sus principales indicadores .....                                 | 14          |
| 2.3 Las economías desarrolladas y en desarrollo en el APEC. El sector manufacturero y sus principales estadísticas..... | 26          |
| <b>Capítulo 3 .....</b>                                                                                                 | <b>45</b>   |

|                                                                                                                                                                             |            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>La sustentabilidad y sus principales indicadores. Un marco referencial para la industria manufacturera en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC .....</b> | <b>45</b>  |
| 3.1 Indicadores ambientales. Definiciones metodológicas .....                                                                                                               | 45         |
| 3.2 La sustentabilidad en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC.....                                                           | 60         |
| <b>Capítulo 4 .....</b>                                                                                                                                                     | <b>75</b>  |
| <b>El Data Envelopment Analysis en las medidas de eficiencia radial y no radial. Un marco teórico y metodológico .....</b>                                                  | <b>75</b>  |
| 4.1 Antecedentes del Data Envelopment Analysis (DEA) .....                                                                                                                  | 75         |
| 4.2 Apuntes teóricos y metodológicos sobre las recientes actualizaciones del DEA .....                                                                                      | 89         |
| 4.3 Medidas de eficiencia radial en el Data Envelopment Analysis.....                                                                                                       | 99         |
| 4.4 Medidas de eficiencia no radiales en el <i>Data Envelopment Analysis</i> .....                                                                                          | 102        |
| 4.5 Resumen crítico .....                                                                                                                                                   | 110        |
| <b>Capítulo 5 .....</b>                                                                                                                                                     | <b>113</b> |
| <b>Medidas de eficiencia radiales y no radiales. Evidencia empírica. ....</b>                                                                                               | <b>113</b> |
| 5.1 Medidas de eficiencia radiales. Evidencia empírica .....                                                                                                                | 113        |
| 5.2 Medidas de eficiencia no radiales. Evidencia empírica .....                                                                                                             | 114        |
| 5.3 Medidas de eficiencia radiales en la manufactura del APEC. Evidencia empírica .                                                                                         | 116        |
| 5.4 Medidas de eficiencia no radiales en la manufactura del APEC. Evidencia empírica .....                                                                                  | 117        |
| <b>Capítulo 6 .....</b>                                                                                                                                                     | <b>119</b> |
| <b>Medidas de eficiencia radiales y no radiales en el DEA con variables ambientales..</b>                                                                                   | <b>119</b> |
| 6.1 Antecedentes y enfoques metodológicos .....                                                                                                                             | 120        |
| 6.2 Propuesta y desarrollo metodológico.....                                                                                                                                | 121        |
| <b>Capítulo 7 .....</b>                                                                                                                                                     | <b>125</b> |

|                                                                                                                |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>Resultados de las mediciones radiales y no radiales en las economías desarrolladas y en desarrollo.....</b> | <b>125</b> |
| 7.1 Eficiencias DEA radial y no radial de las economías desarrolladas del APEC con variables ambientales ..... | 125        |
| 7.2 Eficiencias DEA radial y no radial de las economías en desarrollo con variables ambientales .....          | 131        |
| 7.3 Eficiencias DEA radial y no radial sin variables ambientales de las economías desarrolladas del APEC ..... | 137        |
| 7.4 Eficiencias DEA radial y no radial sin variables ambientales de las economías en desarrollo del APEC ..... | 140        |
| 7.5 Comparativo entre resultados radiales y no radiales.....                                                   | 142        |
| <b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>                                                                    | <b>144</b> |
| <b>Bibliografía.....</b>                                                                                       | <b>149</b> |
| <b>ANEXOS .....</b>                                                                                            | <b>166</b> |

# RELACIÓN DE TABLAS, GRÁFICAS Y FIGURAS

## TABLAS

|                                                                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 2.1 Economías del APEC alfabéticamente con su clasificación. ....                                                   | 27  |
| Tabla 3.1.1 Objetivos específicos del objetivo general número 7 de los Objetivos de<br>Desarrollo del Milenio.....        | 51  |
| Tabla 3.1.2 Índice de Desempeño Ambiental (EPI) con sus objetivos, categorías e<br>indicadores.....                       | 56  |
| Tabla 3.2.1 Resumen de indicadores y marcos del GIP .....                                                                 | 63  |
| Tabla 3.2.2 Inputs y Outputs usados por Leu et al., (2020) .....                                                          | 66  |
| Tabla 3.2.3 Estudios de caso con variables ambientales .....                                                              | 68  |
| Tabla 4.1.4.1 Comparativo entre DEA orientado a inputs, outputs y no orientado .....                                      | 87  |
| Tabla 4.2.1.1 Diferencias entre DEA tradicional y Network DEA .....                                                       | 90  |
| Tabla 4.2.2.1 Diferencias entre DEA tradicional y fronteras estocásticas .....                                            | 95  |
| Tabla 4.3.1 Características de las medidas de eficiencia radial.....                                                      | 99  |
| Tabla 4.4.1 Características de las medidas de eficiencia no radiales .....                                                | 102 |
| Tabla 4.4.4.1 Comparativo entre medidas de eficiencia radiales y no radiales<br>en el DEA .....                           | 109 |
| Tabla 5.1.1 Casos de aplicación de medidas de eficiencia radial.....                                                      | 114 |
| Tabla 5.2.1 Casos de medidas de eficiencia no radial.....                                                                 | 115 |
| Tabla 5.3.1 Ejemplo de aplicaciones de DEA radial en la industria manufacturera .....                                     | 116 |
| Tabla 5.4.1 Ejemplo de aplicaciones de DEA no radial en la industria<br>manufacturera .....                               | 118 |
| Tabla 7.1.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia<br>radial con variables ambientales..... | 126 |

|                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 7.1.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales..... | 128 |
| Tabla 7.2.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial con variables ambientales.....          | 131 |
| Tabla 7.2.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales..... | 134 |
| Tabla 7.3.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales.....          | 137 |
| Tabla 7.3.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales..... | 139 |
| Tabla 7.4.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales.....          | 140 |
| Tabla 7.4.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales..... | 142 |

## GRÁFICAS

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 2.1 Participación del valor agregado en el PIB de la industria a nivel mundial y en las economías del APEC, 1991-2021 .....           | 15 |
| Gráfica 2.2 Participación del valor agregado en el PIB de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022. .... | 16 |
| Gráfica 2.3 Participación del valor agregado en el PIB de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022.....  | 17 |
| Gráfica 2.4 Participación de las importaciones de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022.....          | 18 |
| Gráfica 2.5 Participación de las importaciones de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022.....          | 19 |

|                                                                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 2.6 Participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022.....                | 20 |
| Gráfica 2.7 Participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022.....                | 21 |
| Gráfica 2.8 Participación del empleo total en la industria en el periodo 2000-2021 en la región del APEC .....                                      | 23 |
| Gráfica 2.9 Participación del empleo manufacturero en el empleo total de las economías desarrolladas del APEC en el periodo 2000-2022.....          | 24 |
| Gráfica 2.10 Participación del empleo manufacturero en el empleo total de las economías en desarrollo del APEC en el periodo 2000-2022.....         | 26 |
| Gráfico 2.3.2.1 Número de trabajadores en las economías desarrolladas del APEC sin Estados Unidos de América y Japón (2000-2022) .....              | 30 |
| Gráfico 2.3.2.2 Número de trabajadores en Estados Unidos de América y Japón (2000-2022) .....                                                       | 31 |
| Gráfico 2.3.2.3 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de las economías desarrolladas sin EUA y Japón (2000-2022) .....  | 32 |
| Gráfico 2.3.2.4 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de EUA y Japón (2000-2022).....                                   | 34 |
| Gráfico 2.3.2.5 Valor agregado de la manufactura de las economías desarrolladas en millones de dólares sin Estados Unidos y Japón (2000-2022) ..... | 35 |
| Gráfico 2.3.2.6 Valor agregado de la manufactura de Estados Unidos y Japón en millones de dólares (2000-2022) .....                                 | 36 |
| Gráfica 2.3.3.1 Número de trabajadores en las economías en desarrollo sin China (2000-2022 .....                                                    | 38 |
| Gráfica 2.3.3.2 Número de trabajadores en China (2000-2022) .....                                                                                   | 39 |
| Gráfica 2.3.3.3 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de las economías en desarrollo sin China (2000-2022).....         | 40 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Gráfica 2.3.3.4 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de China (2000-2022).....                                                                                                                                                     | 41 |
| Gráfica 2.3.3.5 Valor agregado de la manufactura de las economías en desarrollo sin China en millones de dólares (2000-2022).....                                                                                                                               | 42 |
| Gráfica 2.3.3.6 Valor agregado de la manufactura de China en millones de dólares (2000-2022) .....                                                                                                                                                              | 44 |
| Gráfica 3.2.1.1 Emisiones de dióxido de carbono de la industria manufacturera de las economías desarrolladas por unidad de valor añadido manufacturero en el periodo 2000-2022 (kilogramos de CO <sub>2</sub> por dólar estadounidense constante de 2015) ..... | 72 |
| Gráfica 3.2.2.1 Emisiones de dióxido de carbono de la industria manufacturera de las economías en desarrollo por unidad de valor añadido manufacturero en el periodo 2000-2022 (kilogramos de CO <sub>2</sub> por dólar estadounidense constante de 2015) ..... | 73 |
| Gráfica 4.1.1 Conceptualización del concepto básico del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA) .....                                                                                                                                                          | 80 |
| Gráfica 4.1.2 Diferentes tipos de rendimientos a escala (RTS).....                                                                                                                                                                                              | 82 |

## FIGURAS

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 3.1.1 Triángulo de Nijkamp .....                                      | 48 |
| Figura 3.1.2 Los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio por la ONU .....      | 51 |
| Figura 3.1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU: Agenda 2030 ..... | 53 |

## GLOSARIO

**Data Envelopment Analysis.** Es una metodología desarrollada por *Charnes et al.*, (1978) que se utiliza para evaluar la eficiencia de las unidades de toma de decisiones (DMU) que disponen de diversas métricas de desempeño, categorizadas como *inputs* y *outputs*. Su concepto fundamental es hacer un comparativo entre todas las DMU's en cuestión, con el fin de determinar cuánto más podría generar (o ahorrar) en términos de *outputs* (o *inputs*) sin modificar el nivel actual de *inputs* (o *outputs*) (Chu et al., 2024).

**Eficiencia técnica pura.** La eficiencia técnica evaluada bajo rendimientos variables también se conoce como eficiencia técnica pura (Thanassoulis, 2001; Navarro et al., 2016).

**Emisiones de dióxido de carbono.** El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) es un gas de efecto invernadero que captura el calor, proveniente de actividades como la extracción y quema de combustibles fósiles (como el carbón, el petróleo y el gas natural), los incendios forestales y procesos naturales como las erupciones volcánicas (The National Aeronautics and Space Administration [NASA], 2024).

**Industria manufacturera.** La industria manufacturera constituye el sector secundario que se encarga de convertir las materias primas en productos terminados, preparados para su venta. Este sector desempeña un papel crítico en el progreso económico y el desarrollo de una nación, y abarca una amplia variedad de industrias, desde el envasado de alimentos hasta la fabricación de aeronaves (Statista Research Department, 2024).

**Inversión.** La formación bruta de capital fijo (FBCF), también conocida como "inversión", se define como la adquisición de activos producidos (incluidas las compras de activos de segunda mano), incluyendo la producción de estos activos por parte de los productores para su propio uso, menos las ventas o eliminaciones. Los activos relevantes están destinados a ser utilizados en la producción de otros bienes y servicios por un período superior a un año. El término "activos producidos" implica que solo se incluyen aquellos activos que surgen como resultado de un proceso de producción. Por lo tanto, no se considera, por ejemplo, la compra de tierras y recursos naturales (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OCDE], 2022).

## **ABREVIATURAS**

**APEC.** Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico

**CMNUCC.** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático

**CO<sub>2</sub>.** Dióxido de carbono

**COP.** Conferencia de las Naciones Unidas sobre Biodiversidad

**CRS.** Rendimientos constantes a escala

**DEA.** Data Envelopment Analysis / Análisis Evolvente de Datos

**DMU.** Decision-Making Unit / Unidad de Toma de Decisión

**GEI.** Gases de efecto invernadero

**ONU.** Organización de las Naciones Unidas

**RTS.** Rendimientos a escala

**SBM.** Slacks-Based Measure / Medida Basada en Holguras

**UNCED.** Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo

**UNEP.** Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

**UNIDO.** Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

**VRS.** Rendimientos variables a escala

## RESUMEN

Esta investigación analiza la eficiencia de la industria manufacturera en 17 de las 21 economías del APEC durante el período 2000-2022, divididas en economías desarrolladas (Australia, Canadá, Hong Kong, Japón, Nueva Zelanda, República de Corea, Singapur y Estados Unidos de América) y en desarrollo (China, Indonesia, Malasia, México, Perú, Filipinas, Rusia, Tailandia y Vietnam). Se instrumentan medidas de eficiencia radial con el modelo básico orientado a *outputs* con VRS y medidas de eficiencia no radial con el modelo *Slacks-Based Measure* (SBM) con VRS y orientación al *output*, incorporando un análisis con variables ambientales y otro sin variables ambientales. El estudio emplea como *inputs* el número de trabajadores y la inversión, mientras que como *outputs* consideran el valor agregado (*good output*) y las emisiones de CO<sub>2</sub> (*bad output*). Los resultados revelan patrones distintivos entre las economías desarrolladas y en desarrollo. Las economías desarrolladas como Hong Kong, Corea del Sur, Nueva Zelanda y Singapur mantuvieron niveles de eficiencia en la industria manufacturera cercanos a 1.0000 en la mayoría de los períodos analizados, demostrando una gestión sobresaliente de recursos. En contraste, las economías en desarrollo como México, Indonesia y Vietnam mostraron ineficiencias. Las medidas radiales tendieron a mostrar eficiencias más altas que las no radiales, estas últimas resultaron más rigurosas para evaluar la eficiencia ambiental.

**PALABRAS CLAVE:** Eficiencia manufacturera, DEA (*Data Envelopment Analysis*), APEC, emisiones CO<sub>2</sub>, modelo de eficiencia radial, modelo de eficiencia no radial, SBM (*Slacks-Based Measure*).

## ABSTRACT

This research analyzes manufacturing industry efficiency in 17 of 21 APEC economies from 2000 to 2022, divided into developed economies (Australia, Canada, Hong Kong, Japan, New Zealand, Republic of Korea, Singapore, and United States of America) and developing economies (China, Indonesia, Malaysia, Mexico, Peru, Philippines, Russia, Thailand, and Vietnam). Radial efficiency measures are implemented with the basic output-oriented VRS model and non-radial efficiency measures with the Slack-Based Model (SBM) with VRS and also output-oriented, incorporating an analysis one with environmental variables and the other without environmental variables. The study uses as inputs the number of workers and investment, while as outputs consider the added value (good output) and CO<sub>2</sub> emissions (bad output). The results reveal distinctive patterns between developed and developing economies. Developed economies such as Hong Kong, South Korea, New Zealand, and Singapore maintained levels of efficiency in the manufacturing industry close to 1.0000 in most of the periods, analysed, demonstrating outstanding resource management. In contrast, developing economies like Mexico, Indonesia, and Vietnam showed inefficiencies. Radial measures tended to show higher efficiencies than non-radial ones, although the latter proved more rigorous for evaluating environmental efficiency.

**KEY WORDS:** Manufacturing efficiency, DEA (Data Envelopment Analysis), APEC, CO<sub>2</sub> emissions, radial efficiency model, non-radial efficiency model, SBM (Slacks-Based Measure).

# INTRODUCCIÓN

Esta investigación se centra en el análisis de la eficiencia radial y no radial en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC, con especial énfasis en el sector manufacturero y las variables ambientales.

La sostenibilidad ha pasado a ser un aspecto fundamental para muchas industrias. Ante los retos ambientales que enfrentan diversos sectores, ha surgido el concepto de manufactura sostenible. Se aborda qué significa este enfoque y cómo está transformando la manera en que se producen bienes y servicios. La manufactura sostenible es una estrategia de producción que busca reducir los impactos negativos sobre el medio ambiente, las comunidades y los trabajadores, mientras optimiza la eficiencia y mejora la rentabilidad económica. Se basa en principios clave como la conservación de recursos naturales, la reducción de residuos y emisiones, el uso de energías renovables y la mejora de las condiciones laborales (Arauz, 2023).

Otro tema importante a tratar es la eficiencia ambiental y esta se refiere a la capacidad de una organización para maximizar el uso de sus recursos reduciendo su impacto ambiental. En la industria, esto puede ayudar a disminuir costos operativos al minimizar los residuos y optimizar la eficiencia energética, lo que resulta en ahorros a largo plazo. Además, esto puede ayudar a la reputación de la empresa, ya que los consumidores valoran cada vez más las prácticas sostenibles. También permite a las empresas cumplir con las regulaciones medioambientales, evitando sanciones y preparándose para futuras normativas más estrictas (Agricifientecl, 2024).

Adriana Torres, vicepresidenta y directora de operaciones para América Latina en Capgemini, una empresa centrada en la tecnología y la sostenibilidad, señala que, en los últimos años, gran parte de las emisiones contaminantes provienen del sector industrial, especialmente de la manufactura. Según el informe *State of Supply Chain Sustainability* 2022, realizado por el MIT, las empresas a nivel mundial buscan incrementar en un 12% su compromiso con la reducción del cambio climático mediante la implementación de diversas estrategias sostenibles, como el uso de paneles solares, el reciclaje de agua, la adopción del

Internet de las Cosas, *blockchain* y la Inteligencia Artificial, lo que contribuye a disminuir el impacto ambiental de esta industria (Arauz,2023).

Otro aspecto importante que se trata en este proyecto de investigación es la metodología DEA, utilizada para medir la eficiencia en varios sectores con una escala de 0-1, donde 1 es la eficiencia e inferior a 1 es ineficiencia. Esta metodología tiene como precursor a Farrel (1957) y siendo perfeccionada en cuestión de rendimientos con Charnes et al. (1978) utilizando rendimientos constantes y con Banker et al. (1984) usando rendimientos variables. DEA ha estado teniendo varias innovaciones como lo son las metafronteras, Network DEA, entre otras versiones que son más especializadas para diferentes sectores o tipos de estudios, DEA se podría dividir en medidas radiales y no radiales, siendo estas últimas óptimas para hacer estudios ambientales debido a que teóricamente son más rigurosas y debido a la naturaleza de los cálculos no tienden a llegar a la eficiencia tan fácilmente como el aplicar un estudio con medidas radiales.

Esta investigación tiene por objetivo investigar de qué manera el trabajo y la inversión, con y sin variables ambientales, han influido en la eficiencia radial y no radial DEA en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

La hipótesis central de la investigación nos dice que al considerar comparativamente el incluir y no incluir las variables ambientales con el trabajo y la inversión, es en el primer caso, donde se ha incido más en la eficiencia radial y no radial DEA en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

En el capítulo 1 se establece el marco metodológico completo de la investigación. Aborda el planteamiento del problema identificando las brechas de eficiencia en las economías del APEC. Define objetivos generales y específicos orientados al análisis comparativo. La justificación fundamenta la relevancia del estudio para la toma de decisiones económicas. Incluye el tipo de investigación, la formulación de hipótesis, las variables de estudio, la identificación y operacionalización de variables clave, así como la delimitación del universo de estudio y sus limitaciones.

El capítulo 2 profundiza en la historia y evolución del APEC desde su fundación, analizando su papel en la economía global, examina detalladamente la industria manufacturera a través de indicadores económicos clave como inversión, empleo y comercio internacional. Se clasifican las economías y se realiza un análisis comparativo entre las economías desarrolladas y en desarrollo, identificando brechas y oportunidades. Incluye estadísticas actualizadas y tendencias del sector manufacturero en la región.

Dentro del capítulo 3 se desarrolla el marco teórico y conceptual de la sustentabilidad en la manufactura. Analiza los principales indicadores ambientales y metodologías para su medición. Examina la influencia del sector manufacturero en el desarrollo sostenible, tanto en economías avanzadas como emergentes del APEC. Establece las bases para comprender la relación entre eficiencia y sostenibilidad ambiental.

En el capítulo 4, se presenta una revisión exhaustiva de la metodología DEA, sus fundamentos teóricos y evolución histórica. Explora las diferentes variantes y modelos de eficiencia como el DEA *networking*, *metafronteras*, entre otras, así como las medidas de eficiencia DEA radial y no radial. Se analizan las aportaciones metodológicas más relevantes y sus aplicaciones. Incluye una discusión detallada sobre las ventajas y limitaciones de cada enfoque.

En el capítulo 5 se analiza evidencia empírica sobre medidas de eficiencia en diferentes contextos. Analiza casos específicos en la manufactura de manera general como también dentro del APEC. También se comparan resultados entre diferentes metodologías y discute sus implicaciones para la manufactura.

Se desglosa en el capítulo 6 para incorporar variables ambientales en el análisis DEA como lo son las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se desarrollan antecedentes y enfoques metodológicos y se presenta una propuesta para evaluar la eficiencia considerando aspectos ambientales.

Dentro del capítulo 7 se encuentran los resultados de la investigación dividiéndole en 4 partes, eficiencias DEA radial y no radial de las economías desarrolladas del APEC con variables ambientales, eficiencias DEA radial y no radial de las economías desarrolladas del APEC sin variables ambientales, eficiencias DEA radial y no radial de las economías en desarrollo del APEC con variables ambientales y por último eficiencias DEA radial y no

radial de las economías en desarrollo del APEC sin variables ambientales. También se agrega un análisis comparativo entre economías en desarrollo y desarrolladas como entre las medidas radiales y no radiales.

Finalmente, se tienen las conclusiones y recomendaciones dónde se observa un análisis integral de los tipos de medidas radiales y no radiales, así como recomendaciones generales para mejorar la eficiencia del sector manufacturero en el APEC, considerando aspectos ambientales y de desarrollo sostenible. Por lo que de manera práctica se recomienda usar medidas no radiales en los estudios de eficiencia que contengan variables ambientales con el objetivo de tener estudios más estrictos y también que las economías en desarrollo mejoren su eficiencia con respecto a las economías desarrolladas.

# Capítulo 1

## Fundamentos de la investigación

**E**n el capítulo 1 se desarrollan los puntos de planteamiento del problema, objetivos de la investigación, justificación, tipo de investigación, hipótesis, identificación de variables, operacionalización, instrumentos, universo, alcances y limitaciones de esta investigación.

### 1.1 Planteamiento del problema

Es la definición clara y precisa del problema a abordar se logra a través del método formal de investigación. En este contexto, el problema en cuestión se describe y formula mediante preguntas fundamentales que son, en cierta medida, factibles de resolver (Ortiz et al., 2002).

La industria manufacturera es un sector clave en la economía global, y su medición y análisis son fundamentales para comprender su desempeño y su impacto en la economía. En particular, la medición de la eficiencia en el sector manufacturero es un tema de gran interés para los investigadores y los responsables de la toma de decisiones. En este contexto, el análisis a través de medidas radiales y no radiales se ha convertido en una herramienta importante para evaluar la eficiencia de las empresas manufactureras en el ámbito ambiental. La evaluación a través de medidas no radiales permite comparar el desempeño de las

economías con respecto a las mejores prácticas ambientales en su industria tomando en cuenta variables ambientales.

La actividad industrial es responsable en gran parte del impacto ambiental global, generando más de la mitad de las emisiones de ciertos contaminantes atmosféricos y gases de efecto invernadero (GEI). Su huella ecológica no se limita solo a la contaminación del aire, sino que también abarca otros aspectos críticos del medio ambiente. Entre estos se incluyen la liberación de sustancias nocivas en aguas y suelos, la generación de cantidades significativas de residuos y un consumo energético elevado. Estos diversos factores convierten a la industria en un contribuyente principal a los desafíos ambientales que se enfrentan en la actualidad, afectando de manera integral los ecosistemas terrestres y acuáticos (European Environment Agency, 2021), pero para fines prácticos de esta investigación nos basaremos únicamente en la contaminación del aire a través del CO<sub>2</sub>.

Existe evidencia científica contundente que señala que se deben dirigir los esfuerzos durante esta década a reducir a la mitad las emisiones globales de gases de efecto invernadero (GEI) y a alcanzar la neutralidad de carbono para mediados de siglo, pues así se evitarán los efectos más catastróficos del cambio climático (Nolasco y Ruiz, 2020).

En esta investigación surge el interés de investigar durante el periodo de 2000-2022 en las economías desarrolladas y en desarrollo del Foro de Cooperación Asia Pacífico (APEC) a la inversión, el trabajo, el valor agregado de la manufactura y las emisiones de CO<sub>2</sub> exclusivamente de la industria manufacturera como determinantes de la eficiencia en las economías en el sector manufacturero para realizar un análisis adecuado y que este sirva de apoyo para futuras investigaciones con la finalidad de aportar a la mejora del medio ambiente a través de un estudio con medidas radiales, no radiales y variables ambientales.

Los principales emisores de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a nivel global son las tres economías más industrializadas: China, Estados Unidos e India, de las cuales dos forman parte del APEC. Sin embargo, el panorama cambia considerablemente cuando se evalúa la huella de carbono per cápita, donde Catar, Kuwait y Arabia Saudita lideran el ranking (Garret, 2022).

### **1.1.1 Preguntas de investigación**

Son las preguntas formales y fundamentadas que el investigador formula representan un enfoque lógico y razonado hacia un nuevo punto de partida con el objetivo de descubrir posibles respuestas o adquirir nuevos conocimientos (Hernández y Fernández, 1991).

#### **1.1.1.1 Pregunta general**

¿De qué manera el trabajo, la inversión y el valor agregado del sector manufacturero con y sin variables ambientales determinaron la eficiencia radial y no radial DEA de la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022?

$$Y_1 = f(X_1, X_2, X_3)$$

##### **1.1.1.1.1 Pregunta específica 1**

¿De qué manera los inputs trabajo y la inversión en combinación con los outputs valor agregado del sector manufacturero y las emisiones de CO<sub>2</sub> -variable ambiental- determinaron la eficiencia radial y no radial DEA de la industria manufacturera en las economías desarrolladas en relación con las economías en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022?

*Inputs:* El trabajo y la inversión

*Outputs:* Valor agregado de la industria manufacturera, CO<sub>2</sub>

##### **1.1.1.1.2 Pregunta específica 2**

¿En cuál de las medidas de eficiencia radial y no radial DEA se obtuvieron resultados más lejanos a la eficiencia ante las variaciones en el trabajo, la inversión, el valor agregado del sector manufacturero y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022?

*Inputs:* El trabajo y la inversión

*Outputs:* Valor agregado de la industria manufacturera, CO<sub>2</sub>

## **1.2 Objetivos de la investigación**

Constituyen los objetivos finales que el investigador se propone al abordar la resolución de un problema planteado. Estas metas representan enunciados amplios en los que se esperan respuestas definidas, concretas y confiables (Buendía et al., 1999).

### **1.2.1 Objetivo General**

Investigar de qué manera el trabajo, la inversión y el valor agregado del sector manufacturero con y sin variables ambientales determinaron la eficiencia radial y no radial DEA de la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

#### **1.2.1.1 Objetivo específico 1**

Identificar de qué manera los inputs trabajo y la inversión en combinación con los outputs valor agregado del sector manufacturero y las emisiones de CO<sub>2</sub> -variable ambiental- determinaron la eficiencia radial y no radial DEA de la industria manufacturera en las economías desarrolladas en relación con las economías en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

#### **1.2.1.2 Objetivo específico 2**

Determinar en cuál de las medidas de eficiencia radial y no radial DEA se obtuvieron mayores resultados lejanos a la eficiencia ante las variaciones en el trabajo, la inversión, el valor agregado del sector manufacturero y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

## **1.3 Justificación**

Como dice Oncoy (2018):

El propósito de la justificación es explicar las razones detrás de la elección del tema o problema de investigación, teniendo en cuenta el valor y la aplicabilidad práctica que el estudio propuesto podría ofrecer. En esencia, se busca fundamentar la necesidad de realizar la investigación y destacar la contribución que esta haría a un campo específico al abordar la cuestión planteada.

### **1.3.1 Conveniencia**

Una de las razones principales por la que es conveniente este estudio, es debido a la situación a futuro que se pronostica, en donde los recursos escasearan debido al descuido extremo que está sufriendo el medio ambiente crónicamente en la actualidad, poniendo en riesgo a las generaciones del futuro.

Se identificó también que es importante realizar el presente estudio en el periodo 2000-2022 debido a que el APEC se creó en noviembre del año de 1989 y en el año 2000 se publicó La "Declaración de los Líderes del APEC 2000" es un documento fundamental que refleja los compromisos y objetivos establecidos por los líderes de las economías miembros del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) durante su reunión en Brunéi en noviembre de 2000. Esta declaración es necesaria para entender las políticas y estrategias de desarrollo económico y cooperación regional adoptadas a partir del año 2000. La Declaración de los Líderes del APEC en Brunéi Darussalam establece una visión para aprovechar los beneficios económicos y sociales de la nueva economía emergente. El documento presenta una agenda de acción que busca promover un entorno político adecuado y desarrollar capacidades en las economías miembro. Los puntos principales de esta declaración son sobre fortalecimiento de estructuras de mercado e instituciones (Mejorar los mercados financieros y los marcos regulatorios, avanzar hacia políticas pro-competitivas en telecomunicaciones y servicios de TI, entre otros.), la creación de un entorno favorable para la inversión en infraestructura y desarrollo (Desarrollar marcos legales y regulatorios para el comercio electrónico, apoyar a las PYMES en el uso de TIC, implementar evaluaciones de preparación para el comercio electrónico.), desarrollo de capacidades humanas y fomento del emprendimiento (Crear una red de centros de desarrollo de habilidades, organizar un simposio de alto nivel sobre comercio electrónico, promover la educación de calidad y el uso de TIC en la enseñanza, crear una red de educación cibernética del APEC, fomentar el aprendizaje permanente y la empleabilidad.), desarrollo sostenible (La declaración subrayó la importancia del desarrollo sostenible, incluyendo la protección del medio ambiente y la promoción de prácticas económicas que sean socialmente responsables y ambientalmente sostenibles.) y por último la importancia del conocimiento.

En pocas palabras, la Declaración de los Líderes del APEC 2000 marcó un antes y un después en la forma en que las economías del Asia-Pacífico entendían la cooperación y el crecimiento económico. Analizar lo que ocurrió desde entonces nos permite ver con claridad cómo ha evolucionado la región: los logros alcanzados, los obstáculos que se han enfrentado, y cómo esas ideas iniciales siguen influyendo en muchas decisiones actuales.

Pero el mundo ha cambiado mucho desde el año 2000. Por eso, en 2020, los líderes del APEC presentaron una nueva hoja de ruta: la Visión de Putrajaya 2040. Esta visión busca algo más que crecimiento económico: propone construir una comunidad abierta, dinámica, resiliente y pacífica, con un fuerte énfasis en la inclusión digital, la sostenibilidad ambiental y una recuperación justa tras la pandemia (APEC, 2020). En lugar de centrarse únicamente en el libre comercio, como en años anteriores, ahora se habla también de innovación, transformación tecnológica y desarrollo verde.

La Visión de Putrajaya plantea tres ejes fundamentales para avanzar hacia ese futuro: facilitar el comercio e inversión, promover la digitalización y garantizar un crecimiento equilibrado y sostenible. Esto muestra cómo APEC ha ido adaptándose a los nuevos tiempos, incorporando no solo aspectos económicos, sino también sociales y ambientales. Por eso, al estudiar la evolución de la región, ya no basta con revisar los acuerdos del 2000: es fundamental incluir también esta nueva visión, que proyecta hacia dónde quiere ir Asia-Pacífico en las próximas décadas.

Cómo último punto, se estableció que la investigación se realizará hasta el periodo del año 2022 ya que es el último año con datos encontrados y también es un año que se encuentra en la época post COVID-19. Con este periodo se harán comparativas de los comportamientos y efectos que ha tenido el sector manufacturero en cuestión de la eficiencia con variables ambientales desde que el APEC realizó su declaración del año 2000.

### **1.3.2 Relevancia social**

Esta investigación tiene un impacto social muy alto debido a que se realizarán una investigación que pueda servir como ayuda para realizar propuestas dentro del sector manufacturero y así mejorar el cuidado del medio ambiente en las economías del APEC

haciendo un mundo más sustentable y obtener una mejor calidad de vida a largo plazo para las generaciones futuras.

Este trabajo también tiene una relevancia social alta debido a que se investiga sobre problemas que están relacionados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU. Dentro de los 17 ODS, los objetivos que tienen una mayor afinidad con esta investigación son el número 9 enfocado a la industria, innovación e infraestructura; número 11, Ciudades y comunidades sustentables y por último el número 12, producción y consumo responsable.

### **1.3.3 Implicaciones prácticas**

Se ocuparán datos estadísticos del sector manufacturero para el periodo de 2000-2022 de las economías del APEC, esto debido a que se realizará un estudio con la metodología DEA y sus medidas de eficiencia radial y no radial con variables ambientales para posteriormente hacer un comparativo entre ambas ramas del DEA.

### **1.3.4 Valor teórico**

El valor teórico que proporciona esta investigación es de suma importancia, ya que nos podrá mostrar en cuál de las economías desarrolladas y en desarrollo el trabajo, la inversión y el CO<sub>2</sub> ha tenido una mayor incidencia sobre la eficiencia del sector manufacturero del APEC a través de medidas de eficiencia DEA radial y no radial con variables ambientales en el periodo de 2000-2022. Esto nos ayudará a poder realizar un comparativo entre estas economías y poder realizar conclusiones que sirvan de orientación para la realización de propuestas o nuevas líneas de investigación.

### **1.3.5 Utilidad metodológica**

El uso de un método confiable es indispensable para poder realizar los cálculos necesarios y así llegar a buenas conclusiones que nos permitan sentar una base sólida de una mejor manera. Por esa misma razón se utilizará la metodología conocida como Análisis Envolvente de Datos (DEA) enfocado en la realización de medidas de eficiencia radial y no radial para dar resultados certeros que sirvan de guía y sean confiables.

### **1.3.6 Trascendencia**

La trascendencia de esta investigación será la de analizar en cuál de las economías desarrolladas y en desarrollo el trabajo, capital, ha tenido una mayor incidencia sobre la eficiencia del sector manufacturero en las economías del APEC a través de un enfoque de medidas de eficiencia radial y no radial con y sin variables ambientales durante el periodo de 2000-2022, y poder generar conocimiento que ayude a dar información valiosa que pueda ayudar a orientar a las economías y su sociedad.

### **1.3.7 Horizonte temporal y transversal**

La investigación se realizará en 18 economías del APEC durante el periodo de 2000-2022.

### **1.3.8 Viabilidad de la investigación**

La investigación es viable debido a que se encuentran datos e indicadores esenciales sobre el sector manufacturero de las economías del APEC en diversas bases de datos.

## **1.4 Tipo de investigación**

Se tomaron en cuenta 4 tipos de investigación para este trabajo, los cuales son el exploratorio, el descriptivo, el correlacional y el explicativo (Sampieri, 2014).

### **1.4.1 Descriptivo**

Esta investigación es de carácter descriptivo debido a que describe cómo ha incidido el trabajo, la inversión y el CO<sub>2</sub> con medidas de eficiencia radial y no radial sobre la eficiencia de la industria manufacturera en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

### **1.4.2 Exploratorio**

El tema de investigación es novedoso debido a que busca averiguar cómo ha incidido el trabajo, la inversión y el CO<sub>2</sub> con medidas de eficiencia radial y no radial sobre la eficiencia de la industria manufacturera en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022 a través del uso de una metodología conocida como DEA aplicando las medidas de eficiencia radiales y no radiales, aplicándola con variables ambientales.

### **1.4.3 Correlacional**

Se puede identificar que la investigación es correlacional debido a que se busca el cómo la relación de la combinación de los inputs y los outputs propuestos en esta investigación en la eficiencia a través de las medidas de eficiencia radial y no radial con variables ambientales.

### **1.4.4 Explicativos**

Se considera que también está presente investigación es de carácter explicativa debido a que se tiene una relación causal entre la eficiencia y sus variables de estudios presentes en esta investigación en el sector manufacturero ya sea de manera positiva o negativa.

## **1.5 Hipótesis de la investigación**

La hipótesis es un “enunciado de una relación entre dos o más variables sujetas a una prueba empírica” (Oncoy, 2018).

### **5.1 Hipótesis general**

Al considerar comparativamente el incluir y no incluir las variables ambientales con el trabajo, la inversión y el valor agregado del sector manufacturero, es en el primer caso, donde se incidió más en la eficiencia radial y no radial DEA en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

#### **5.1.1 Hipótesis específica 1**

El trabajo, la inversión, el valor agregado del sector manufacturero y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- tuvieron como resultado una mayor eficiencia radial y no radial DEA en la industria manufacturera en las economías desarrolladas en relación con las economías en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

#### **5.1.2 Hipótesis específica 2**

El trabajo, la inversión, el valor agregado del sector manufacturero y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- alcanzaron una mayor eficiencia a través de la instrumentación de medidas radiales DEA respecto a las medidas no radiales DEA en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

## **1.6 Identificación de variables**

Las variables son la característica o dimensión de un fenómeno que se distingue por su habilidad para adoptar diversas variables (Oncoy, 2018). Es importante tener presente esta definición para poder definir de manera eficiente las variables que afectan directamente a nuestro problema de estudio.

### **1.6.1 Variables dependientes**

Y= Eficiencia

### **1.6.2 Variables independientes**

X1= Trabajo

X2= Inversión

X3= CO<sub>2</sub>

## **1.7 Operacionalización**

En esta sección explicará la importancia teórica de cada variable analizada (Korn et al., 1969) en el presente trabajo de investigación.

## **1.8 Instrumentos**

Según Rojas (1993):

Los instrumentos son las herramientas que permiten al investigador recolectar datos esenciales. Entre los más utilizados se encuentran los cuestionarios, pruebas, formularios de entrevista y guías de investigación. Los instrumentos diseñados específicamente para las variables en estudio tienen una mayor probabilidad de asegurar la validez y confiabilidad de los datos, y, por ende, de los resultados obtenidos.

### **1.8.1 Instrumentos cuantitativos**

Se utilizará como instrumento cuantitativo la base de datos de indicadores económicos del APEC y la base de datos del IMF para poder obtener la información y medición viable de los inputs y outputs para el desarrollo del análisis envolvente de datos (DEA).

## **1.9 Universo**

Totalidad de elementos o fenómenos que conforman el ámbito de un estudio o investigación (Oncoy, 2018).

### **1.9.1 Universo**

Sector manufacturero de las economías del APEC dividido en economías desarrolladas o en vías de desarrollo según el Fondo Monetario Internacional.

### **1.9.2 Muestra**

Bases de datos del periodo 1990-2022 del sector manufacturero por economía, siendo un total de 18 economías de 21.

## **1.10 Alcances y limitaciones de la investigación**

Las limitaciones de la investigación son: recursos humanos, financieros y/o materiales (Ortiz et al., 2002) y el alcance de la investigación “indica el resultado lo que se obtendrá a partir de ella y condiciona el método que se seguirá para obtener dichos resultados, por lo que es muy importante identificar acertadamente dicho alcance antes de empezar a desarrollar la investigación” (Hernández, 2014).

### **1.10.1 Alcances de la investigación**

La presente investigación precisa el estudio de los datos e información para estudiar al trabajo, la inversión, el PIB y las emisiones de CO<sub>2</sub> como determinantes de la eficiencia en el sector manufacturero a través del uso del Análisis Envolvente de Datos (DEA) y las medidas de eficiencia radial y no radial en las economías del APEC.

Las economías se dividirán en economías desarrolladas y en desarrollo para poder posteriormente hacer una retroalimentación con las áreas de oportunidad y poder generar nuevas discusiones y propuestas.

### **1.10.2 Limitaciones de la investigación**

La investigación se limitará al periodo 2000-2022 debido a la escasez de datos de la variable CO<sub>2</sub> de la industria manufacturera y se realizará únicamente a 17 economías de las 21

economías que conforman al APEC excluyendo a Papúa Nueva Guinea, Brunéi Darussalam, Chile y Vietnam debido a la falta de datos en varios años del periodo de estudio.

La última limitación encontrada fue la variable capital, debido a la falta de datos de esta variable se usará la variable de inversión para realizar esta investigación.

# Capítulo 2

## **El sector manufacturero en las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC**

**E**n este capítulo se abordan los antecedentes históricos del APEC tales como su fundación y las economías que están incorporadas a este foro, posteriormente se enfoca en la industria manufacturera y sus principales indicadores para poder medir de manera eficiente este sector y por último la relación entre la manufactura, el APEC y sus principales estadísticas de este sector.

### **2.1 Antecedentes históricos del APEC**

El Foro Económico de Cooperación Asia-Pacífico (APEC) fue creado oficialmente en noviembre de 1989, después de haber surgido la idea en enero de ese mismo año por el ex primer ministro de Australia Bob Hawke. Inicialmente lo conformaban 12 economías siendo estas Australia, Canadá, Brunéi Darussalam, Indonesia, Japón, Malasia, Corea, Las Filipinas, Nueva Zelanda, Singapur, Tailandia y Estados Unidos de América. En el año de 1991 se unió

la República Popular de China, Hong Kong China y Taipéi China. México se hizo parte del APEC en 1993 seguido de Nueva Guinea. Posteriormente se incorporó Chile en 1994 y, por último, pero, no menos importante se unieron Rusia, Perú y Vietnam en 1998, teniendo ya en total las 21 economías del APEC que hay actualmente (APEC, 2023).

## **2.2 La industria manufacturera en el APEC a través de sus principales indicadores**

En el análisis de la industria manufacturera dentro del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC), se abordarán diversos indicadores que permiten medir y evaluar el desempeño de este sector tan importante. A través de su estudio, se podrán identificar tendencias, desafíos y oportunidades que configuran el panorama manufacturero en la región, ofreciendo una comprensión profunda de cómo cada economía contribuye y se adapta a las dinámicas globales del sector.

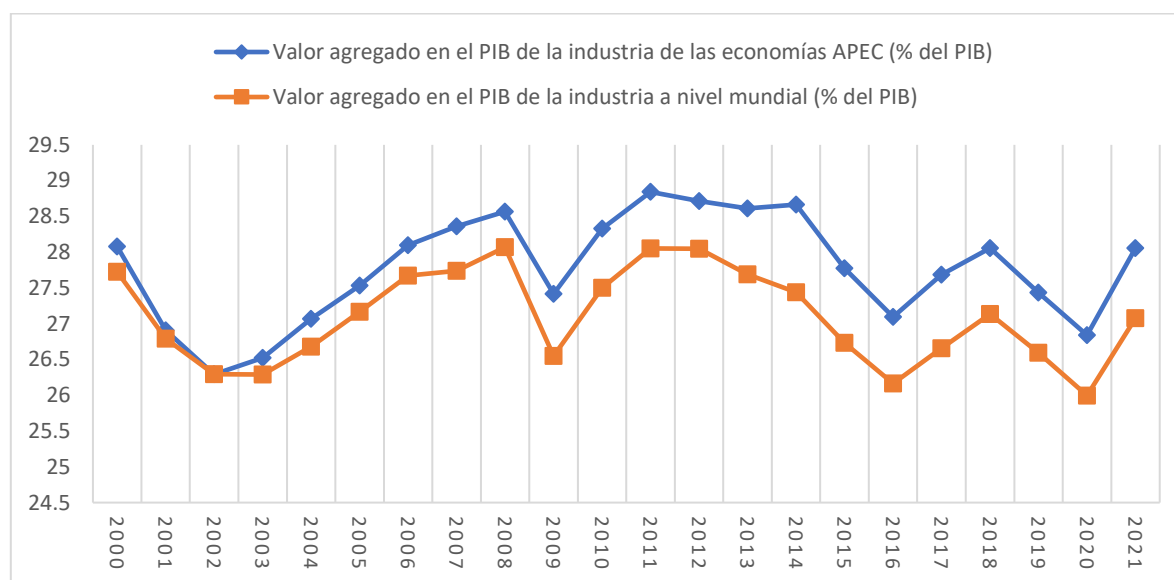
El Producto Interno Bruto (PIB) es un indicador macroeconómico que mide el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos en una economía durante un período específico. En el contexto de la manufactura, el PIB puede reflejar el crecimiento económico asociado con este sector. Por ejemplo, un estudio realizado en Ecuador concluyó que el sector industrial manufacturero incide de manera positiva sobre el Producto Interno Bruto (PIB) real (constante) en la economía. Además, se ha identificado que la manufactura es especialmente importante en el desarrollo económico debido a sus fuertes vínculos con otros sectores de la economía (Redalyc, 2023).

El sector manufacturero guarda una estrecha relación con el Producto Interno Bruto (PIB) de una economía. La participación del sector manufacturero en el PIB puede variar considerablemente entre diferentes economías y conforme pasa el tiempo. En los Estados Unidos, el sector manufacturero ha sido por muchos años un impulso importante del crecimiento económico, aunque su contribución al PIB y al empleo ha ido disminuyendo como porcentaje total del PIB (Migration Policy, 2023).

Como primer punto se analiza la industria de manera general, ésta abarca la minería y las canteras (incluida la producción de petróleo), la manufactura, la construcción y los servicios públicos (electricidad, gas y agua).

**Gráfica 2.1 Participación del valor agregado en el PIB de la industria a nivel mundial y en las economías del APEC, 2000-2021**

**% del PIB**



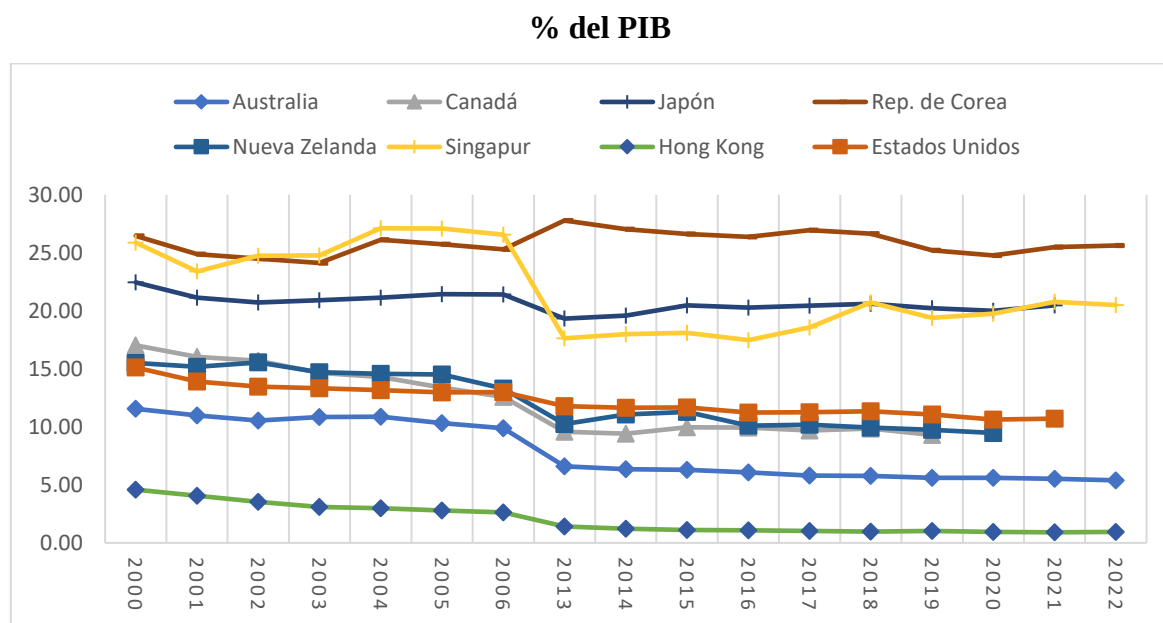
Fuente: Elaboración propia con base en APEC (2022).

En la gráfica 2.1 en el año de 2000 a nivel mundial el valor agregado de la industria en el PIB fue del 27.72% y este tuvo ligeras fluctuaciones, pero se mantuvo prácticamente constante como se puede ver en el año 2021 donde el valor agregado de la industria equivalía al 27.07% del PIB. Enfocándonos en las economías del APEC de manera general, en el año 2000 las economías en promedio obtuvieron un 28.07% del valor agregado de la industria del PIB. De manera general se puede observar que durante el periodo analizado las economías del APEC tienen una mayor participación en el PIB de la industria que a nivel mundial. Tomando esto en cuenta las economías del APEC son de suma importancia al momento de realizar un estudio sobre la industria debido a la influencia que brindan a este sector (APEC, 2023).

La gráfica 2.2 muestra la evolución de la participación del valor agregado de la industria manufacturera en el Producto Interno Bruto (PIB) de las economías desarrolladas del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) entre 2000 y 2022 con base a los datos del Banco Mundial (2022). En general, se observa una tendencia decreciente en la mayoría de las economías. Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos presentan descensos constantes, mientras que Japón y la República de Corea mantienen niveles más altos y

relativamente estables, aunque también con ligeras disminuciones. Singapur y Hong Kong destacan por mostrar caídas abruptas en ciertos periodos, seguidas de estabilización en niveles más bajos.

**Gráfica 2.2 Participación del valor agregado en el PIB de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022.**



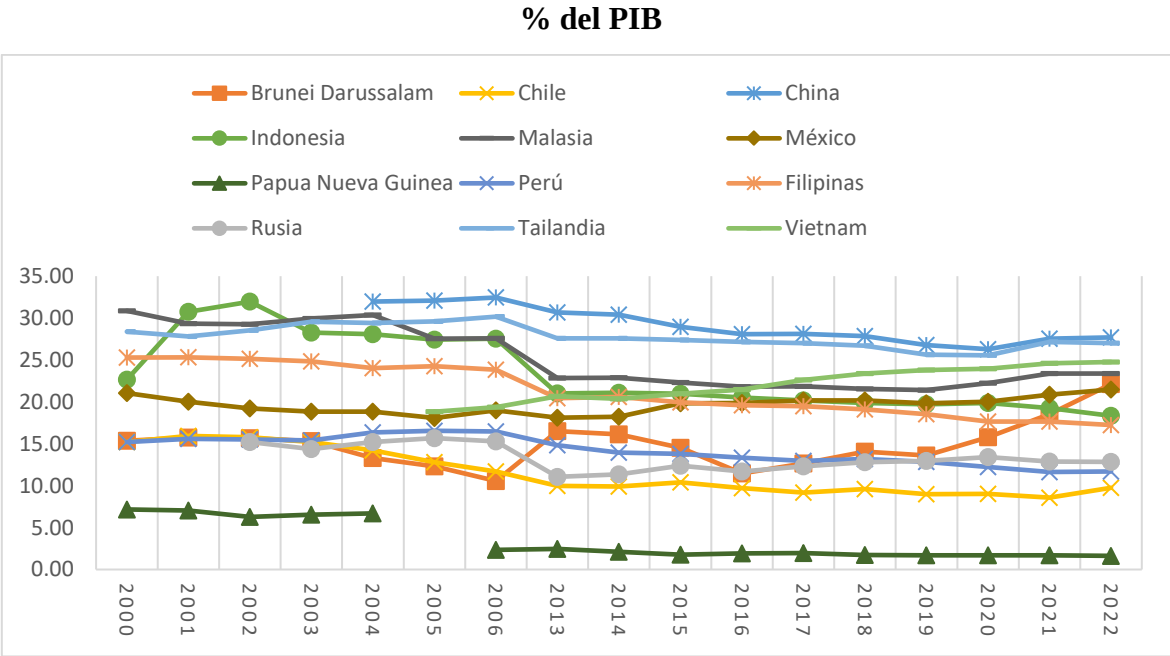
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

Estos datos reflejan una tendencia global de desindustrialización en economías desarrolladas, con un menor peso de la industria manufacturera en el PIB frente al crecimiento de otros sectores económicos, como los servicios. Cabe mencionar que dentro de la industria manufacturera se tomaron en cuenta productos básicos de las secciones 5 (productos químicos), 6 (manufacturas básicas), 7 (maquinaria y equipo de transporte) y 8 (bienes manufacturados diversos) de la CUCI, excluida la división 68 (metales no ferrosos).

La gráfica 2.3 muestra la participación del valor agregado de la industria manufacturera en el Producto Interno Bruto (PIB) de las economías en desarrollo del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) entre 2000 y 2022. Se observan diferentes comportamientos entre las economías analizadas. China, Vietnam y Tailandia muestran una tendencia relativamente alta y estable, con ligeros aumentos en algunos periodos. Por otro lado, economías como Chile, Filipinas y Rusia registran niveles más bajos y con

disminuciones notorias en ciertos años. México y Malasia, aunque con tendencias en descenso, mantienen una participación significativa en el tiempo. Papúa Nueva Guinea se destaca por tener los niveles más bajos y estables a lo largo del periodo. En general, estas economías presentan un panorama mixto, reflejando tanto el desarrollo de sus sectores manufactureros como la diversificación hacia otras actividades económicas.

**Gráfica 2.3 Participación del valor agregado en el PIB de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022.**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

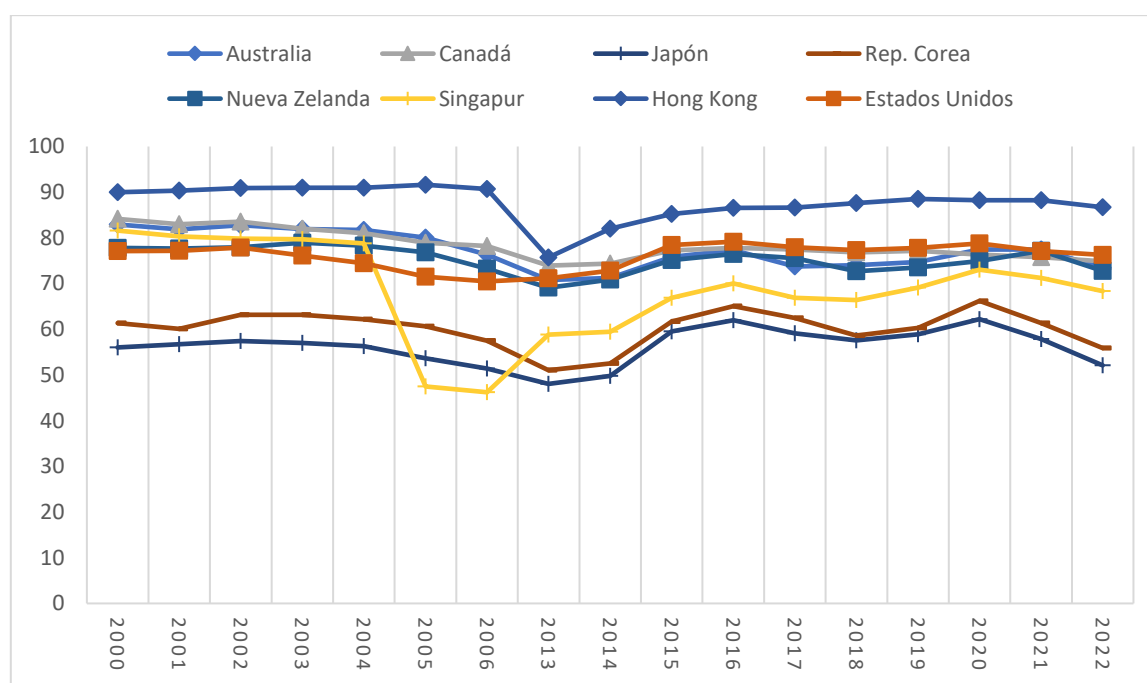
Al ver las gráficas 2.2 y 2.3 se puede observar que la economía del APEC con mayor participación del valor agregado en el PIB de la industria manufacturera es China y la que tiene menor participación es Hong Kong y Papúa nueva Guinea.

Otro indicador a tomar en cuenta como el PIB son las relaciones comerciales, otra manera de verlo es la importancia de la liberalización del comercio para el crecimiento económico y el desarrollo. La liberalización del comercio puede tener beneficios para las economías en desarrollo, como lo son el aumento de las exportaciones y la inversión extranjera directa. Sin embargo, la liberalización del comercio puede tener costos, como la pérdida de empleos y la disminución de los ingresos de los trabajadores. La liberalización del comercio debe ser parte de un enfoque más amplio para el desarrollo económico y que las economías en desarrollo

deben tener políticas adecuadas para aprovechar los beneficios del comercio mundial y mitigar sus costos (IMF, 2001).

Las gráficas de 2.4, 2.5, 2.6 y 2.7 se realizaron con base a los datos del banco mundial tomando únicamente en cuenta la industria manufacturera. La industria manufacturera como se había comentado anteriormente, comprende productos básicos de las secciones 5, 6, 7 y 8 de la CUCI, excluida la división 68.

**Gráfica 2.4 Participación de las importaciones de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022**



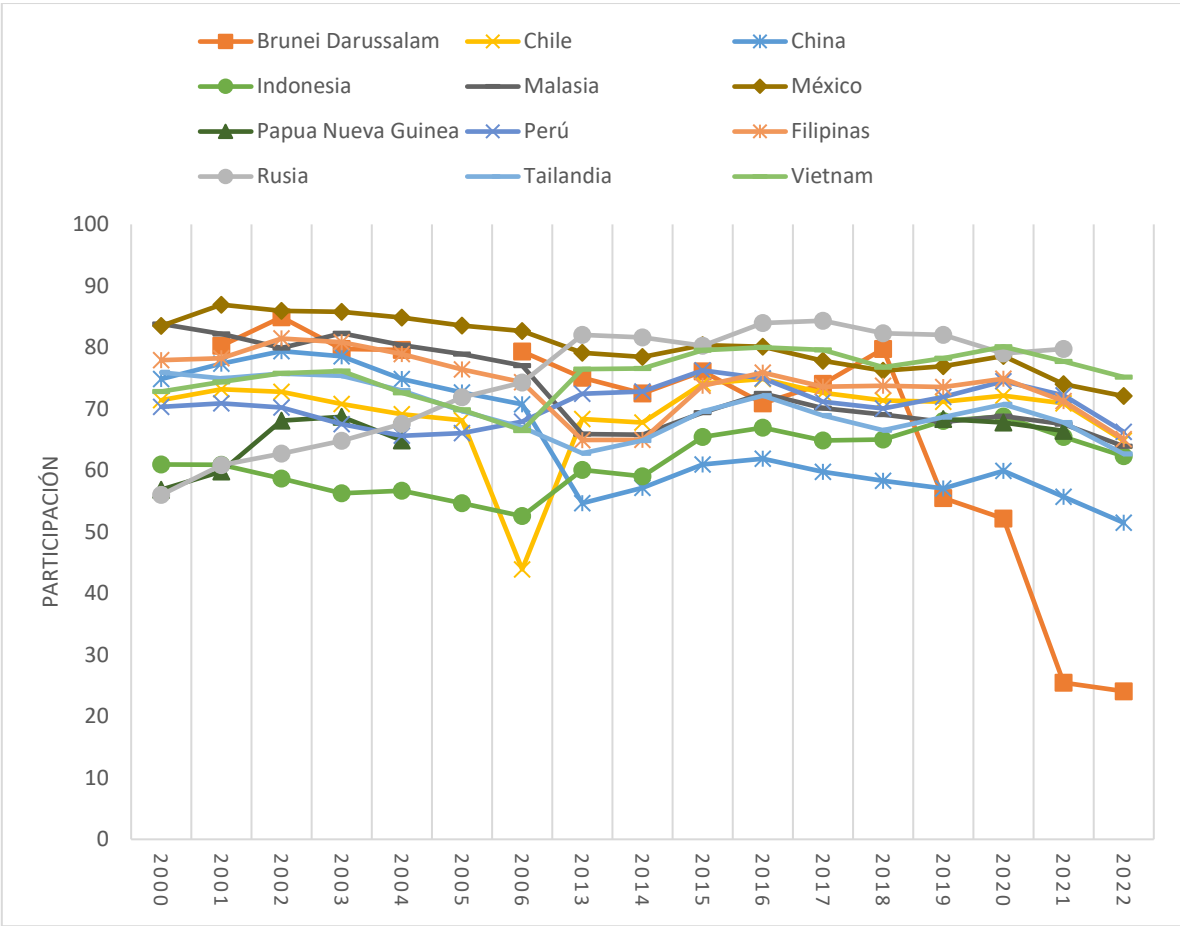
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

En la gráfica 2.4 se puede observar la participación de las importaciones en la industria manufacturera de las economías desarrolladas del APEC que se describe a continuación.

Japón se mantiene dentro de un rango del 40% al 60% siendo la economía con menor participación, Estados Unidos mantiene una participación entre el 70% y 80%, Corea del Sur entre el 50%-60% aproximadamente, Hong Kong, durante todo el periodo de análisis se mantuvo como la economía con mayor participación en las importaciones, oscilando entre 70% y 90%, Singapur experimenta una disminución significativa entre 2004 y 2007, cayendo hasta aproximadamente el 50% de participación, pero se recupera parcialmente,

estabilizándose cerca del 70%, Canadá, Nueva Zelanda y Australia se mantienen estables en niveles moderados, alrededor del 70%-90%.

**Gráfica 2.5 Participación de las importaciones de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022**



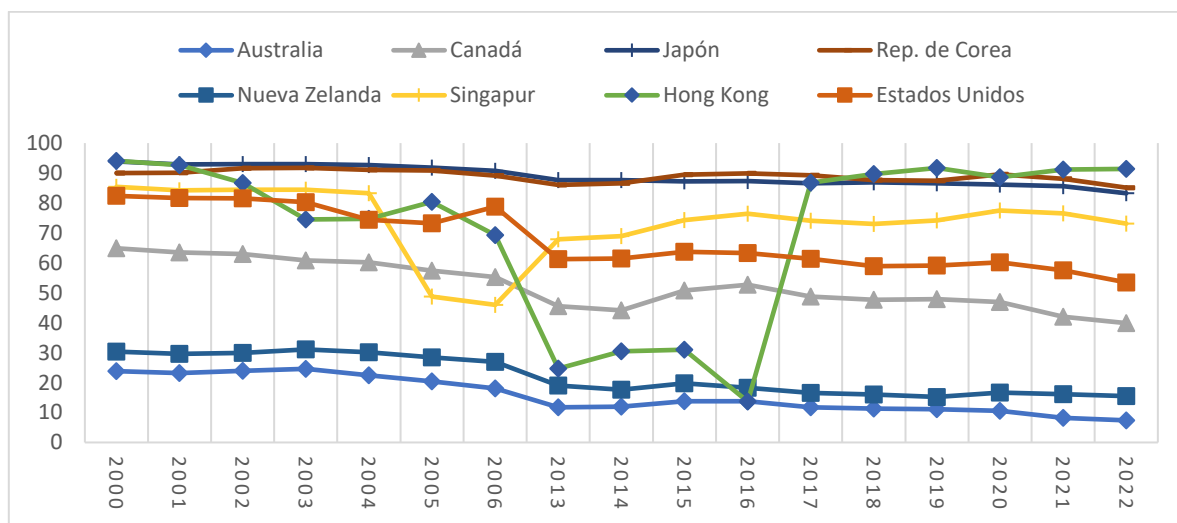
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

La gráfica 2.5 muestra la participación de las importaciones de la industria manufacturera en economías en desarrollo del APEC entre 2000 y 2022. Rusia tiene en los últimos años han sido la que mayor participación tiene en las importaciones de las economías en desarrollo, Vietnam destaca por un crecimiento constante, mientras que Brunei Darussalam sufre una caída abrupta desde 2017 siendo la economía con menor participación en los últimos años.

La gráfica 2.6 muestra la participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) entre 2000 y 2022. Se observan tendencias diferenciadas entre las economías analizados:

- Australia, Canadá y Nueva Zelanda presentan niveles bajos y estables, con mínimas variaciones a lo largo del periodo.
- Japón muestra una tendencia descendente progresiva, aunque mantiene una participación significativa en comparación con otras economías.
- Corea del Sur se mantiene en un nivel alto y relativamente constante, destacándose por su fuerte enfoque en la exportación manufacturera.
- Singapur experimenta un declive abrupto alrededor de 2005, estabilizándose en niveles más bajos posteriormente.
- Hong Kong presenta una caída drástica en su participación que comenzó en el 2002 pero volvió a elevarse para el año 2017 logrando posicionarse como una de las economías desarrolladas del APEC con mayor participación en las exportaciones.
- Estados Unidos muestra una tendencia decreciente leve pero constante.

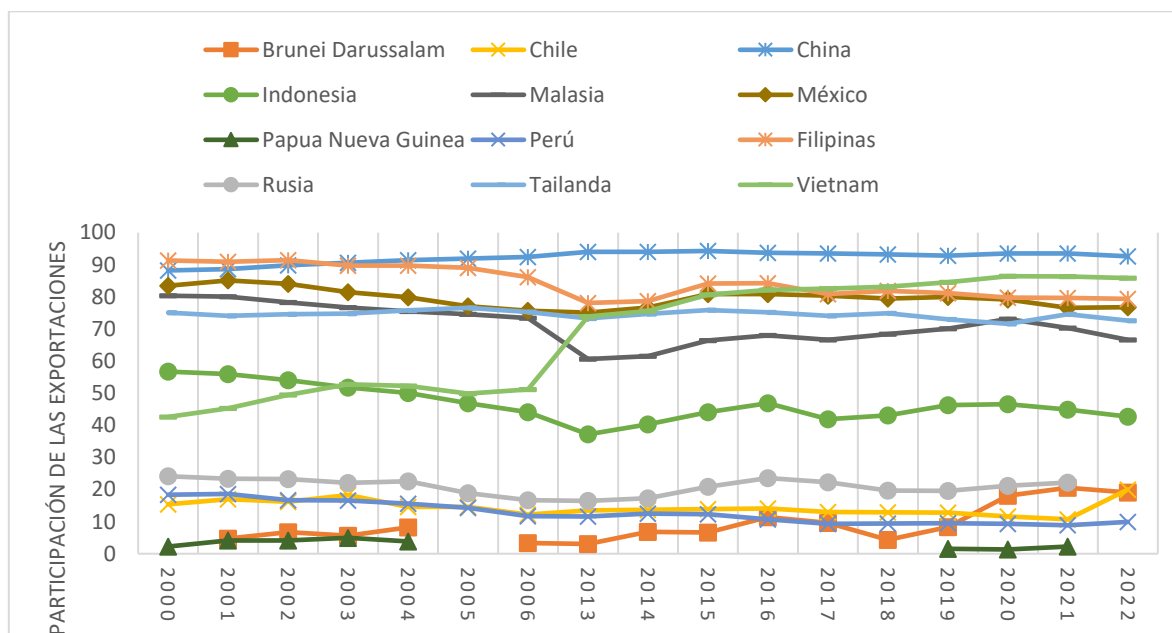
**Gráfica 2.6 Participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, 2000-2022**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

En general, los datos reflejan cómo las economías desarrolladas han experimentado variaciones en la importancia relativa de la industria manufacturera dentro de sus exportaciones. Estas tendencias podrían estar relacionadas por cambios en la estructura económica, la diversificación hacia sectores como los servicios y la tecnología, o la relocalización de actividades manufactureras a otras economías.

**Gráfica 2.7 Participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del APEC, 2000-2022**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2022).

La gráfica 2.7 muestra al igual que la 2.6 la participación de las exportaciones de la industria manufacturera en las economías en desarrollo del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) entre 2000 y 2022. Se identifican distintos comportamientos entre las economías analizadas:

- China se posiciona en la parte superior, mostrando una participación consistentemente alta, superior al 90% en prácticamente todo el periodo analizado, consolidándose como un líder exportador en manufactura.
- Malasia y Vietnam: Malasia mantiene niveles altos, entre el 60% y 80%, con pequeñas variaciones. Vietnam muestra un crecimiento notable, especialmente a partir de 2013, alcanzando niveles más altos que los de Malasia en años recientes.
- Indonesia: Aunque empieza con una participación cercana al 60%, experimenta una notable caída estabilizándose alrededor del 40%-50%.
- México, Tailandia y Filipinas: México, Tailandia y Filipinas se mantienen relativamente estables, siendo la primera economía con una participación cercana al 80% y la segunda y tercera cerca del 70%.

- Chile, Perú y Papúa Nueva Guinea: Chile y Perú tienen participaciones bajas, en torno al 10%-20%, con tendencias algo estables.
- Rusia: Muestra una caída significativa desde 2005, estabilizándose una participación menor al 20%.
- Brunei Darussalam: Tuvo un crecimiento en la participación de las exportaciones de la industria manufacturera llegando un 20%.

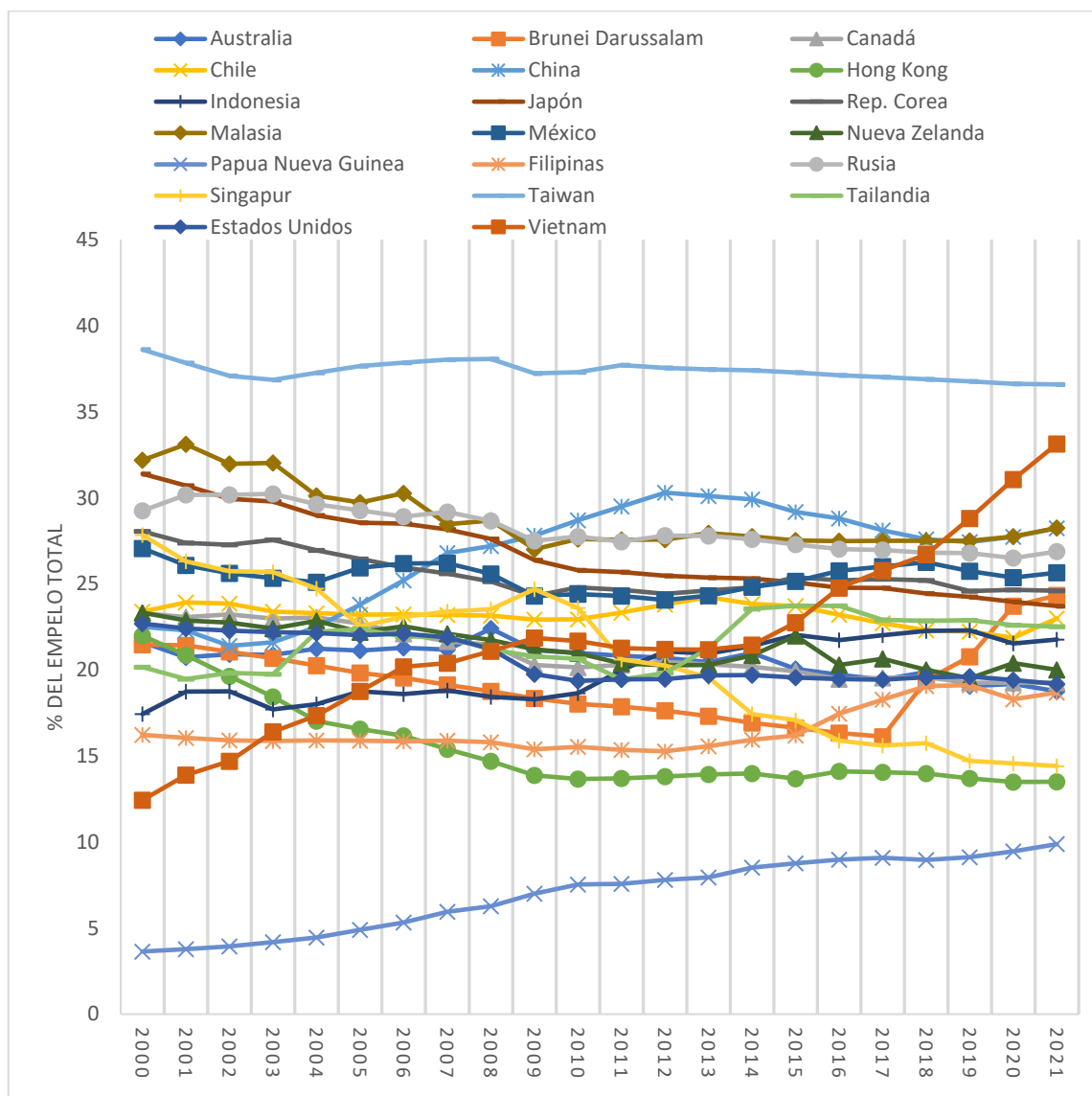
La gráfica 2.7 refleja cómo economías como China, Malasia y Vietnam lideran las exportaciones manufactureras en la región, mientras que otros, como Chile, Perú y Papúa Nueva Guinea, tienen una participación mucho menor. Los cambios en las tendencias destacan el impacto de políticas económicas y globalización en estas economías. En general, las economías en desarrollo del APEC tienen diferentes grados de dependencia y desarrollo en su industria manufacturera exportadora. Por otro lado, en las gráficas 2.6 y 2.7 China, Filipinas, República de Corea y Japón, son las economías con mayor participación en las exportaciones dentro de las economías del APEC.

Otro indicador macroeconómico dentro de la manufactura es el trabajo. El trabajo actúa como un indicador macroeconómico de la manufactura a través de su impacto en el producto interno bruto (PIB) y la generación de empleo. La demanda de empleo en la industria manufacturera de México ha sido analizada considerando variables de desempeño económico como el PIB y los salarios, así como la productividad laboral y las exportaciones de la manufactura (Tavares y Varela, 2019).

Se observa en la gráfica 2.8 cómo ha ido evolucionando el porcentaje de empleados contratados en la industria de manera general según la base de datos del APEC 2023. El sector industrial incluye a empleados que trabajan para un empleador tanto público como privado y reciben una remuneración en salario, comisión, propinas, a destajo o pago en especie. La gráfica 2.8 de la industria incluye minería y canteras (incluida la producción de petróleo), manufactura y construcción.

Se puede observar como la economía con menor participación en las exportaciones es Brunéi Darussalam, esta economía anteriormente también fue clasificado como el de menor cantidad de participación de importaciones dentro del APEC, lo que nos dice que es una economía que no se está prestando mucho a la apertura comercial.

**Gráfica 2.8 Participación del empleo total en la industria en el periodo 2000-2021 en la región del APEC**



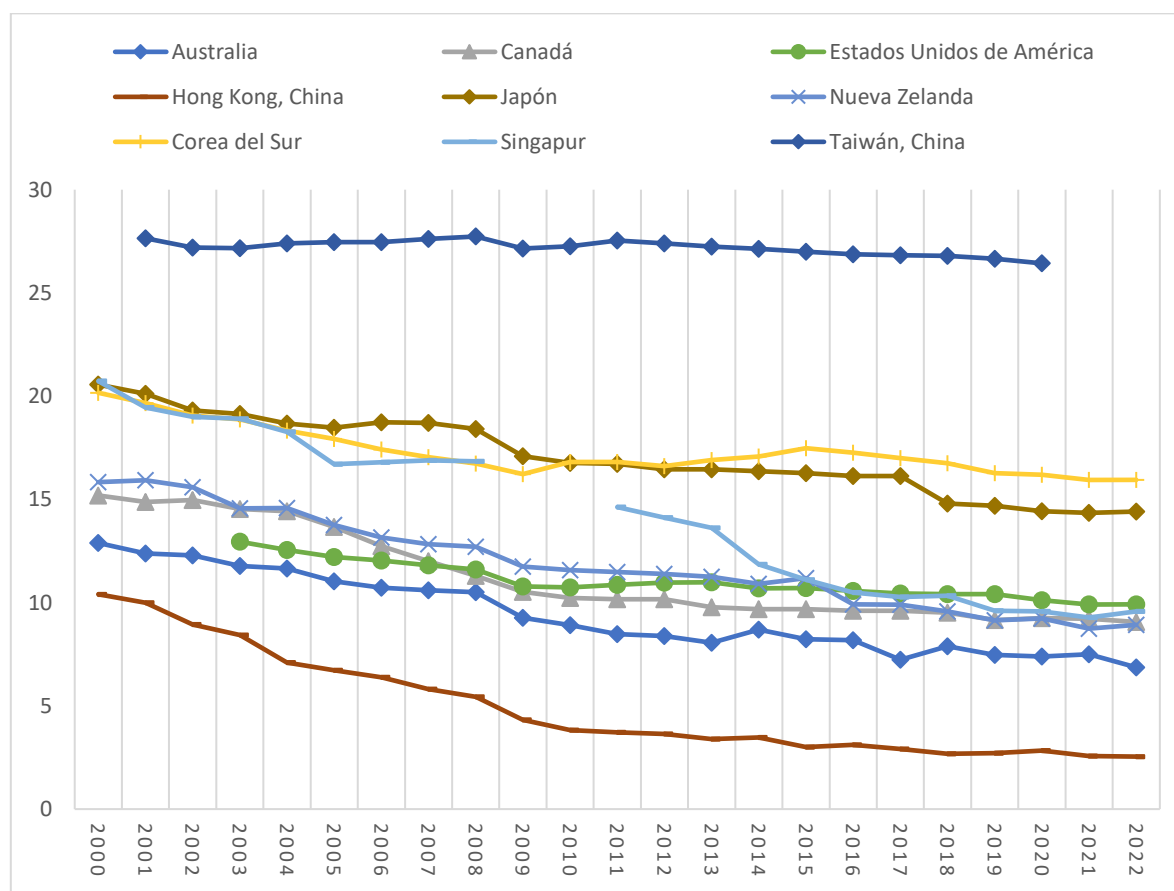
Fuente: Elaboración propia con base en APEC (2022).

Según la gráfica 2.8 la economía que tiene una mayor cantidad de empleos en la industria es Taiwán/Taipei China y por el otro lado, la economía con menor cantidad de trabajadores dentro del marco del APEC en este sector es Papúa Nueva Guinea. Hay economías con un incremento importante en la cantidad que ha aumentado la cantidad de empleados como lo es el caso de Vietnam, en el cual se puede observar gráficamente un crecimiento prácticamente exponencial en la gráfica durante el periodo de estudio. Por lo contrario, se

tiene una disminución brusca de este indicador durante todo el periodo de estudio en la economía de Hong Kong.

La manufactura puede contribuir significativamente al crecimiento económico y la generación de empleo, lo que perturbar favorablemente en el PIB y en la reducción de la pobreza (Lovato, et al., 2019; IMF, 2001). Además, la industria manufacturera puede ser líder en la estructura sectorial económica de una economía, destacando su aportación al PIB, al empleo bien remunerado y permanente.

**Gráfica 2.9 Participación del empleo manufacturero en el empleo total de las economías desarrolladas del APEC en el periodo 2000-2022.**



Fuente: Elaboración propia con base en Organización Internacional del Trabajo (2022).

Para este indicador de la gráfica 2.9 se analizó únicamente del periodo del 2000-2022 debido a que los datos son más completos. Se puede observar que las economías desarrolladas con mayor participación de empleo del sector manufacturero en el periodo mencionado es

Taiwán, Corea del Sur y Japón. Por el otro lado las economías con menor participación de empleo es Hong Kong y Australia.

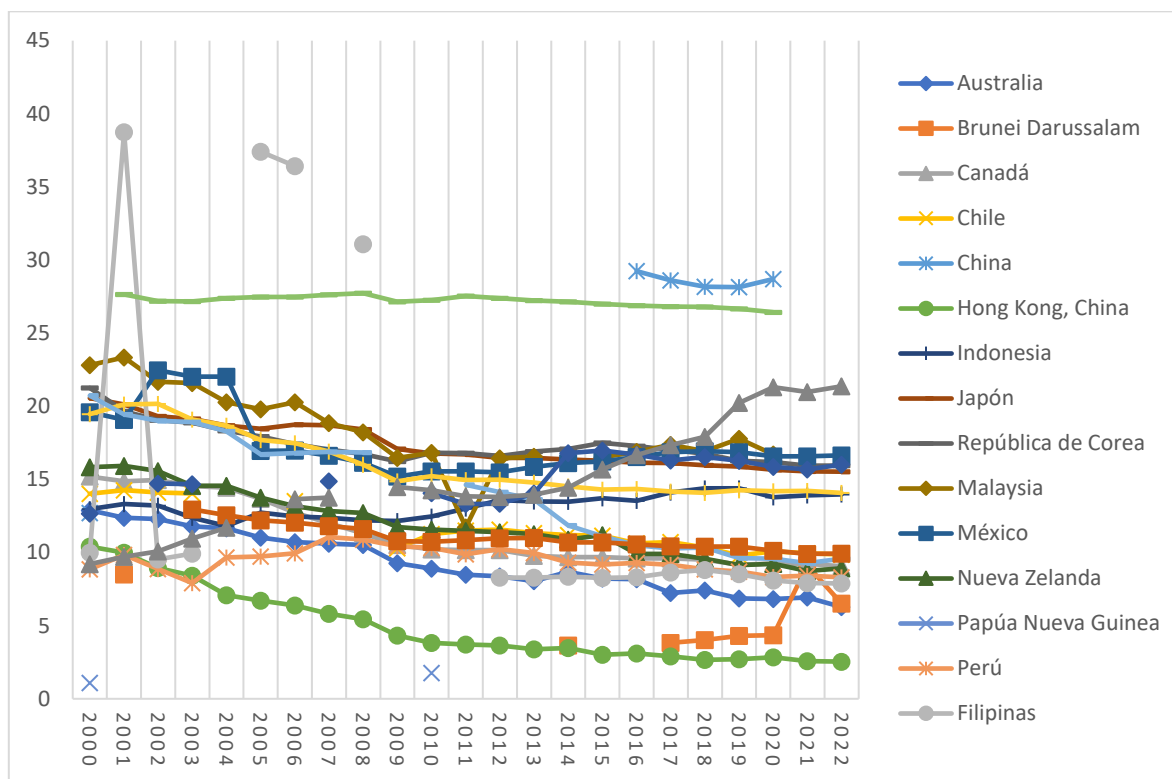
En la gráfica 2.10 se puede observar que Filipinas muestra un pico pronunciado cercano al 40% al inicio del período, China mantiene una tendencia relativamente estable alrededor del 28-30% hacia el final del período y la mayoría de las economías muestran una participación entre el 10% y el 20%. Vietnam tiene una tendencia creciente en los últimos años del período

Uno de los últimos indicadores tratados en esta investigación es la inversión. La inversión es un componente esencial para realizar investigaciones en el sector manufacturero, ya que permite el desarrollo y la implementación de nuevas tecnologías, mejora la eficiencia operativa y fomenta la innovación. La inversión en investigación también puede enfocarse en desarrollar prácticas de manufactura sostenibles. Sanchis Palacio y Rodríguez Pérez (2021) argumentan que las inversiones en responsabilidad social empresarial, como el Fondo de Educación y Promoción (FEP), pueden mejorar la sostenibilidad y la imagen corporativa de las empresas manufactureras, lo que a su vez puede atraer a consumidores conscientes y mejorar su aprecio a la empresa.

La inversión en infraestructura y sistemas de gestión es necesaria para mejorar la eficiencia operativa en la manufactura. Johnson & Lee (2022), destacan que la implementación de sistemas de gestión de calidad y la inversión en maquinaria moderna pueden reducir el tiempo de inactividad y los desperdicios, aumentando así la eficiencia del proceso. Esta eficiencia es un factor clave que puede determinar el éxito o fracaso de las operaciones manufactureras.

La inversión en prácticas sostenibles es cada vez más importante en el sector manufacturero. Según Thompson (2021), la inversión en tecnologías verdes y procesos sostenibles no solo reduce el impacto ambiental, sino que también ayuda a la imagen de la empresa y atrae a consumidores que se preocupan por medio ambiente. La sostenibilidad se está convirtiendo en un diferenciador clave en el mercado global.

**Gráfica 2.10 Participación del empleo manufacturero en el empleo total de las economías en desarrollo del APEC en el periodo 2000-2022.**



Fuente: Elaboración propia con base en Organización Internacional del Trabajo (2022).

En resumen, la inversión es una variable fundamental para una investigación de tesis sobre manufactura debido a su impacto en el desarrollo tecnológico, la eficiencia operativa, la innovación, la sostenibilidad y el desarrollo del personal. Las fuentes académicas revisadas demuestran que una inversión adecuada puede proporcionar un retorno significativo, mejorar la competitividad y asegurar el crecimiento sostenible del sector manufacturero.

## 2.3 Las economías desarrolladas y en desarrollo en el APEC. El sector manufacturero y sus principales estadísticas

### 2.3.1 Una nota metodológica

Las economías según el APEC, se pueden dividir en economías en desarrollo (*developing economies*) y desarrolladas (*developed economies*). Tomando en cuenta la división de economías desarrolladas del APEC hay únicamente a 5 economías, los cuales son Estados Unidos de América, Australia, Canadá, Japón y Nueva Zelanda. Por lo tanto, se tendrían

como economías en desarrollo a las 16 economías faltantes (Anguiano, 2000; Aduanas de Chile, s.f.; Rodriguez, 2008).

Si se dividen las economías del APEC con base a los datos del Fondo Monetario Internacional (FMI,2020) se tienen las economías avanzadas (*Advanced economies*) que se nombrarán como desarrolladas y las economías emergentes y en desarrollo (*Emerging and developing economies*) que se denominarán como en desarrollo en esta investigación. Dentro de las economías desarrolladas están Australia, Canadá, Japón, República de Corea, Nueva Zelanda, Singapur, Estados Unidos de América, Hong Kong y Taipéi. por lo tanto, se tienen como economías emergentes y en desarrollo a las otras 12 economías faltantes.

En la tabla 2.1 se puede observar a las economías del APEC ordenadas alfabéticamente y con su respectiva clasificación según el APEC y el FMI. Analizando la tabla 2.1 se encuentra en resumen que, según el APEC hay 5 economías desarrolladas y 14 en desarrollo. Por otra parte, según el Fondo Monetario Internacional (FMI, 2020) se tendrían 9 economías avanzadas y 12 economías emergentes y en desarrollo. Viendo este resumen, para hacer un análisis más equilibrado y hacer mediciones más equitativas y no tan sesgadas se utilizará la clasificación del Fondo Monetario Internacional (FMI).

**Tabla 2.1 Economías del APEC alfabéticamente con su clasificación.**

| <b>Economía</b>               | <b>Clasificación APEC</b> | <b>Clasificación FMI</b>              | <b>Año de<br/>incorporación<br/>al APEC</b> |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------------|
| <b>Australia</b>              | Economía desarrollada     | Economía avanzada                     | 1989                                        |
| <b>Brunéi</b>                 | Economía en desarrollo    | Economía emergente y en<br>desarrollo | 1989                                        |
| <b>Darussalam</b>             |                           |                                       |                                             |
| <b>Canadá</b>                 | Economía desarrollada     | Economía Avanzada                     | 1989                                        |
| <b>Chile</b>                  | Economía en desarrollo    | Economía emergente y en<br>desarrollo | 1994                                        |
| <b>China</b>                  | Economía en desarrollo    | Economía emergente y en<br>desarrollo | 1991                                        |
| <b>República de<br/>Corea</b> | Economía en desarrollo    | Economía Avanzada                     | 1989                                        |
| <b>Estados Unidos</b>         | Economía desarrollada     | Economía Avanzada                     | 1989                                        |

|                           |                        |                                    |      |
|---------------------------|------------------------|------------------------------------|------|
| <b>Filipinas</b>          | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1989 |
| <b>Hong Kong, China</b>   | Economía en desarrollo | Economía Avanzada                  | 1991 |
| <b>Indonesia</b>          | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1989 |
| <b>Japón</b>              | Economía desarrollada  | Economía Avanzada                  | 1989 |
| <b>Malasia</b>            | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1989 |
| <b>México</b>             | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1993 |
| <b>Nueva Zelanda</b>      | Economía desarrollada  | Economía Avanzada                  | 1989 |
| <b>Papúa Nueva Guinea</b> | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1993 |
| <b>Perú</b>               | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1998 |
| <b>Rusia</b>              | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1998 |
| <b>Singapur</b>           | Economía en desarrollo | Economía Avanzada                  | 1989 |
| <b>Tailandia</b>          | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1989 |
| <b>Taiwán</b>             | Economía en desarrollo | Economía Avanzada                  | 1991 |
| <b>Vietnam</b>            | Economía en desarrollo | Economía emergente y en desarrollo | 1998 |

Fuente: Elaboración propia con base en APEC (2023); el FMI (2020); Rodríguez (2008).

Para este proyecto de investigación, el concepto de economías emergentes y en desarrollo del Fondo Monetario Internacional se conocerá para fines prácticos como economías en desarrollo y para el término economías avanzadas se les denominará en lo sucesivo economías desarrolladas.

### 2.3.2 Economías desarrolladas

En este apartado se analizará la variable trabajo, inversión y valor agregado de la industria manufacturera de las economías desarrolladas del APEC con base a la UNIDO (2024) y al Banco Mundial (2024).

La tabla 2.3.2.1 muestra la evolución del número de trabajadores en la industria manufacturera en las economías desarrolladas del APEC, excluyendo a Estados Unidos y Japón debido a que son las economías con mayor número de trabajadores dentro de las economías analizadas, durante el período 2000-2022. Las economías incluidas en el gráfico son Australia, Canadá, Hong Kong, Nueva Zelanda, Corea del Sur y Singapur. Este análisis se basa en datos obtenidos en la UNIDO (2024).

Australia, a lo largo del período, el número de trabajadores en la industria manufacturera ha mostrado una tendencia relativamente estable, con ligeras fluctuaciones. No se observan cambios drásticos, lo que sugiere una estabilidad en el sector manufacturero. La estabilidad en el número de trabajadores sugiere que la industria manufacturera en Australia ha mantenido una capacidad constante a lo largo de los años, sin grandes expansiones ni contracciones.

Canadá se observa una tendencia decreciente en el número de trabajadores en la industria manufacturera desde el año 2000 hasta aproximadamente 2016. A partir de 2016, hay una ligera recuperación, pero la cifra sigue siendo menor en comparación con el año 2000.

Para Hong Kong el número de trabajadores en la industria manufacturera ha sido consistentemente bajo en comparación con otras economías y muestra una ligera tendencia a la baja, indicando una posible disminución en la importancia de la manufactura en su economía.

Nueva Zelanda, similar a Hong Kong el número de trabajadores en la industria manufacturera es relativamente bajo y ha mostrado una tendencia estable con ligeras fluctuaciones a lo largo del período.

Corea del Sur muestra la mayor cantidad de trabajadores en la industria manufacturera entre las economías analizadas. Aunque hay fluctuaciones significativas, especialmente alrededor de 2015, la tendencia general es de estabilidad con un ligero aumento en los últimos años. En el año 2000, el número de trabajadores era aproximadamente de 2.5 millones. A lo largo del período, ha habido fluctuaciones significativas, alcanzando un pico de alrededor de 3.5 millones en 2015, y estabilizándose alrededor de 2.8 millones en 2022. La alta y fluctuante cantidad de trabajadores en la manufactura indica que Corea del Sur sigue siendo una

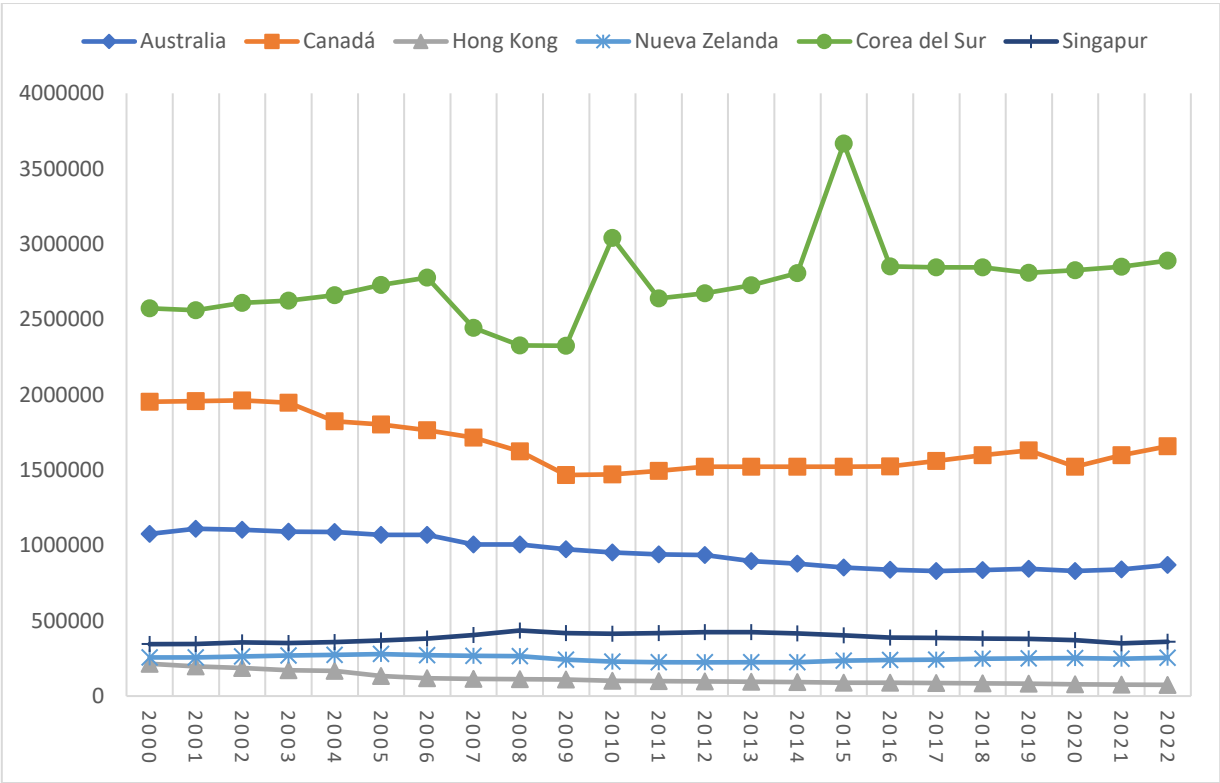
economía fuertemente industrializada, con variaciones que podrían estar relacionadas con ciclos económicos o cambios en la demanda global.

En Singapur el número de trabajadores en la industria manufacturera ha sido estable, con pequeñas fluctuaciones. No se observan cambios drásticos, lo que sugiere una estabilidad en el sector manufacturero.

El gráfico 2.3.2.2 muestra la evolución del número de trabajadores en la industria manufacturera en Estados Unidos y Japón durante el período 2000-2022.

Se puede observar que en Estados Unidos hay una clara tendencia decreciente en el número de trabajadores en la industria manufacturera. En el año 2000 hubo aproximadamente 17 millones de empleados, pero, para el año 2010 ese número cayó a 12 millones de trabajadores manteniéndose cercano a esa cifra para el año de. En resumen, la mayor caída se observa entre 2000 y 2010, con una estabilización relativa en los años siguientes.

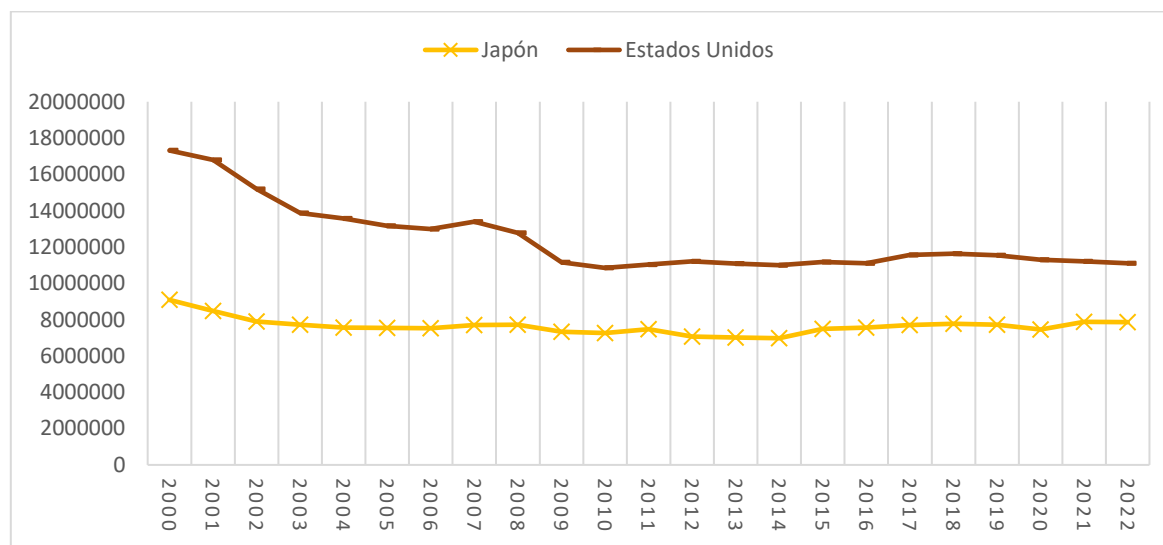
**Gráfico 2.3.2.1 Número de trabajadores en las economías desarrolladas del APEC sin Estados Unidos de América y Japón (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024).

La significativa disminución en el número de trabajadores en la industria manufacturera sugiere una fuerte desindustrialización o una alta adopción de automatización y tecnología avanzada. La estabilización observada en los últimos años podría indicar un ajuste a una nueva normalidad en el sector.

**Gráfico 2.3.2.2 Número de trabajadores en Estados Unidos de América y Japón (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024)

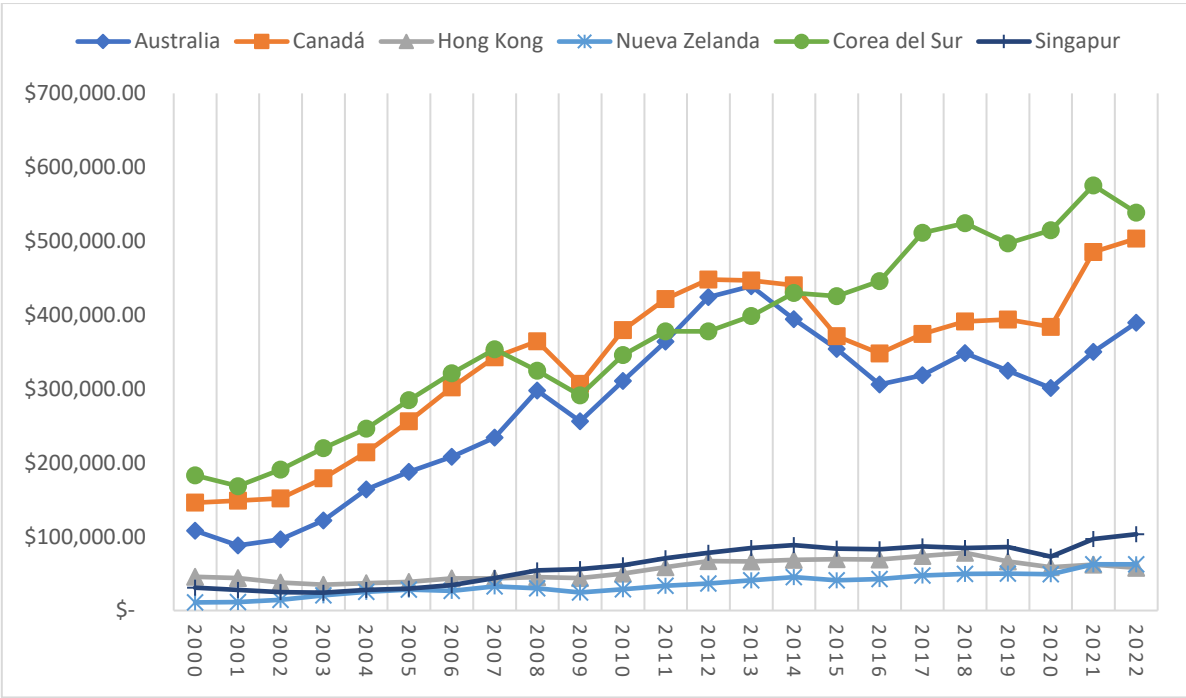
Con Japón hay una ligera tendencia decreciente en el número de trabajadores en la industria manufacturera. Para el año 2000 hubo alrededor de 9 millones de trabajadores, para los años del 2010 al 2022 ha habido cerca de 8 millones de trabajadores. La cifra se ha mantenido relativamente estable con una ligera disminución a lo largo del período.

La ligera disminución y posterior estabilización en el número de trabajadores en la industria manufacturera indica una posible transición hacia una economía más diversificada, con una menor dependencia del sector manufacturero, aunque sigue siendo un componente importante de la economía.

En resumen, ambas economías muestran una tendencia decreciente en el número de trabajadores en la industria manufacturera, reflejando cambios estructurales en sus economías y posiblemente una mayor adopción de tecnologías avanzadas y automatización.

El indicador de inversión se midió con la variable formación bruta de capital fijo con precios corrientes y en dólares.

**Gráfico 2.3.2.3 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de las economías desarrolladas sin EUA y Japón (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024)

El gráfico 2.3.2.3 muestra la evolución de la formación bruta de capital fijo en varias economías desarrolladas del APEC durante el período 2000-2022. Las economías incluidas son Australia, Canadá, Hong Kong, Nueva Zelanda, Corea del Sur y Singapur.

Con Australia se puede observar una tendencia positiva en la formación bruta de capital fijo ya que para el año 2000 se tenía alrededor de \$100,000 millones de dólares en inversión, pero, para el año 2022 ya se tenía de aproximadamente \$200,000 millones. En resumen, la formación bruta de capital fijo en Australia ha mostrado un crecimiento constante, indicando una inversión continua en infraestructura y activos productivos.

En Canadá también se puede encontrar una tendencia ascendente con algunas fluctuaciones, por ejemplo, en el año 2000 se invirtió alrededor de \$200,000 millones de dólares, la cual es una cantidad inferior comparándola con la del año 2022 donde se invirtieron \$500,000 millones dólares. Con esto se observa un crecimiento notable con picos alrededor de 2008 y

2014, seguido de una estabilización. Canadá ha experimentado un crecimiento notable en la formación bruta de capital fijo, con algunos aumentos que reflejan períodos de alta inversión, seguidos de una estabilización.

Con Hong Kong la formación bruta de capital fijo ha sido relativamente baja y estable, esto se observa al comparar el Año 2000 con alrededor de \$50,000 millones de dólares a comparación del año 2022 con cerca de \$80,000 millones de dólares americanos, en otras palabras, Hong Kong muestra un crecimiento moderado y estable.

En Nueva Zelanda hay una tendencia positiva moderada y esto se puede observar comparando los cambios en la gráfica desde el año 2000 al 2022, donde, en resumen, en el año 2000 hubo alrededor de \$20,000 millones de dólares y en el año 2022 aproximadamente \$50,000 millones de dólares.

Corea del Sur tiene una tendencia ascendente con fluctuaciones significativas. Para el año 2000 hubo \$300,000 millones de dólares y para año 2022 cerca de \$600,000 millones. Corea del Sur muestra un crecimiento significativo con picos notables alrededor de 2008 y 2014.

Singapur tiene una tendencia positiva moderada con cifras aproximadas para el año 2000 de \$50,000 millones de dólares y acabando en el 2022 de \$100,000 millones de dólares.

En resumen, cada economía muestra diferentes tendencias en la formación bruta de capital fijo, reflejando sus respectivas estrategias de inversión y niveles de desarrollo económico.

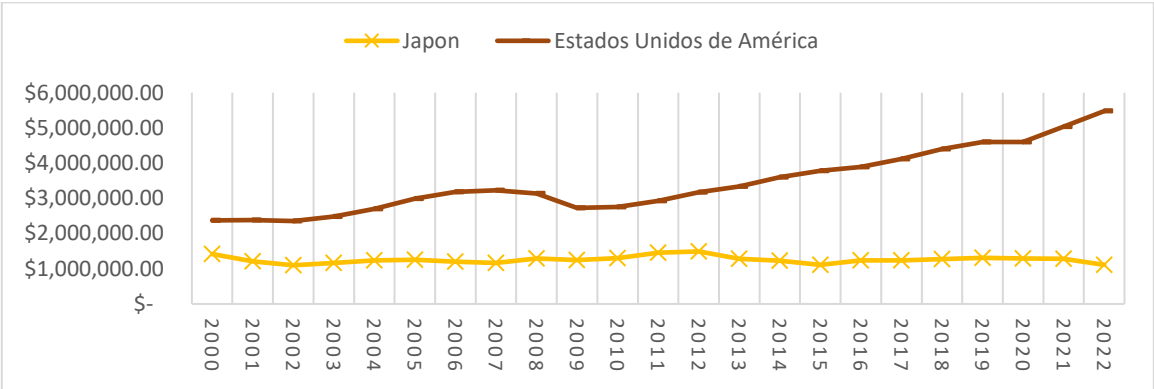
El gráfico 2.3.2.4 muestra la evolución de la formación bruta de capital fijo en Estados Unidos y Japón durante el período 2000-2022.

Estados Unidos tiene una tendencia ascendente significativa en la formación bruta de capital fijo. En el año 2000 hubo \$2,500,000 millones de dólares en inversión y para el año 2022 aproximadamente \$5,500,000 millones. La formación bruta de capital fijo en Estados Unidos ha mostrado un crecimiento constante y significativo, lo que indica una fuerte inversión en infraestructura y activos productivos. Este aumento puede reflejar una economía en expansión y una alta confianza en el futuro económico de la economía. La aceleración del crecimiento después de 2010 podría estar relacionada con políticas económicas favorables y una recuperación robusta de la crisis financiera de 2008.

En Japón la formación bruta de capital fijo ha sido relativamente estable con ligeras fluctuaciones en el 2000 fueron alrededor de \$1,200,000 millones de dólares y para el 2022 cerca de \$1,000,000 millones de dólares. Japón ha mantenido una formación bruta de capital fijo prácticamente estable con algunas fluctuaciones. La ligera disminución en los últimos años podría indicar una economía madura con menos necesidad de expansión en infraestructura o una mayor eficiencia en el uso de sus activos existentes. También puede reflejar desafíos económicos internos y una menor confianza en el crecimiento futuro.

En resumen, Estados Unidos muestra una tendencia ascendente y acelerada en la formación bruta de capital fijo, indicando una fuerte inversión y expansión económica. Japón, sin embargo, muestra una tendencia estable con una ligera disminución, reflejando una economía madura y posiblemente más eficiente, pero con menos crecimiento en inversión en activos fijos.

**Gráfico 2.3.2.4 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de EUA y Japón (2000-2022)**



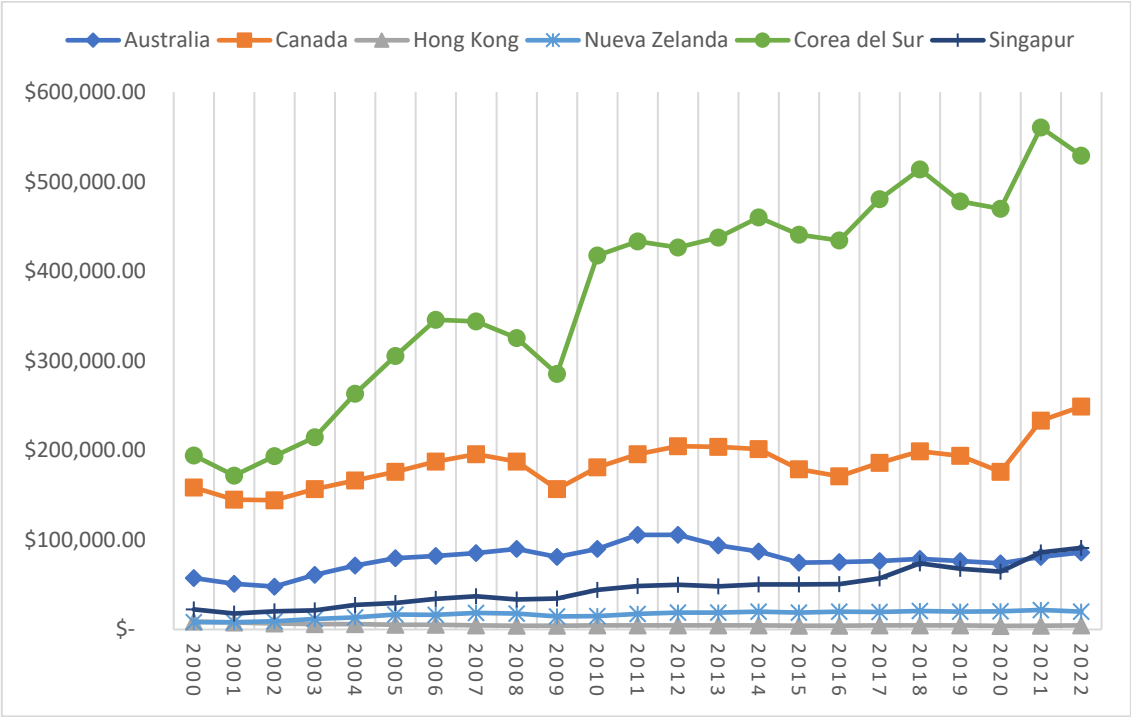
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

El valor agregado en la manufactura es una medida económica que refleja la contribución del sector manufacturero al Producto Interno Bruto (PIB) de una economía. Este valor se calcula restando el costo de los insumos y materias primas del valor total de los productos manufacturados. Es un indicador determinante para entender la salud y el desarrollo del sector manufacturero en una economía, ya que muestra la capacidad de una nación para transformar materias primas en productos de mayor valor. En el contexto de las economías desarrolladas del APEC, el valor agregado de la manufactura proporciona una visión detallada de cómo estas naciones están evolucionando en términos de producción industrial

y eficiencia económica. El gráfico 2.3.2.5 muestra la evolución del valor agregado de la manufactura en millones de dólares de varias economías desarrolladas del APEC, excluyendo a Estados Unidos y Japón, durante el período 2000-2022.

Australia muestra una tendencia relativamente estable en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, la cifra era de aproximadamente \$50,000 millones, y para el año 2022, esta cifra se incrementó alrededor de \$70,000 millones. La estabilidad con un leve crecimiento sugiere que la industria manufacturera en Australia ha mantenido una capacidad constante sin grandes expansiones ni contracciones, reflejando una economía manufacturera estable.

**Gráfico 2.3.2.5 Valor agregado de la manufactura de las economías desarrolladas en millones de dólares sin Estados Unidos y Japón (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024)

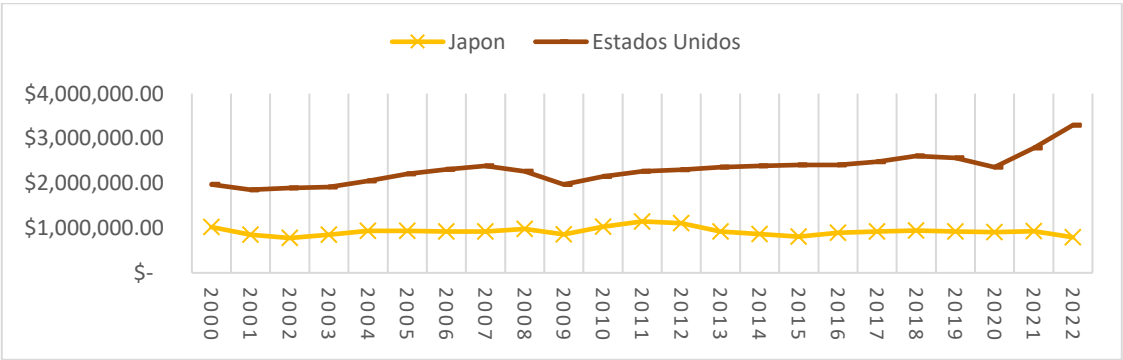
Canadá tiene una tendencia positiva con fluctuaciones. En el año 2000, el valor agregado de la manufactura era aproximadamente de \$200,000 millones de dólares, pero, para el año 2022 esta cifra aumentó alrededor de \$300,000 millones de dólares. Este crecimiento, aunque con algunas variaciones, indica una inversión continua y una expansión moderada en el sector manufacturero canadiense.

En Hong Kong se observa una tendencia estable en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, la cifra era de aproximadamente \$20,000 millones de dólares, y para el año 2022, esta cifra se mantuvo cerca de \$30,000 millones de dólares. La estabilidad en estas cifras sugiere que la manufactura no ha sido un sector de gran crecimiento en Hong Kong, posiblemente debido a su enfoque en otros sectores económicos.

Nueva Zelanda cuenta con una tendencia estable con un leve crecimiento en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, era aproximadamente de \$10,000 millones de dólares, y para el año 2022, esta cifra había aumentado a alrededor de \$20,000 millones de dólares, dobleteando así el valor inicial. Este crecimiento moderado indica una inversión gradual en el sector manufacturero neozelandés.

Corea del Sur muestra una tendencia ascendente significativa en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, la cifra era aproximadamente de \$200,000 millones, y para el año 2022, esta cifra había aumentado a alrededor de \$500,000 millones. Este crecimiento notable refleja una fuerte inversión y expansión en el sector manufacturero surcoreano, consolidándose como un pilar importante de su economía.

**Gráfico 2.3.2.6 Valor agregado de la manufactura de Estados Unidos y Japón en millones de dólares (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024)

A continuación, se presenta la evolución del valor agregado de la manufactura en millones de dólares para Estados Unidos y Japón (Gráfico 2.3.2.6) durante el período 2000-2022.

Estados Unidos muestra una clara tendencia ascendente en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, la cifra era aproximadamente de \$2,000,000 millones, y para

el año 2022, esta cifra se había incrementado significativamente a alrededor de \$3,500,000 millones. Este crecimiento constante y acelerado, especialmente después de 2020, indica una fuerte inversión y expansión en el sector manufacturero, reflejando una economía en expansión y una alta confianza en el futuro económico de la economía.

Japón tiene una tendencia relativamente estable con ligeras fluctuaciones en el valor agregado de la manufactura. En el año 2000, la cifra era aproximadamente de \$1,000,000 millones, y para el año 2022, había disminuido ligeramente a cerca de \$800,000 millones. Esta estabilidad con una ligera disminución en los últimos años podría indicar una economía madura con menos necesidad de expansión en infraestructura o una mayor eficiencia en el uso de sus activos existentes, reflejando desafíos económicos internos y una menor confianza en el crecimiento futuro.

### **2.3.3 Economías en desarrollo**

En este análisis se examinarán las economías en desarrollo del APEC, enfocándonos en tres variables clave: el número de trabajadores en la industria manufacturera, la inversión en formación bruta de capital fijo, y el valor agregado de la manufactura. A través de gráficos, se desglosará cómo estas economías han evolucionado en términos de empleo, inversión y producción industrial durante el período 2000-2022.

Se comenzará el análisis con la variable trabajo, observando la evolución del número de trabajadores en diversas economías en desarrollo, excluyendo a China de manera inicial, en el periodo comprendido entre los años 2000 y 2022. Este análisis nos permitirá entender las tendencias laborales y los cambios en la fuerza de trabajo en diferentes economías.

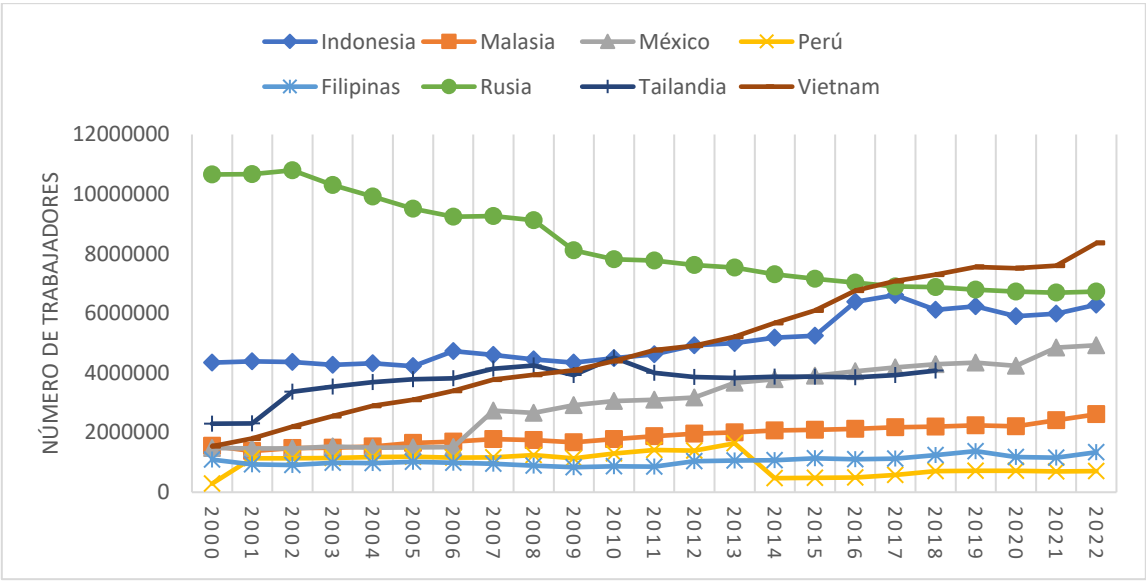
En la gráfica 2.3.3.1 se puede observar que, en Indonesia, la cantidad de trabajadores ha mostrado una tendencia descendente. En el año 2000, el número de trabajadores era cercano a los 100 millones, y para el 2022, esta cifra se redujo a aproximadamente 80 millones. Esta disminución refleja posibles cambios estructurales en la economía y el mercado laboral de la economía.

Malasia presenta una tendencia fluctuante en su número de trabajadores. En el inicio del periodo, alrededor del año 2000, tenía aproximadamente 1.5 millones de trabajadores. Esta

cifra experimentó altibajos a lo largo de los años, alcanzando cerca de 2.6 millones en 2022, lo que indica una recuperación y crecimiento en la última década.

México muestra un crecimiento constante en su fuerza laboral. En el año 2000, la economía contaba con cerca de 1.5 millones de trabajadores. Para el 2022, esta cifra aumentó significativamente, llegando a alrededor de 5 millones. Este incremento refleja un crecimiento económico y una expansión del mercado laboral.

**Gráfica 2.3.3.1 Número de trabajadores en las economías en desarrollo sin China (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024).

En Perú, el número de trabajadores ha tenido un crecimiento moderado. Comenzando con aproximadamente 0.3 millones en el año 2000, la cifra aumentó gradualmente hasta alcanzar cerca de 0.7 millones en 2022. Este crecimiento sostenido indica una expansión continua del empleo en la economía.

Filipinas también ha experimentado un aumento en su fuerza laboral. En el año 2000, el número de trabajadores era cercano a 1 millón, y para el 2022, esta cifra se incrementó a aproximadamente 1.3 millones. Este crecimiento refleja un desarrollo económico y una mayor participación en el mercado laboral.

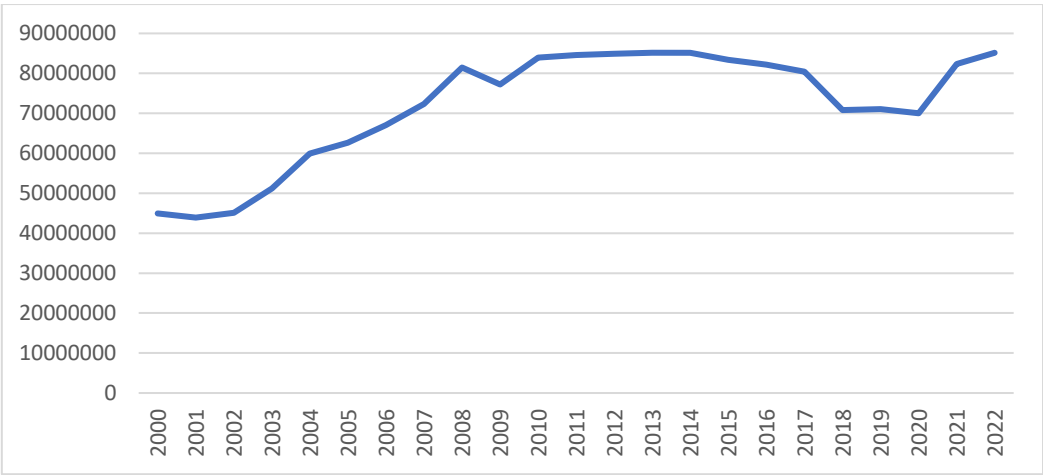
Rusia presenta una tendencia decreciente en su número de trabajadores. En el año 2000, contaba con alrededor de 10.6 millones de trabajadores, pero esta cifra ha disminuido a

aproximadamente 6.7 millones en 2022. Esta reducción puede estar relacionada con factores demográficos y económicos.

Tailandia muestra una tendencia relativamente estable con ligeras fluctuaciones. En el año 2000, el número de trabajadores era cercano a los 2.3 millones, y para el 2022, la cifra se mantuvo en torno a los 4.7 millones. Esto indica una estabilidad en el mercado laboral de la economía.

Vietnam ha experimentado un notable crecimiento en su fuerza laboral. En el año 2000, el número de trabajadores era de aproximadamente 1.5 millones, y para el 2022, esta cifra se incrementó a cerca de 8.4 millones. Este aumento refleja un fuerte desarrollo económico y una expansión del empleo en la economía.

**Gráfica 2.3.3.2 Número de trabajadores en China (2000-2022)**



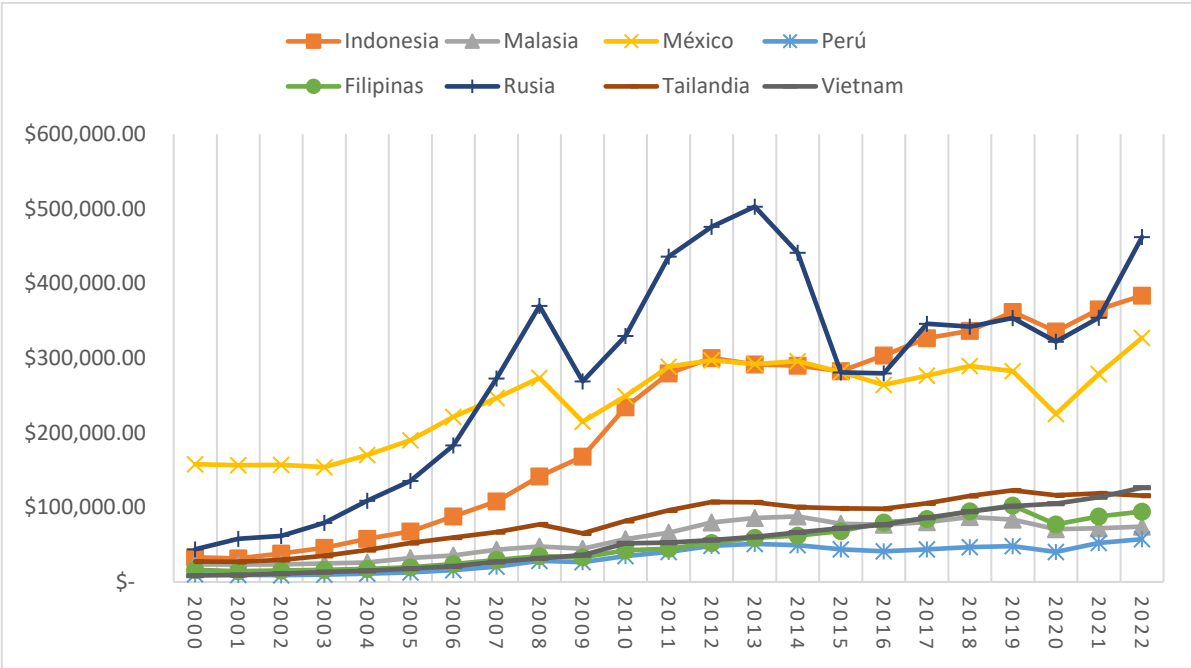
Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024).

En cuanto a China, en la gráfica 2.3.3.2, se puede observar que el número de trabajadores ha mostrado una tendencia ascendente con algunas fluctuaciones. Durante el año 2000, el número de trabajadores era de 45 millones aproximadamente. Esta cifra aumentó a lo largo de los años, alcanzando un pico cercano a los 84 millones en 2010, antes de experimentar una ligera disminución y luego recuperarse nuevamente para llegar a cerca de 85 millones en 2022. Este comportamiento refleja la dinámica compleja del mercado laboral chino.

A continuación, se encuentra el análisis de la variable inversión con la gráfica 2.3.3.3, representada por la formación bruta de capital fijo en las economías en desarrollo, excluyendo a China, durante el período 2000-2022.

Rusia exhibe la tendencia más volátil y prominente en la formación de capital fijo. Partiendo de niveles cercanos a los 44,000 millones de dólares en el 2000, experimentó un crecimiento exponencial hasta alcanzar un pico de casi 500,000 millones en 2013. Sin embargo, posteriormente sufrió una caída abrupta, estabilizándose alrededor de los 462,400 millones hacia 2022.

**Gráfica 2.3.3.3 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de las economías en desarrollo sin China (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

México muestra una trayectoria ascendente más estable, iniciando en aproximadamente 158,000 millones de dólares en 2000, la inversión en capital fijo creció constantemente hasta superar los 327,000 millones en 2022, reflejando un desarrollo económico sostenido.

Indonesia presenta un crecimiento notable y constante. Desde una base de cerca de 33,000 millones de dólares en 2000, la formación de capital fijo se incrementó significativamente,

alcanzando alrededor de 384,000 millones en 2022, indicando una fuerte expansión económica.

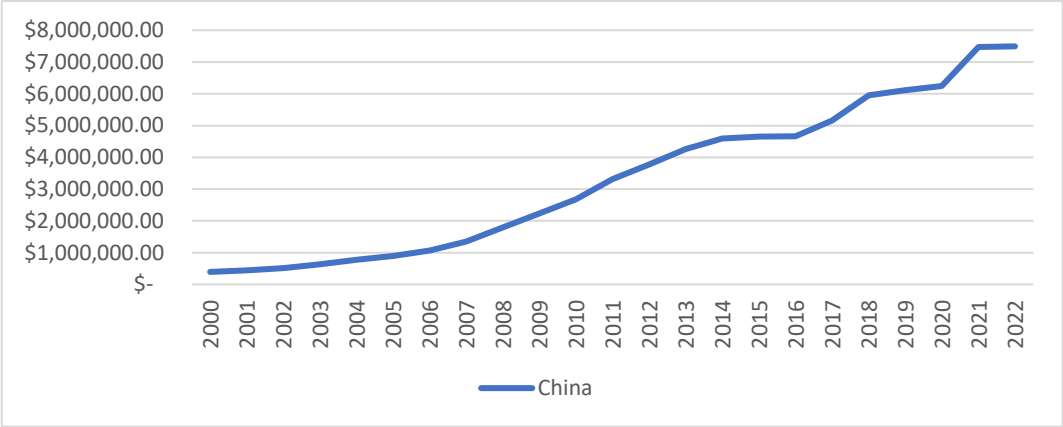
Tailandia muestra un crecimiento moderado pero consistente, partiendo de aproximadamente 27,000 millones de dólares en 2000, la inversión en capital fijo aumentó gradualmente hasta llegar a cerca de 116,000 millones en 2022.

Vietnam exhibe un crecimiento acelerado en los últimos años. Desde niveles bajos en 2000, la formación de capital fijo aumentó rápidamente, especialmente después de 2010, alcanzando cerca de 126,350 millones de dólares en 2022.

Malasia mantiene un crecimiento estable pero modesto. Iniciando en alrededor de 24,000 millones de dólares en 2000, la inversión en capital fijo creció gradualmente hasta aproximadamente 74,200 millones en 2022.

Filipinas y Perú muestran tendencias de crecimiento similares, aunque a diferentes escalas. Ambas economías experimentaron un aumento constante en la formación de capital fijo, con Filipinas alcanzando cerca de 95,000 millones y Perú aproximadamente 57,300 millones en 2022.

**Gráfica 2.3.3.4 Formación bruta de capital fijo en millones de dólares americanos de China (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

En la gráfica 2.3.3.4, se puede observar que la variable formación bruta de capital fijo de China tiene un gran crecimiento positivo y sostenido durante el periodo de estudio. En otras palabras, en el año 2000, la inversión en capital fijo era de aproximadamente 400,000

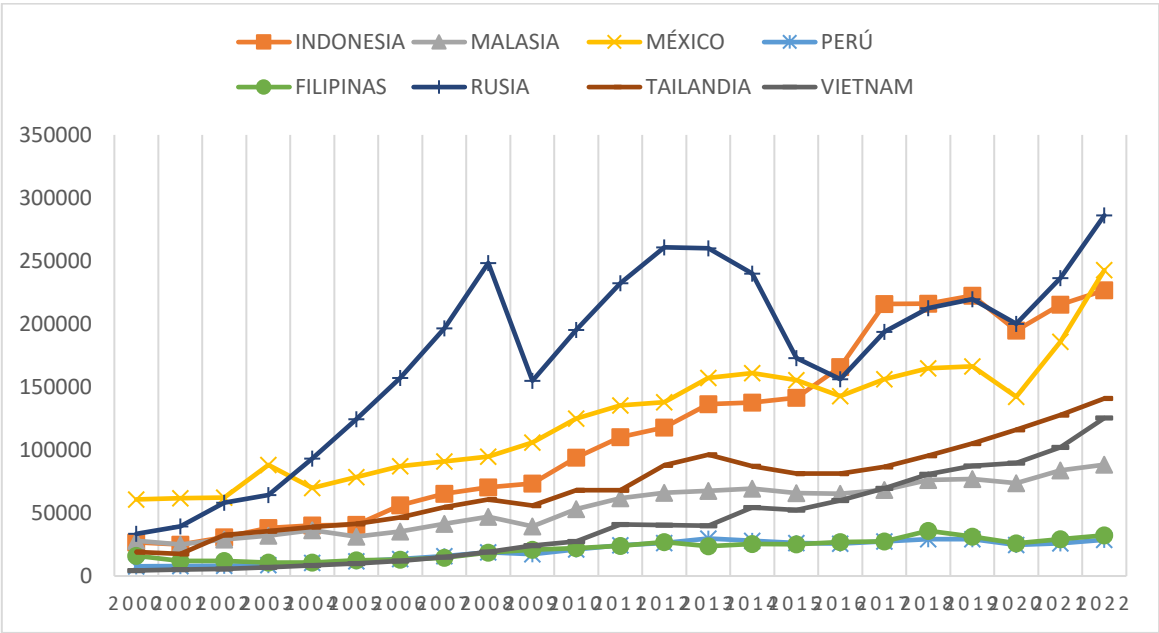
millones de dólares, pero, a lo largo de los años, esta cifra ha aumentado de manera constante, alcanzando cerca los 7,500,000 millones de dólares para el año de 2022. Este crecimiento refleja la rápida expansión económica y la considerable inversión en infraestructura y desarrollo industrial en la economía China.

A continuación, se analizó la última variable de estudio, que es el valor agregado de la manufactura en las economías en desarrollo, excluyendo a China en la gráfica 2.3.3.5, durante el período 2000-2022.

En Indonesia, el valor agregado de la manufactura ha mostrado un crecimiento constante. Durante el año 2000, el valor agregado de la manufactura era cercano a los 27,000 millones de dólares, pero, para el año de 2022, se incrementó a aproximadamente 227,000 millones de dólares. Este aumento refleja un desarrollo industrial sostenido.

Malasia presenta una tendencia de crecimiento moderado. Partiendo de alrededor de 28,000 millones de dólares en 2000, el valor agregado de la manufactura creció gradualmente hasta alcanzar cerca de 88,000 millones en 2022. Este crecimiento indica una expansión industrial continua, pero a un ritmo lento.

**Gráfica 2.3.3.5 Valor agregado de la manufactura de las economías en desarrollo sin China en millones de dólares (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024).

México ha experimentado un crecimiento notable en el valor agregado de su manufactura, desde aproximadamente 61,000 millones de dólares en el año 2000, la cifra aumentó a cerca de 243,000 millones en el año de 2022. Este incremento refleja una fuerte expansión en el sector manufacturero de esta economía.

Perú muestra un crecimiento más gradual. Durante el año 2000, el valor agregado de la manufactura era cercano a los 7,000 millones de dólares, pero, para el 2022 la cifra se incrementó a 29,000 millones de dólares aproximadamente. Este crecimiento moderado indica un desarrollo industrial continuo.

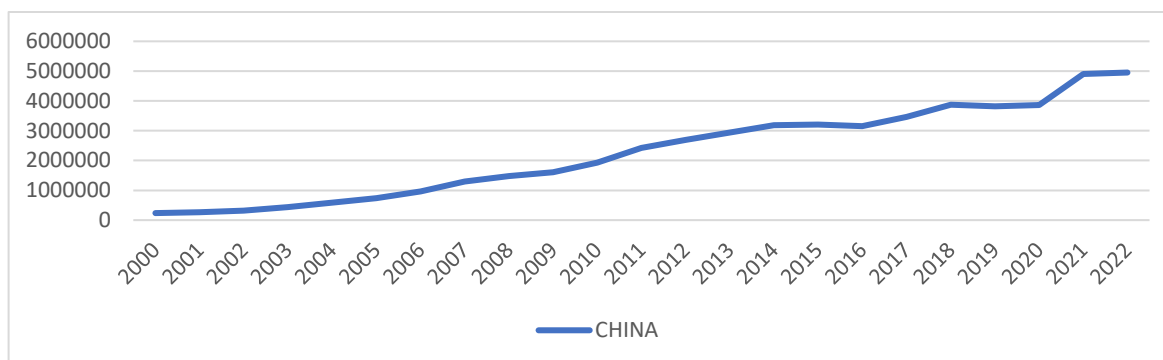
Filipinas ha tenido un crecimiento constante pero más modesto. En el año 2000, el valor agregado de la manufactura era de alrededor de 16,000 millones de dólares, y para el 2022, la cifra se incrementó a cerca de 32,000 millones de dólares. Este crecimiento refleja una expansión gradual en el sector manufacturero.

Rusia presenta una tendencia volátil en el valor agregado de la manufactura. Partiendo de aproximadamente 33,000 millones de dólares en 2000, la cifra aumentó significativamente hasta alcanzar un pico de casi 250,000 millones en 2008, antes de experimentar fluctuaciones y llegar a los 286,000 millones en 2022.

Tailandia muestra un crecimiento constante. En el año 2000, el valor agregado de la manufactura era cercano a los 19,000 millones de dólares, y para el 2022, la cifra se incrementó a aproximadamente 140,000 millones de dólares. Este crecimiento refleja una expansión industrial sostenida.

Vietnam ha experimentado un crecimiento acelerado en el valor agregado de la manufactura. Desde 4,000 millones de dólares en el año 2000, la cifra aumentó rápidamente a cerca de 125,000 millones en 2022, este notable incremento indica un fuerte desarrollo industrial en la economía.

**Gráfica 2.3.3.6 Valor agregado de la manufactura de China en millones de dólares (2000-2022)**



Fuente: Elaboración propia con base en UNIDO (2024).

En lo que respecta a China, se puede observar que en la gráfica 2.3.3.6 el valor agregado de la manufactura ha experimentado un crecimiento notable y constante. En el año 2000, esta cifra rondaba los \$235,600 millones de dólares. Con el paso de los años, este valor ha ido incrementándose de manera sostenida, alcanzando aproximadamente \$5,000,000 millones de dólares en 2022. Este crecimiento evidencia la rápida expansión industrial y la significativa inversión en infraestructura y desarrollo industrial en la economía.

# Capítulo 3

**La sustentabilidad y sus principales indicadores.**

**Un marco referencial para la industria**

**manufacturera en las economías**

**desarrolladas y en desarrollo**

**del APEC**

**S**e puede encontrar en este capítulo el debate que ha existido entre sostenible y sustentable, también se escribe sobre la relación que hay entre estos conceptos con la manufactura y como se han promovido dentro de este sector y la importancia de aplicar estudios ambientales dentro de la manufactura a nivel mundial. Otros temas importantes que se abordan son la evolución de la agenda 2030 y el Índice de desarrollo ambiental (EPI) y otras maneras de medir la sustentabilidad en la manufactura.

## **3.1 Indicadores ambientales. Definiciones metodológicas**

Para poder identificar los principales indicadores ambientales hay que comprender el significado de lo que es el medio ambiente, la sustentabilidad y el desarrollo sostenible. En este primer apartado del capítulo 3 se hablará sobre conceptos, metodologías e indicadores más famosos debido a su impacto en la medición del desarrollo sustentable.

La primera vez que se dio a conocer el término que se conoce como desarrollo sustentable fue gracias a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza en el año de 1980 donde especificó este concepto dentro de la Estrategia Mundial de Conservación (UNEP y WWF, 1980). Esta estrategia lo que decía era que para poder hablar de desarrollo sostenible se tenían que tomar en cuenta 3 factores, los cuales eran el social, el ecológico y el económico. Actualmente se pueden encontrar varios autores que siguen utilizando esas “dimensiones” para poder medir la sustentabilidad tales como *Martins et al.*, (2006), *Moldan et al.*, (2012), entre otros.

La estrategia Mundial de Conservación no solo dio a conocer el término de desarrollo sustentable, sino, también buscaba que los seres humanos se dieran cuenta de que los recursos que usan son finitos y con una capacidad limitada para darle soporte a la vida. Su objetivo fue conservar los recursos naturales para poder asegurar un desarrollo a futuro (UNEP y WWF, 1980).

En otras palabras, el desarrollo sustentable abarca 3 categorías o dimensiones importantes, las cuales son la económica, social y ecológica (Martins et al., 2006). Otros autores incluso agrandan estas categorías aún más, ubicando dentro de la categoría ecológica el medio ambiente, recursos, tecnologías verdes, entre otros (Hanning et al., 2012). Por otra parte (Viso, 2005) divide el desarrollo sustentable en 4 categorías: la medioambiental, la gobernanza sustentable, la ética y la economía.

Posterior de la Estrategia Mundial de Conservación de la UNEP, Brundtland ex primera ministra de Noruega, realizó un informe el cual fue publicado en el año de 1987 llamado “*Nuestro Futuro Común*” (*Our Common Future*), en el cual definía desarrollo sustentable de una manera innovadora. En ese informe la ex ministra comentó que el desarrollo sustentable es el poder satisfacer las necesidades que tienen las generaciones que actualmente viven, pero, estas no deben de perjudicar o comprometer a las futuras generaciones por cumplir sus necesidades. Esta forma de pensar fue un parteaguas en el concepto de desarrollo sustentable.

Después del informe que realizó Brundtland, en el año de 1992, se reunieron en Río de Janeiro, Brasil, para discutir la manera de poder poner en práctica el desarrollo sostenible. Durante la Cumbre de la Tierra de Río de 1992, los líderes mundiales comenzaron con el Programa 21, el cual eran planes de acción necesarios y específicos para poder lograr el

desarrollo sostenible en las naciones de manera internacional. (Organización de las Naciones Unidas, s.f.). Dentro de esta misma cumbre Brundtland dio nutrió el concepto clave del desarrollo sustentable al comentar que la humanidad está en el centro de las inquietudes del desarrollo sostenible y que tienen derecho a una vida de calidad, sana y productiva en armonía con el medio ambiente (Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo [UNCED], 1992). Para resumir esta última definición de la ex ministra de Noruega se abordarán 3 puntos.

Primero, la base del concepto de desarrollo sustentable son nuestras necesidades y se enfoca primeramente en el bienestar de las personas. Se tiene la pirámide de Maslow que dice que se tienen varios tipos de necesidades, las cuales son las necesidades básicas, de seguridad, sociales, de estima y por último la autorrealización. Esta teoría de Maslow nos indica que, para poder llegar a la autorrealización, primero debes ir cumpliendo cada uno de los tipos de necesidades por orden para alcanzar esta necesidad, una vez satisfechas estas necesidades el ser humano comienza a actuar de manera desinteresada y empieza a actuar pensando en los demás. Este comportamiento es la base para tener un comportamiento altruista y podría considerarse como una de las condiciones del desarrollo sustentable (Maslow, 1968, 1999).

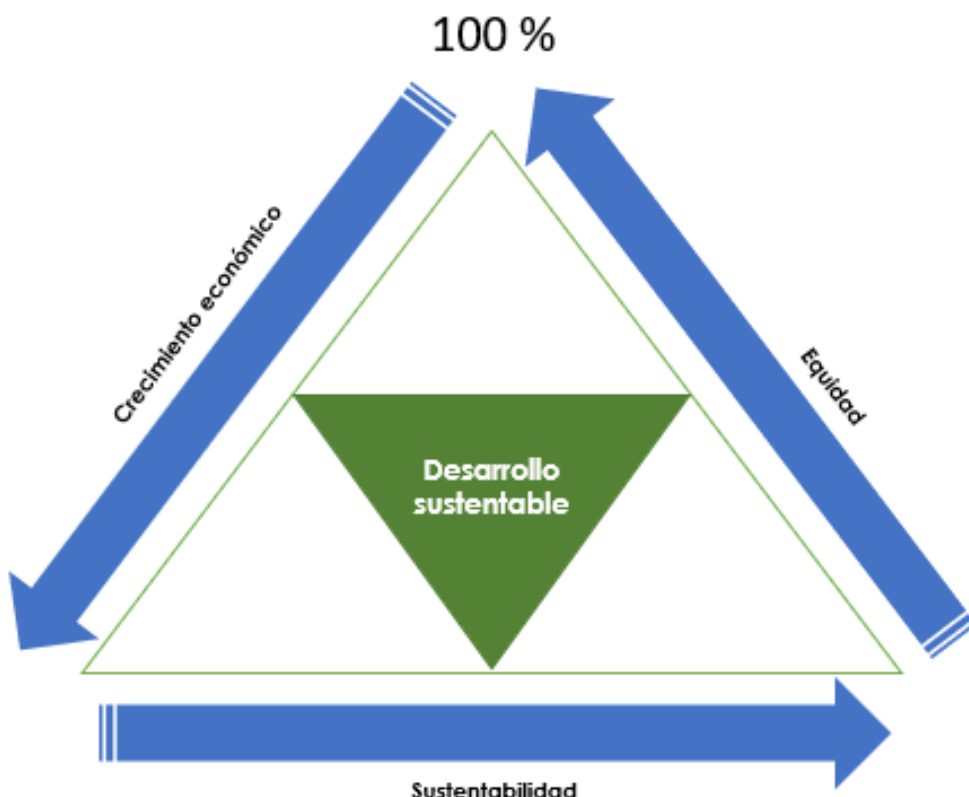
En segundo lugar, se puede decir que el ser humano debe vivir sano, productivo y en armonía con el medio ambiente. En otras palabras, un equilibrio entre las 3 dimensiones: la ecológica, la social y la económica.

Por lo tanto, el punto número 3 dice que se deba tomar en cuenta las generaciones presentes y futuras en todo momento, por lo que se ocupa tener una naturaleza que sea dinámica pero que este con la humanidad por un periodo de tiempo largo, siempre tomando en cuenta la situación cambiante enfatizando en las preocupaciones de las generaciones futuras sin ningún límite de tiempo.

Por otra parte, otro autor propuso otra manera de ver la definición para sustentabilidad. En la conferencia anual sobre desarrollo económico del Banco Mundial, celebrada en Washington D.C. en abril de 1990, el economista holandés *Peter Nijkamp* presentó un trabajo titulado "*Regional sustainable development and natural resources use*" (Desarrollo regional sostenible y uso de recursos naturales). En este trabajo, Nijkamp sintetizó el concepto de sostenibilidad, representando gráficamente la relación entre el crecimiento económico, la

equidad social y la sostenibilidad ambiental. Este enfoque dio origen al desarrollo sostenible, que constituye el núcleo del llamado triángulo de Nijkamp.

**Figura 3.1.1 Triángulo de Nijkamp**



Fuente: Elaboración propia con base en Nijkamp (1990).

En teoría, la consecución del desarrollo sostenible se produce cuando los tres objetivos se logran simultáneamente, como se refleja en el triángulo de Nijkamp. Este triángulo simboliza la coexistencia armoniosa entre el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental, siendo este último el aspecto central del triángulo.

Retomando el tema anterior, la Cumbre de la Tierra fue seguida en 2002 por la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible, en donde se comenzó con el Plan de Aplicación de Johannesburgo, este plan se basó en la retroalimentación y logros que se plantearon durante la Cumbre de la Tierra, lo cual logró ser más específica y más eficiente gracias a que definieron medidas concretas y metas cuantificables con plazos y metas para poder realmente

ver un progreso en cuestión del desarrollo sostenible (Organización de las Naciones Unidas, s.f.).

La estrategia de desarrollo sustentable de Gothenburg de la unión europea cuando se actualizó en el año del 2006, situó cuatro de sus seis objetivos principales dentro del ámbito ambiental, los cuales son: transporte sostenible, consumo y producción sostenibles; salud pública; conservación y gestión de los recursos naturales y por último cambio climático y energía limpia. Los otros dos se referían a la inclusión social: demografía y migración, y pobreza global y desafíos del desarrollo sostenible (EU,2006).

En diciembre del año de 2007, el *Plan de Acción de Bali*, surgido de la conferencia de las partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC, 2007), subrayó la importancia de emprender acciones y compromisos de mitigación de gases de efecto invernadero (GEI) que fueran mensurables, reportables y verificables (MRV). La cuestión de MRV se ha convertido en un tema ampliamente debatido en las negociaciones de la CMNUCC, que constituyen una de las principales agendas políticas globales contemporáneas (Ellis y Moarif, 2009). En la COP 15 en Copenhague (CMNUCC, 2009), esta problemática no se resolvió. Sin embargo, se logró un acuerdo significativo en la posterior COP 16 en Cancún (CMNUCC, 2010). Se debe recordar que de los gases de efecto invernadero los que tienen un mayor nivel de preocupación según la ONU (2022) son: el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), el óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) y el metano ( $\text{CH}_4$ ), donde el  $\text{CO}_2$  tiene una permanencia atmosférica de alrededor de 1.000 años, en contraste con el metano cuya duración es de aproximadamente una década, y el óxido nitroso que se mantiene en la atmósfera durante aproximadamente 120 años. Medido a lo largo de un lapso de 20 años, el metano tiene una capacidad 80 veces superior a la del  $\text{CO}_2$  para inducir el calentamiento global, al mismo tiempo que el óxido nitroso exhibe una potencia 280 veces mayor.

El desarrollo sustentable es un proceso que ocupa de distintos factores de la sociedad como lo son compromisos y responsabilidades al aplicar las dimensiones del desarrollo sostenible, en otras palabras, ámbitos económicos, ambientales y sociales, así como en el consumo y accesibilidad necesaria que determinan la calidad de vida. Se requiere el buen manejo de recursos naturales, humanos, sociales y económicos con el fin de alcanzar una mejor calidad

de vida para la población y al mismo tiempo, velar porque el consumo actual de recursos, entre otros, no afecte de manera irreversible o de cualquier manera la calidad de vida de las generaciones futuras (Villamizar, s.f.).

La dimensión ecológica dentro del desarrollo sustentable, ayuda a ver de manera general como va progresando el medio ambiente. Según Amrina y Shari (2011), para medir esta dimensión se ocupa el cálculo de las emisiones (aire, agua, tierra), la utilización de recursos (uso de energía, agua, tierra y combustible) y el desperdicio (desperdicio sólido, de agua y residuos peligrosos).

La estrategia ambiental para la primera década el siglo 21 de la OCDE (2001) propone 4 áreas críticas para el desarrollo ambiental los cuales son:

- Regeneración: Los recursos renovables deben usarse eficientemente y no se debe permitir exceder el tiempo natural necesario que requiere este recurso para regenerarse.
- Sustituibilidad: Los recursos no renovables deben usarse eficientemente limitándose a niveles que puedan compensarse mediante la sustitución con recursos que sí son renovables u otras fuentes de capital.
- Asimilación: Las emisiones de sustancias peligrosas o contaminantes al medio ambiente no deben de exceder su capacidad de asimilación.
- Evitar llegar a un ponto donde sea irreversible

Para el año de 2002, se inicia una campaña llamada Los Objetivos de Desarrollo del Milenio (MDGs) por parte de la Organización de las Naciones Unidas (ONU). En esta campaña se proponen 8 objetivos globales que deben ser alcanzados para el año 2015 y que responden a los principales desafíos de desarrollo del mundo. Estos 8 objetivos se dividen en 21 metas cuantificables que se miden mediante 60 indicadores (ONU,2010).

**Figura 3.1.2 Los 8 Objetivos de Desarrollo del Milenio por la ONU**



Fuente: Elaboración propia con base en ONU (2002).

El objetivo número siete de la figura 3.1, es el que se enfoca en el medio ambiente o para ser más exacto en garantizar la sostenibilidad del medio ambiente. En este objetivo se puede encontrar que se dividió en 4 objetivos principales y cada uno de estos objetivos tiene su indicador como se muestra en la tabla 3.1.

**Tabla 3.1.1 Objetivos específicos del objetivo general número 7 de los Objetivos de Desarrollo del Milenio**

| <i>Objetivo específico</i>                                                                                                                                                                                                                                                              | <i>Indicador de progreso</i>                                                                                                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><i>7 A. Integrar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y programas nacionales y revertir la pérdida de recursos ambientales.</i></p> <p><i>7 B. Reducir la pérdida de biodiversidad y lograr para 2010 una reducción significativa del ritmo de pérdida.</i></p> | <p><b>Deforestación:</b> Superficie boscosa como porcentaje de la superficie terrestre, 1990 y 2010.</p>                                                                                      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><b>Cambio climático:</b> Emisiones globales de CO<sub>2</sub>, 1990-2012.</p>                                                                                                              |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p><b>Protección de la capa de ozono:</b> consumo de todas las sustancias que dañan la capa de ozono, 1986-2008 y reposición del fondo multilateral del Protocolo de Montreal, 1991-2011.</p> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p>Porción de tierra cubierta por bosque.</p> <p>Emisiones totales de CO<sub>2</sub> per cápita y por \$1 de PIB (PPA).</p>                                                                   |

|                                                                                                                                                      |                                                                            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                      | Consumo de sustancia que dañan la capa de ozono,                           |
|                                                                                                                                                      | Porción de las poblaciones de peces dentro de límites biológicos seguros   |
|                                                                                                                                                      | Porción del total de recursos hídricos utilizados.                         |
|                                                                                                                                                      | Porción de áreas terrestres y marinas protegidas                           |
|                                                                                                                                                      | Porción de especies amenazadas de extinción                                |
| <i>7 C. Reducir a la mitad, para 2015, la proporción de la población sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento.</i> | Proporción de la población que utiliza recursos mejorados de agua potable. |
|                                                                                                                                                      | Proporción de la población que utiliza instalaciones sanitarias mejoradas. |
| <i>7 D. Lograr para 2020, una mejora significativa en las vidas de al menos 100 millones de habitantes de barrios marginales.</i>                    | Proporción de la población urbana que vive en barrios marginales           |

Fuente: Elaboración propia con base en ONU (2002); Moldan et al., (2012).

Con esto objetivos hubo un aumento en la forestación, una ligera disminución en la deforestación. La expansión natural de los bosques ha reducido su pérdida ya que se tenía una pérdida neta de bosques de un promedio de 8,3 millones de hectáreas anuales en la década de 1990 a un promedio de 5,2 millones de hectáreas anuales entre 2000 y 2010. Entre 1990 y 2012, las emisiones globales de dióxido de carbono aumentaron en más del 50 por ciento. Las sustancias que agotan la capa de ozono han sido prácticamente eliminadas y se espera que la capa de ozono se recupere a mediados de este siglo. En 2014, los ecosistemas protegidos cubrían el 15,2 por ciento de la tierra y el 8,4 por ciento de las zonas marinas costeras en todo el mundo. El mundo ha cumplido el objetivo de reducir a la mitad la proporción de personas sin acceso a fuentes mejoradas de agua, cinco años antes de lo previsto. Entre 1990 y 2015, 2.600 millones de personas obtuvieron acceso a fuentes mejoradas de agua potable. (ONU, 2015)

Por otra parte, la Unión Europea (UE) publicó su informe de seguimiento de la estrategia de desarrollo sostenible que propusieron en el año 2006, este informe proporcionó una imagen objetiva y estadística del progreso de dichos objetivos el cual se seguiría haciendo cada dos años hacia las metas (EUROSTAT, 2009).

Actualmente el tema de la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente es de alta relevancia a nivel mundial y varias organizaciones comenzaron a buscar la manera de medirla. Una de estas organizaciones es la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), esta organización ha examinado indicadores que abarcan una amplia gama de problemáticas ambientales, como el cambio climático, la contaminación atmosférica, la calidad del agua, la gestión de residuos, el uso de materiales y los recursos naturales. Al mismo tiempo, se pueden emplear otro conjunto de indicadores para llevar a cabo un análisis de desvinculación en cuatro sectores particulares: energía, transporte, agricultura y manufactura. Otro dato importante que da la OCDE es el término de “*desacoplamiento*” este puede ser absoluto o relativo y sucede cuando, durante un periodo específico, la tasa de aumento de la presión ambiental es inferior a la de la fuerza impulsora económica, como, por ejemplo, el Producto Interno Bruto (PIB). (OCDE, 2002; OCDE, 2003).

En 2015, las Naciones Unidas optan por difundir el documento conclusivo titulado "Transformar nuestro mundo: la agenda 2030 para el desarrollo sostenible". Esta nueva agenda global incluye los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (Véase la figura 3.1.3), con el objetivo de retomar los objetivos del desarrollo del milenio y alcanzar lo que no se logró con ellos. Además, busca contribuir a la edificación de un futuro sostenible. Es relevante destacar que esta iniciativa surge como respuesta al acuerdo alcanzado en la Cumbre de la Tierra RIO+20, llevada a cabo en junio de 2012 en la ciudad de Río de Janeiro (ONU, 2015).

Para complementar la importancia del cumplimiento de esta agenda 2030, se tiene el indicador de la Huella Ecológica (EF), basado en medidas de superficie per cápita. Este indicador fue desarrollado por Wackernagel y Rees (1995) y evalúa la cantidad de tierra y agua biológicamente productivas necesarias para mantener a una población específica en su nivel actual de consumo. Recientemente, la *Red de Huella Ecológica* y *WWF* han ampliado su desarrollo para argumentar que, a pesar de las limitaciones conceptuales, los resultados son conocidos y claros: a nivel mundial, hay 1,8 hectáreas globales disponibles por persona, mientras que los europeos utilizan 4,9 hectáreas globales por persona. Los norteamericanos utilizan el doble de esa cantidad, y más de mil millones de indios utilizan 0,9 hectáreas globales por persona. Con los actuales niveles y proyecciones de consumo y producción,

existe el riesgo de que el bienestar humano se vea comprometido para el año 2030 (WWF, 2010).

**Figura 3.1.3 Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU: Agenda 2030**



Fuente: Organización de las Naciones Unidas (2015).

Es fundamental subrayar que, en la declaración del 12 de agosto de 2015, las Naciones Unidas, al referirse a "nuestros principios y compromisos comunes" en el inciso 11, resumen la importancia que ha tenido el tema de la sostenibilidad en las últimas dos décadas. En dicho resumen, reafirman los resultados de todas las grandes conferencias y cumbres de las Naciones Unidas, que han establecido una base sólida para el desarrollo sostenible y han contribuido a dar forma a la nueva agenda. Esto incluye la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible, la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Social, el Programa de Acción de la Conferencia Internacional sobre la Población y el Desarrollo, la Plataforma de Acción de Beijing y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible (ONU, 2015).

Hay varios índices que buscan medir el medio ambiente o la sustentabilidad tales como el *Prescott-Allen Wellbeing Index* (Prescott-Allen, 2001) o el *Environmental Performance Index* (EPI). Este último se acerca bastante al concepto de sustentabilidad ambiental, fue desarrollado por Yale University y Columbia University en colaboración con el Fondo Económico Mundial (WEF) y el Joint Research Centre (JFC) of the European Commission

el cual cuantifica y compara numéricamente el desempeño ambiental de las políticas de una economía (Emerson et al., 2010). El EPI se enfoca en 2 objetivos fundamentales:

- Reducir las tensiones ambientales sobre la salud humana
- Promover la vitalidad de los ecosistemas y una gestión racional de los recursos naturales.

Este índice contiene 25 indicadores los cuales se muestran en la tabla 3.2 en donde se muestra como cada uno de estos indicadores están enfocados a los objetivos previamente desglosados y también enfocado a 6 categorías de políticas. Estas políticas son (Cambio climático, recursos naturales productivos, hábitat y biodiversidad, agua, contaminación del aire y por último la salud ambiental). Para cada economía y cada indicador se calculó un valor de proximidad al objetivo y este fue calculado con base a la brecha entre los resultados actuales de una economía y el objetivo de política.

Dentro de la tabla 3.2 se puede observar que utilizan algunos indicadores que son importantes al momento de medir el medio ambiente y sostenibilidad como lo son las emisiones de SO<sub>2</sub>, NOx y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano por superficie poblada, entre otros. Cada uno de estos indicadores equivale a un porcentaje del total del EPI.

La clasificación global del Índice de Desempeño Ambiental (EPI) no indica de manera definitiva qué país está verdaderamente en una senda sostenible, pero ofrece una perspectiva de qué países están logrando un mejor desempeño en la consecución de objetivos ambientales compartidos (Emerson, 2010).

Hay muchos otros índices como el *EU 20-20-20 target*, este índice lo que dice es reducir el 20% las emisiones de los gases invernadero, tener una participación del 20% de los recursos de energías renovables y un aumento del 20% en la eficiencia energética.

La segunda dimensión del desarrollo sustentable es la económica. La dimensión económica ayuda a ver de manera general como va progresando la economía. De acuerdo con Amrina y Shari (2011), se puede medir esta dimensión con calidad, costo, entrega y flexibilidad. También los economistas se enfocan en varios tipos de capital como el artificial, natural, humano y el social, que deben ser sostenidos (World Bank, 2006). Según Goodland y Ledec, el desarrollo sustentable también es usar las energías renovables siempre y cuando no

perjudiquen a las generaciones futuras, pero también lo es usar las energías no renovables mientras también no comprometan a las futuras generaciones (1987).

**Tabla 3.1.2 Índice de Desempeño Ambiental (EPI) con sus objetivos, categorías e indicadores**

| Índice | Objetivo                 | Categoría                                          | Indicadores                                                  | Fuentes de datos                  | Metas                                                                    |
|--------|--------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| EPI    | Salud ambiental (50%)    | Carga ambiental de enfermedades (25%)              | Carga ambiental de enfermedades (25%)                        | OMS                               | 10 AVAD (Años de Vida Ajustados por Discapacidad) por cada 1000 personas |
|        |                          | Contaminación de aire (efectos en humanos) (12.5%) | Contaminación del aire en interiores (6.3%)                  | Indicadores de Desarrollo Mundial | 0% de la población utilizando combustibles sólidos                       |
|        |                          |                                                    | Contaminación del aire exterior (6.3%) (partículas urbanas)  | Indicadores de Desarrollo Mundial | <b>20 <math>\mu\text{g}/\text{m}^2</math></b> de $\text{PM}_{10}$        |
|        |                          | Agua (efectos en humanos) (12.5%)                  | Acceso al agua (6.3%)                                        | Indicadores de Desarrollo Mundial | 100 % de la población sin acceso                                         |
|        |                          |                                                    | Acceso al saneamiento (6.3%)                                 | Indicadores de Desarrollo Mundial | 100 % de la población con acceso                                         |
|        | Vitalidad del ecosistema | Contaminación de aire (efectos en el               | Emisiones de $\text{SO}_2$ por área de tierra poblada (2.1%) | EDGAR, UNFCCC, REAS               | 0.01 $\text{GgSO}_x/\text{sq km}$                                        |

|  |  |                               |                                                                                            |                                                          |                                              |
|--|--|-------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------|
|  |  | ecosistema)<br>(4.2%)         | Emisiones de NOx por área de tierra poblada (0.7%)                                         | EDGAR, UNFCCC, REAS                                      | 0.01 GgNO <sub>x</sub> /sq km                |
|  |  |                               | Emisiones de compuestos orgánicos volátiles no metánicos por área de tierra poblada (0.7%) | EDGAR, UNFCCC, REAS                                      | 0.01 Gg NMVOC/sq km                          |
|  |  | Ozono en el ecosistema (0.7%) | Modelo para ozono y trazadores químicos relacionados (Mozart II)                           | Model for ozone and related chemical tracers (Mozart II) | 0 ppb de excedencia por encima de 3000 AOT40 |

**Nota:**

EDGAR denota la Base de Datos de Emisiones para la Investigación Atmosférica Global;

UNFCCC denota la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático;

REAS denota el Inventario de Emisiones Regionales en Asia.

Fuente: Emerson et al., (2010).

Hamrin, también habla sobre la dimensión económica argumentando que los recursos naturales y el medio ambiente son la base fundamental sobre la que debe construirse toda actividad económica futura. De esto se deduce que el progreso económico futuro dependerá cada vez más de la integridad sostenida de los recursos y la base ambiental (1983).

Dentro de la misma dimensión, la OCDE define que el desarrollo sustentable significa el incremento del consumo siguiendo su interpretación económica más amplia, durante mucho tiempo (2008).

Una situación que se ha percibido durante varios años es que el crecimiento económico ha sido la catalogado como el objetivo político más importante a nivel mundial en las últimas 5

décadas y debido a esta situación es que ha sido difícil poder encontrar un equilibrio entre sustentabilidad y el crecimiento económico de los países (Moldan et al., 2012)

La última dimensión de estudio del desarrollo sustentable es la social, esta dimensión mide de manera general como va progresando la sociedad. Según *Amrina y Shari*, (2011), se puede medir esta dimensión con empleos y proveedores. *Black*, (2004) define a esta dimensión como La medida en que los valores sociales, las identidades sociales, las relaciones sociales y las instituciones sociales pueden continuar en el futuro. *Gilbert*, (1996) menciona que la sustentabilidad social requiere que se mantenga la cohesión de la sociedad y su capacidad para trabajar por objetivos comunes. Se deben tener en cuenta las necesidades individuales, como las de salud y bienestar, nutrición, refugio, educación y expresiones culturales.

Dentro de los conceptos de sustentabilidad y sostenible existe un debate sobre si estos conceptos son diferentes o iguales. Hay autores como *Bell y Morse*, (1999) que piensan que estos conceptos son diferentes, pero también hay como Moldan et al., (2012), Méndez, (2012) que comparten sus opiniones las cuales dicen que tanto el concepto de sostenibilidad como el de sustentabilidad no presentan una mayor diferenciación con respecto a su aplicación en la práctica, sino que su diferencia corresponde a su ubicación geográfica o léxico, pero al final del día estos conceptos no modifican el objetivo principal el cual es la definición de Brundtland, el satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer a las generaciones futuras. Por lo tanto, para esta investigación, al igual que Moldan et al. (2012) y Méndez, (2012) se utilizarán el concepto de sustentable y sostenible se tomarán como sinónimos, debido a que al momento de la praxis se utilizan estos conceptos en la vida diaria como si tuvieran el mismo concepto.

Actualmente también surge la necesidad de medir que tan lejos se encuentran las economías de cumplir con los índices de sostenibilidad actuales (Stieglitz et al., 2009). Otras de las discusiones actuales, Malthus analizó las limitaciones en el crecimiento demográfico y la insuficiencia de recursos alimentarios, proponiendo que la población aumenta de manera geométrica, mientras que los medios de subsistencia lo hacen en proporción aritmética (Smith, 1951). Meadows et al. (1972) llevaron a cabo un debate sobre las restricciones de los recursos a nivel global al publicar "Límites al crecimiento", planteando la idea de que, en un mundo finito, la expansión económica no podría mantenerse. Las ideas más recientes sobre

los límites se han formulado alrededor de conceptos como las huellas y los modelos sostenibles de consumo y producción. Estas concepciones indican que existe un punto crítico más allá del cual ciertos tipos de crecimiento y desarrollo no pueden mantenerse de manera sostenible (CEM, 2006).

Recientemente, el equipo encabezado por Johan Rockström del Centro de Resiliencia de Estocolmo de la Universidad de Estocolmo ha presentado el concepto de límites planetarios (Rockström et al., 2009). Estos límites delinean el área segura de operación para la humanidad en relación con el sistema terrestre y están conectados con los subsistemas o procesos biofísicos del planeta. Esta idea se fundamenta en la comprensión de que los subsistemas de la Tierra reaccionan de manera no lineal y, en muchos casos, abrupta, siendo especialmente sensibles en los niveles umbral de ciertas variables clave. La mayoría de estos umbrales pueden definirse mediante un valor crítico para una o más variables de control, como la concentración de dióxido de carbono. No todos los procesos o subsistemas de la Tierra tienen umbrales bien definidos y, al mismo tiempo, las acciones humanas que debilitan la resiliencia de un proceso o subsistema específico pueden aumentar el riesgo de que se crucen umbrales en otros procesos. Los autores han identificado nueve procesos y umbrales asociados que, al ser cruzados, podrían ocasionar cambios ambientales inaceptables: cambio climático, tasa de pérdida de biodiversidad (terrestre y marina), interferencia con los ciclos de nitrógeno y fósforo, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación de los océanos, uso global de agua dulce, cambio en el uso del suelo, contaminación química y carga de aerosoles atmosféricos. Los límites planetarios son valores para variables de control que se encuentran ya sea a una distancia "segura" de los umbrales (para procesos con evidencia de comportamiento umbral) o en niveles peligrosos para procesos sin evidencia de umbrales. A diferencia de los umbrales en sí, determinar una distancia segura implica juicios normativos sobre cómo las sociedades deciden enfrentar el riesgo y la incertidumbre. Basándose en los valores de referencia y el principio de distancia segura, los autores sugieren que la humanidad podría estar acercándose a los límites en el uso global de agua dulce, cambio en el uso de la tierra, acidificación de los océanos e interferencia con el ciclo global del fósforo, mientras que tres procesos del sistema terrestre, el cambio climático, la tasa de pérdida de biodiversidad y la interferencia con el ciclo del nitrógeno, ya han superado sus límites.

Las economías tanto desarrolladas como en desarrollo tienen que darle prioridad a la sustentabilidad debido a que el planeta tiene recursos limitados los cuales deben de regularse para no perjudicar a las generaciones del futuro.

### **3.2 La sustentabilidad en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC**

Varios conceptos nuevos han surgido en la actualidad, tales como *economía verde*, *crecimiento verde* e incluso *industria verde* dejando a la vista la necesidad de crear formas para poder medir y comparar estas nuevas ramas con sus sectores (Moll de Alba y Todorov, 2022). El incremento de conceptos ambientales ha ido aumentando conforme pasan los años y es por eso que varios autores han buscado definir correctamente cada tipo de definición verde. Georgeson et al., (2017) realizó un trabajo donde ilustra los “*conceptos verdes*” más usados. La manufactura es un tema que ha tenido gran relevancia ecológica, económica y social y no se ha escapado de las críticas ambientales. La industria manufacturera es contaminante a nivel mundial y se debe buscar adaptar al concepto de sostenibilidad y así lograr una economía verde. Según la UNEP (2011), dice que para poder tener una economía verde se debe de tener bienestar y equidad en la reducción del impacto ambiental y ecológico. El Banco Mundial (2012) por su lado comenta que para tener un crecimiento verde se necesita un crecimiento limpio y eficiente de los recursos naturales y así poder disminuir el impacto ambiental y la contaminación. Se tienen otros autores como Bowen y Hepburn que argumentan que gracias al crecimiento se mejora el aumento continuo del PIB y preserva el capital natural agregado.

Numerosas compañías manufactureras han adoptado el enfoque de maximizar la producción como modelo de negocio, donde el objetivo primordial es alcanzar el beneficio máximo utilizando recursos limitados. A pesar de que esta estrategia industrial puede resultar en ganancias, tiene el potencial de tener consecuencias negativas para el bienestar social a largo plazo. Las normativas industriales exigen que las empresas asuman la responsabilidad tanto del impacto en el medio ambiente como de la salud de sus trabajadores, al tiempo que persiguen sus metas comerciales. Esto plantea un desafío complejo que implica encontrar un equilibrio adecuado entre las consideraciones ecológicas y económicas, por lo que se requiere un enfoque eficaz para respaldar la toma de decisiones estratégicas (Leu, J.-D et al. 2020).

La OCDE (2017<sup>a</sup>) desarrolló un conjunto de indicadores para evaluar el crecimiento sostenible o verde, por otro lado, el UNEP (2014) introdujo indicadores con el propósito de orientar la formulación de las políticas nacionales en el ámbito de la economía sostenible. La Plataforma de Conocimiento sobre el Crecimiento Sostenible (2013) propuso un marco de indicadores diseñado para medir tanto el progreso en el crecimiento sostenible como en la economía sostenible. Por último, la Organización de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PAGE 2017<sup>a</sup>) presentaron un conjunto de indicadores específicos, junto con el Índice de Progreso de la Economía Sostenible (PAGE, 2017b). El índice de Rendimiento Ambiental conocido en inglés como EPI como se había visto anteriormente evalúa la salud ambiental y la vitalidad de los ecosistemas en diversos países, mientras que en el Índice de Desarrollo Sostenible (Acosta et al. 2019) o Green Growth Index realizó comparaciones entre naciones en términos de su eficiencia en la utilización de recursos, protección del capital natural, oportunidades económicas relacionadas con el concepto de economía verde o sustentable y la inclusión social. También se tiene el Competitive Industrial Performance Index de la (UNIDO, 2019) que mide el rendimiento industrial y compara la competitividad industrial.

La razón fundamental por la cual el sector manufacturero impulsa el crecimiento económico radica en los crecientes rendimientos de escala, tal como lo señaló Kaldor en diferentes ocasiones (1960; 1967; 1981). Esta idea es esencial en el contexto del concepto de industria verde (UNIDO, 2011), que resalta la importancia de la producción industrial que minimiza o evita impactos negativos en los sistemas naturales y la salud humana. La evidencia disponible respalda la perspectiva de que el progreso industrial puede mantenerse de manera sostenible, como se indica en informes recientes de la UNIDO (2020<sup>a</sup>)

La pandemia del COVID-19 afectó la economía global, la cual se contrajo un 3.5% en el 2020 (FMI, 2021), pero, no solo la economía se vio afectada, sino también la producción industrial, la cual tuvo una fuerte contracción en diversos países y sectores industriales (UNIDO, 2020b). El EU Green Deal (European Commission, 2019) ha sido integrado en el programa de recuperación Post-COVID-19 de la UE (European Commission, 2020). Aunque se encuentran varios índices aún se carece de uno que pueda medir de manera completa la

sostenibilidad en la industria manufacturera, ya que todavía es un tema relativamente nuevo (Moll de Alba y Todorov, 2022).

El *Green Industrial Performance Index* (GIP) propuesto por Moll de Alba y Todorov, (2018<sup>a</sup>, b; 2020<sup>a</sup>, b) ha sido popular últimamente para medir la sostenibilidad en la industria manufacturera inspirado por el índice de la UNIDO Competitive Manufacturing Performance (CIP) (2017). Varios autores han usado este índice como Kolomeytseva (2020) que lo utilizó para hacer un Benchmarking del rendimiento industrial de los países europeos, Acosta et al. (2019) utilizaron uno de los componentes de este índice, por último, Halkos et al. (2021) amplió el índice para establecer el índice de rendimiento industrial inclusivo y ecológico. El índice GIP toma en cuenta dos facetas de desarrollo económico de igual relevancia: (1) la producción interna de bienes y (2) las relaciones comerciales a nivel internacional. Un indicador significativo consiste en la proporción de la producción manufacturera verde con respecto a la producción manufacturera total, evaluando así la importancia relativa de la manufactura verde o sostenible en la economía de cada país. De manera simultánea, se examina el progreso de empleos sostenibles (contribuyen a sustancialmente a preservar o restaurar la calidad ambiental) en la industria manufacturera.

El índice GIP tiene sus fundamentos en 3 marcos basados en los productos sustentables, los cuales son:

- Capacidad de producir y exportar manufacturas verdes (sustentables): Para poder medir este marco se utiliza el valor agregado per cápita de la manufactura sustentable y las exportaciones per cápita de la manufactura sustentable.
- El papel de la manufactura verde: Este segundo marco se mide a través de la proporción del valor agregado manufacturero sustentable en el valor agregado manufacturero total y la participación de las exportaciones de manufacturas verdes en las exportaciones totales de manufacturas.
- Aspectos sociales y ambientales de la manufactura sostenible: Este es el último marco se mide a través de la proporción del empleo manufacturero sustentable en el empleo manufacturero total y las emisiones de CO<sub>2</sub> en la manufactura por unidad de valor agregado manufacturero. Los autores tomaron las emisiones de CO<sub>2</sub> como indicador

ya que representan el 80% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero en los procesos de manufactura (Moll de Alba y Todorov, 2022).

La OCDE, la UNIDO, el Banco Mundial, el APEC y el Departamento de Comercio de los Estados Unidos Americanos cuentan con listas de productos sostenibles (o ambientales). En la tabla 3.2.1 se observa de manera resumida los 3 marcos de estudio del GIP, sus indicadores y bases de datos utilizados.

La sostenibilidad representa un desafío para las industrias manufactureras a escala mundial, ya que los procesos orientados a obtener beneficios suelen causar daños a los recursos naturales y al medio ambiente. Para mantenerse sostenibles, las empresas deben reevaluar el modelo de negocio convencional al considerar el impacto de la obtención de beneficios tanto en los recursos del planeta como en la sociedad simultáneamente (Dao et al., 2011).

Por otro lado, los consumidores empiezan a exigir que las empresas a las que les compran sean sustentables y demuestren que son responsables con el medio ambiente dentro de sus objetivos de manera eficiente y así aumentar su ventaja competitiva (Zhu et al., 2008). Las empresas manufactureras deben alinearse con los conceptos de sustentabilidad para reducir el impacto ambiental y velar por la salud pública, por lo tanto, tener beneficios económicos y al mismo tiempo tener sostenibilidad ecológica se convierte en un problema.

**Tabla 3.2.1 Resumen de indicadores y marcos del GIP**

| <i>Indicador</i>                                                                  | <i>Descripción</i>                                                                                          | <i>Base de datos</i>        |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|
| <b><i>Capacidad de producir y exportar manufacturas verdes (sustentables)</i></b> |                                                                                                             |                             |
| 1                                                                                 | GMVApc Valor agregado per cápita de la manufactura sustentable (Constante USD)                              | UNIDO INDSTAT <sup>b)</sup> |
| 2                                                                                 | GMXpc Exportaciones per cápita de la manufactura sustentable (Constante USD)                                | UN COMTRADE <sup>c)</sup>   |
| <b><i>El papel de la manufactura verde</i></b>                                    |                                                                                                             |                             |
| 1                                                                                 | GMVAsh Proporción del valor agregado manufacturero sustentable en el valor agregado manufacturero total (%) | UNIDO INDSTAT <sup>b)</sup> |

|                                                                                                                                      |                                  |                                                                                                            |                                             |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 2                                                                                                                                    | GMXsh                            | Participación de las exportaciones de manufacturas verdes en las exportaciones totales de manufacturas (%) | UN COMTRADE <sup>c)</sup>                   |
| <b>Aspectos sociales y ambientales de la manufactura sostenible</b>                                                                  |                                  |                                                                                                            |                                             |
| 1                                                                                                                                    | GEMPsh                           | Proporción del empleo manufacturero sustentable en el empleo manufacturero total                           | UNIDO INDSTAT <sup>b)</sup>                 |
| 2                                                                                                                                    | CO <sub>2</sub> VA <sup>a)</sup> | Las emisiones de CO <sub>2</sub> en la manufactura por unidad de valor agregado manufacturero.             | IEA <sup>d)</sup> , UNIDO MVA <sup>e)</sup> |
| a) Indicadores negativos; b) UNIDO (2022 <sup>a</sup> ) c) United Nations Statistics Division (2022) d) OCDE (2021) f) UNIDO (2022c) |                                  |                                                                                                            |                                             |

Fuente: Elaboración propia con base en Moll de Alba y Todorov (2022).

Debido a la necesidad ecológica que sufre el mundo comenzaron diversos países a sacar leyes para poder propiciar la sustentabilidad y el cuidado de las personas, por ejemplo, la unión europea implementó restricciones para ciertas sustancias químicas a través de REACH (Registro, Evaluación, Autorización y Restricción de químicos) para poder cuidar de la salud humana y el medio ambiente (European Commission, 2006). Por esta misma línea, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América, dentro de su código federal también implementó regulaciones para poder limitar la cantidad de emisiones y así poder cuidar de las personas y el medio ambiente (Code of Federal Regulations, 2011). Estas regulaciones afectan directamente al sector manufacturero y dependiendo del país pueden ser leyes muy estrictas o no. Una empresa manufacturera debe considerar los beneficios que ser sustentable ofrece a futuro.

La implementación de la fabricación sostenible es una de las estrategias clave de la empresa hacia operaciones comerciales a largo plazo, que requieren un sistema de procesos y gestión. Con el objetivo de construir sistemas de fabricación sostenible, Kishawy et al. (2018) desarrolla un enfoque que abarca tres niveles: producto, proceso y sistema, para la evaluación e implementación. Para la globalización, una empresa global se enfrenta a la competencia para mejorar su capacidad y aumentar las prácticas de valor agregado en la fabricación sostenible (Chen, 2016). Es esencial contar con una herramienta eficiente de apoyo a decisiones para que las empresas midan y gestionen la sostenibilidad de sus sitios de producción en todo el mundo. Para mejorar el rendimiento de la fabricación, una empresa

elige implementar prácticas adecuadas de fabricación sostenible, no limitándose a un solo elemento (Abdul-Rashid et al., 2017).

Una buena estrategia de sostenibilidad pensada a largo plazo implica la consideración tanto del rendimiento operativo como de la preservación del medio ambiente, garantizando así la continua utilización de los recursos ecológicos y naturales (Zeleny, 2010). El objetivo del marco operativo para el desarrollo sostenible consiste en minimizar el impacto de las actividades comerciales en individuos y el entorno, asegurando que los intereses de los participantes internos y externos no se vean afectados en busca de beneficios (Kleindorfer et al., 2009). La adopción de enfoques sostenibles puede generar ventajas significativas, ya que conlleva mejoras en el rendimiento empresarial en aspectos vinculados con la seguridad, la salud y el medio ambiente, así como en la eficiencia (Leu et al., 2020).

Dentro de la sustentabilidad en la manufactura se toma en cuenta la evaluación del ciclo de la vida de algún producto, por ejemplo, *Wang et al.* (2013) presentaron un modelo multiobjetivo de programación no lineal mixta diseñado para analizar los impactos ambientales mediante la evaluación del ciclo de vida de biocombustibles derivados de hidrocarburos. El 90% de los impactos ambientales originados por los procesos y el transporte se atribuyeron a los gases de efecto invernadero y al dióxido de carbono, ofreciendo posibilidades de una disminución adicional. En cambio, *Koroneos y Nanaki* (2012) emplearon la evaluación del ciclo de vida para respaldar decisiones sostenibles vinculadas a la gestión de desechos, abarcando papel, residuos alimentarios, plásticos, cuero, madera, vidrio y metales, incluyendo aluminio. Esto se llevó a cabo considerando los insumos de recursos y energía, así como los resultados de emisiones, energía y bioproductos.

También se relaciona con la manufactura sustentable la aplicación de Lean y prácticas verdes en este sector. Según *Green et al.* (2019), la introducción de iniciativas de cadena de suministro ecológica centradas en JIT (Justo a Tiempo) y TQM (Gestión de Calidad Total) tiene el potencial de disminuir la generación de residuos, los gastos y los plazos de entrega, al mismo tiempo que mejora el nivel de servicio y la satisfacción de los clientes. *Li et al.*, (2013) presentaron un modelo de gestión con el fin de crear una estrategia de fabricación que utilizara la metodología de la red bayesiana, derivada de las herramientas de *lean six sigma*, con el propósito de priorizar la mejora de los procesos de manufactura y alcanzar una ventaja

competitiva en la industria. Por su parte, *Acharya* (2011) empleó herramientas de manufactura eficiente y el mapeo del flujo de valor para optimizar los procesos de manipulación manual, eliminando de esta manera los desperdicios que no añadían valor. Este enfoque puede contribuir a la eficiencia operativa, generando reducciones de costos y aumentos en la producción mediante la conservación de recursos humanos, materiales, espacio, ventajas y tiempos de ciclo.

El Benchmarking también es tema relacionado con la sustentabilidad como se puede ver en el estudio realizado por *Da Costa et al.*, (2020), donde se destacan indicadores de sostenibilidad como herramientas fundamentales para la evaluación del rendimiento y la reducción del impacto ambiental en el ciclo de vida de productos dentro de la industria electrónica. A través de la aplicación de la metodología de comparación de sostenibilidad, estos indicadores ofrecen una perspectiva valiosa para medir y mejorar el desempeño ambiental de los productos electrónicos, contribuyendo así a la búsqueda de prácticas más sostenibles en este sector clave.

Para medir la sustentabilidad en las empresas manufactureras hay varias variables a utilizar como se ha visto en la literatura leída, pero, hay otros estudios interesantes como lo son el de *Leu et al.*, (2020), donde utilizaron las variables descritas en la tabla 3.2.2. Se puede observar que utilizan el consumo de energía total, la ingesta total de agua dulce y el número de hora trabajadas como *inputs*. Dentro de los *outputs* se tienen al volumen de producción como *good output* y el CO<sub>2</sub> total, el compuesto orgánico volátil, el desperdicio total y la tasa total registrable de lesiones y enfermedades como *bad outputs*.

**Tabla 3.2.2 Inputs y Outputs usados por Leu et al., (2020)**

| <i>Variable</i>                    | <i>Input o Output</i> | <i>Unidades</i> | <i>Antecedente teórico</i>                                         |
|------------------------------------|-----------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------|
| <i>Consumo total de energía</i>    | Input                 | TJ              | Wang et al., (2020); Emrouznejad y Yang (2016); Sözen y Alp (2009) |
| <i>Ingesta total de agua dulce</i> | Input                 | 1000 M3         | Ren et al., (2016); Mousavi et al., (2011)                         |

|                                                  |             |                       |                                                                  |
|--------------------------------------------------|-------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------|
| Número de horas trabajadas-empleados             | Input       | Horas                 | Yu et al., (2016); An et al., (2015); Önüt y Soner (2006)        |
| Volumen de producción                            | Good Output | TONS                  | Lozano et al., (2009)                                            |
| Compuesto orgánico volátil                       | Bad Output  | TONS                  | Sözen y Alp (2009); Bevilacqua y Braglia (2002)                  |
| CO <sub>2</sub> total                            | Bad Output  | TONS                  | Emrouznejad y Yang (2016); Yu et al., (2016); Färe et al. (2004) |
| Desperdicio total.                               | Bad Output  | TONS                  | An et al., (2015); Simoes et al., (2012)                         |
| Tasa total registrable (lesiones y enfermedades) | Bad Output  | Por millones de horas | Leu et al., (2020)                                               |

Fuente: Elaboración propia con base en Leu et al., (2020).

Como se puede analizar en la tabla 3.2.3, la variable ambiental que más se usa en la industria y en la manufactura son las emisiones de CO<sub>2</sub> y esta actúa como un *Bad Output*.

La tabla 3.2.3 resume varios estudios sobre la industria en China, detallando los *inputs* y *outputs* utilizados en cada uno. El estudio de Guan et al., (2010-2011) abarca 30 provincias en China, utilizando como *inputs*: capital, energía y población, y como *outputs* el Producto Interno Bruto (PIB) como *good output* y las emisiones de CO<sub>2</sub> industriales como *bad output*.

El estudio de Zhou et al., (2005-2010) también abarca 30 provincias y utiliza capital, energía y trabajo como *inputs*, con la capacidad de generación de energía eléctrica como *good output* y las emisiones de CO<sub>2</sub> como *bad output*. Wang et al., (2005-2010) estudia 28 provincias, empleando trabajo, capital y energía como *inputs*, y el PIB como *good output* y las emisiones de CO<sub>2</sub> como *bad output*.

**Tabla 3.2.3 Estudios de caso con variables ambientales**

| <b>TÍTULO</b>                                                                                        | <b>AUTOR</b> | <b>ÁREA DE ESTUDIO</b>                 | <b>DE</b> | <b>INPUTS</b>                                                                                      | <b>OUTPUTS</b>                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>The environmental efficiency of Wanjiang demonstration area: A Bayesian estimation approach</i>   | Song y Guan  | Wanjiang demonstration area, 2010-2011 |           | <b>Capital</b> ( <i>Fixed capital</i> )                                                            | <b>Good output:</b> PIB                                                                |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Energía</b> ( <i>Consumo de energía no renovable en miles de toneladas de carbón estándar</i> ) | <b>Bad output:</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> (industrial)                           |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Población</b> ( <i>Número de habitantes</i> )                                                   |                                                                                        |
| <i>Environmental efficiency analysis of power industry in China based on an entropy SBM model</i>    | Zhou et al., | 30 provinces in China, 2005-2010       |           |                                                                                                    | <b>Good output:</b> Capacidad de potencia (producción neta anual de energía eléctrica) |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Trabajo</b> ( <i>Población total empleada en la industria eléctrica.</i> )                      |                                                                                        |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Capital</b> ( <i>Datos de inversión en activos fijos</i> )                                      | <b>Bad output:</b> SO <sub>2</sub>                                                     |
| <i>Scenario-based energy efficiency and productivity in China: A non-radial directional distance</i> | Wang et al., | 28 provinces in China, 2005-2010       |           | <b>Energía</b> ( <i>Consumo estándar de carbón como insumos de recursos</i> )                      | <b>Bad output:</b> NO <sub>x</sub>                                                     |
|                                                                                                      |              |                                        |           |                                                                                                    | <b>Bad output:</b> CO <sub>2</sub>                                                     |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Trabajo</b> ( <i>millones de personas</i> )                                                     | <b>Good output:</b> PIB                                                                |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Capital</b> ( <i>Capital Stock</i> )                                                            | <b>Bad output:</b> Emisiones de CO <sub>2</sub>                                        |
|                                                                                                      |              |                                        |           | <b>Energía</b> ( <i>Consumo de energía</i> )                                                       |                                                                                        |

|                                                                                                |                          |                                                           |                                                                             |                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>function analysis</i>                                                                       |                          |                                                           |                                                                             |                                                                                                                           |
| <i>Environmental efficiency of industrial sectors in China: An improved weighted SBM model</i> | Zhou et al.,             | 27 industrial sectors in China                            | Inversión industrial (Inversión anual promedio de la industria)             | Producción ambiental                                                                                                      |
|                                                                                                |                          |                                                           | Trabajadores (Número de empleados en la industria)                          | Residuos sólidos                                                                                                          |
|                                                                                                |                          |                                                           | Aceite (Consumo Promedio de aceite)                                         | Gases residuales                                                                                                          |
|                                                                                                |                          |                                                           | Gas (Consumo Promedio de gas)                                               | Aguas residuales                                                                                                          |
|                                                                                                |                          |                                                           | Carbón (Consumo Promedio de carbón)                                         |                                                                                                                           |
| <i>'Green' productivity growth in China's industrial economy</i>                               | Shiyi Chen y Jane Golley | 38 Chinese industrial sectors during the period 1980–2010 | <b>Trabajo</b> ( <i>Promedio de la cantidad de trabajadores empleados</i> ) | Participación en la producción de las empresas financiadas por Hong Kong, Macao, Taiwán e inversores extranjeros (HMTFEs) |
|                                                                                                |                          |                                                           | <b>Capital</b> ( <i>Capital Stock</i> )                                     | Industrial Value Added (IVA)                                                                                              |
|                                                                                                |                          |                                                           | <b>Energía</b> ( <i>Toneladas equivalentes de carbón</i> )                  | Las emisiones inducidas por energía (medidas en 10.000 toneladas)                                                         |
|                                                                                                |                          |                                                           |                                                                             | CO <sub>2</sub>                                                                                                           |
|                                                                                                |                          |                                                           |                                                                             | Participación en la producción de las                                                                                     |

|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               |                                                                             |                                                                |
|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| <i>Environmental Efficiency and Its Determinants for Manufacturing in China</i> | Xu Wang, Liyan Han y Libo Yin | 30 manufacturing industries in China from 2006 to 2011 excluding the Recycling and Disposal of Waste Industry due to a lack of relevant data. |                                                                             | pequeñas empresas (SE)                                         |
|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               |                                                                             | La intensidad de I+D de cada sector                            |
|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               |                                                                             | porcentajes de producción de las empresas estatales (SOES)     |
|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               | <b>Trabajo</b> ( <i>Promedio de la cantidad de trabajadores empleados</i> ) | Valor bruto de la producción industrial                        |
|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               | <b>Capital</b> ( <i>Capital Stock</i> )                                     | El volumen total de emisiones de gases residuales industriales |
|                                                                                 |                               |                                                                                                                                               | <b>Energía</b> ( <i>Toneladas equivalentes de carbón</i> )                  | Tecnología (El gasto en I+D)                                   |

Fuente: Elaboración Propia con base en literatura revisada.

Otro estudio de Zhou et al., (2005-2010) se centra en 27 industrias en China, utilizando capital, energía y trabajo como inputs, y residuos sólidos y gases residuales como *bad outputs*. Cheng y Chen (1990-2010) analizan 38 ciudades industriales en China, con trabajo, capital y energía como inputs, y los ingresos financieros provenientes de Hong Kong, Taiwán e inversiones extranjeras como *good output*, y residuos sólidos y gases residuales como *bad outputs*.

Finalmente, Wang et al., (2005-2010) estudian 30 provincias, utilizando trabajo, capital y energía como inputs, y el Valor Agregado Bruto (VAB) de las pequeñas empresas como *good output* y los residuos industriales como *bad output*.

Cada estudio se enfoca en diferentes aspectos de la industria, utilizando inputs como capital, energía y trabajo, y evaluando outputs tanto positivos (PIB, capacidad de generación

eléctrica, ingresos financieros y VAB) como negativos (emisiones de CO<sub>2</sub>, residuos sólidos y gases residuales).

### **3.2.1 Economías desarrolladas**

Se ha visto que uno de los indicadores ambientales más importantes para la industria manufacturera es el CO<sub>2</sub>, por lo que ahora se hará un análisis de este mismo por cada economía desarrollada dentro de la industria manufacturera.

La gráfica 3.2.1.1 representa los kilogramos de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense a precios constantes del año 2015, esto con base al banco mundial (2024) en varias economías desarrolladas desde el año 2000 hasta 2022. Las economías incluidas son Australia, Canadá, Hong Kong, Japón, Nueva Zelanda, Corea del Sur, Singapur y Estados Unidos.

Durante el periodo 2000-2022 Hong Kong ha sido el principal emisor de CO<sub>2</sub> dentro de las economías desarrolladas del APEC. Esta economía en el año 2000 produjo 0.832 kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense y el año 2022 produjo 0.466 kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense. Solo durante el periodo del 2004-2006 fue superada por Australia, la cual produjo de 0.479kg-0.456kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense.

Los principales 4 emisores de CO<sub>2</sub> de las economías desarrolladas del APEC para el año 2022, con base al banco mundial (2024), son Hong Kong, Canadá, Australia y Nueva Zelanda ordenado respectivamente del mayor al menor.

La economía con menor emisiones de CO<sub>2</sub> de las economías desarrolladas del APEC para el año 2022 es Corea del sur con 0.13 kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense. Produciendo este 3.58 veces menos emisiones que el principal emisor de CO<sub>2</sub> de las economías desarrolladas del APEC, Hong Kong.

Otros puntos clave son:

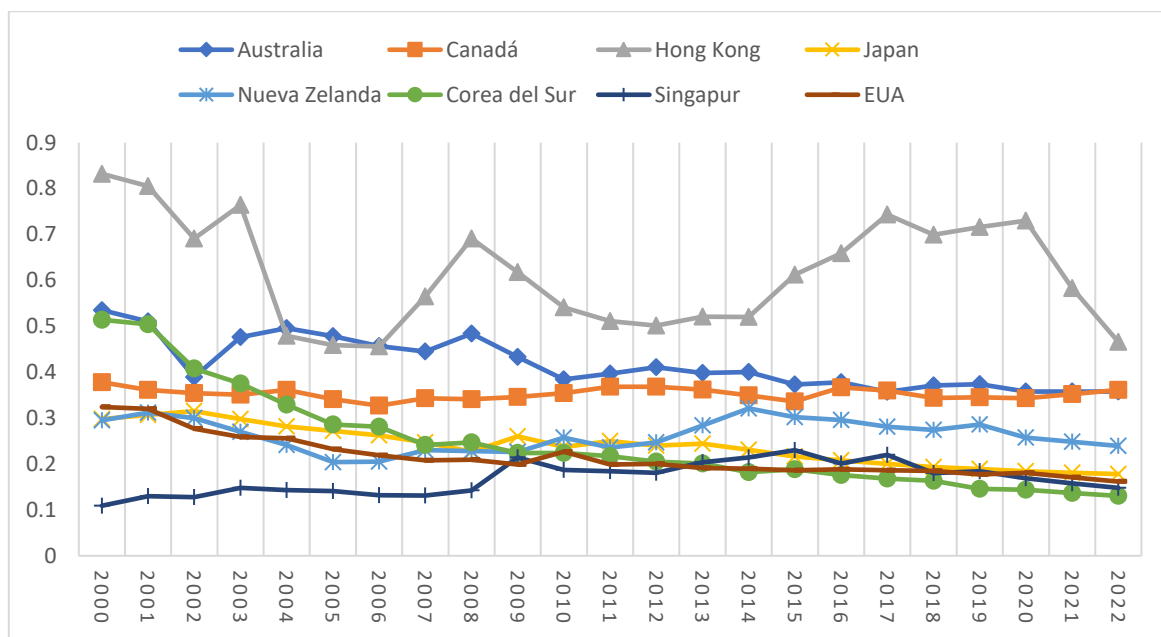
- Canadá muestra una tendencia similar a la de Australia, comenzando cerca de 0.3 kg CO<sub>2</sub>/USD en el año 2000 y manteniéndose relativamente estable, terminando alrededor de 0.36 kg CO<sub>2</sub>/USD en el año 2022.
- Estados Unidos y Corea del Sur muestran fluctuaciones, pero con una tendencia descendente.

- Japón y Nueva Zelanda presentan tasas más bajas en comparación con las otras economías, manteniendo una tendencia relativamente estable o ligeramente descendente.
- Singapur también muestra una tendencia ascendente, comenzando cerca de 0.13 en el 2000 y aumentando a alrededor de 0.2 en 2022, con algunas fluctuaciones.

Gráfica 3.2.1.1 Emisiones de dióxido de carbono de la industria manufacturera de las economías desarrolladas por unidad de valor añadido manufacturero en el periodo 2000-2022 (kilogramos de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense constante de 2015)

En resumen, aunque la mayoría de las economías muestran una tendencia descendente en la eficiencia de CO<sub>2</sub>/USD, algunas como Australia y Canadá han mantenido una mayor estabilidad. Hong Kong es la que presenta la caída más pronunciada en eficiencia a lo largo del tiempo, mientras que Japón y Singapur muestran una relativa estabilidad con pequeñas mejoras.

**Gráfica 3.2.1.1 Emisiones de dióxido de carbono de la industria manufacturera de las economías desarrolladas por unidad de valor añadido manufacturero en el periodo 2000-2022**  
kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense constante de 2015



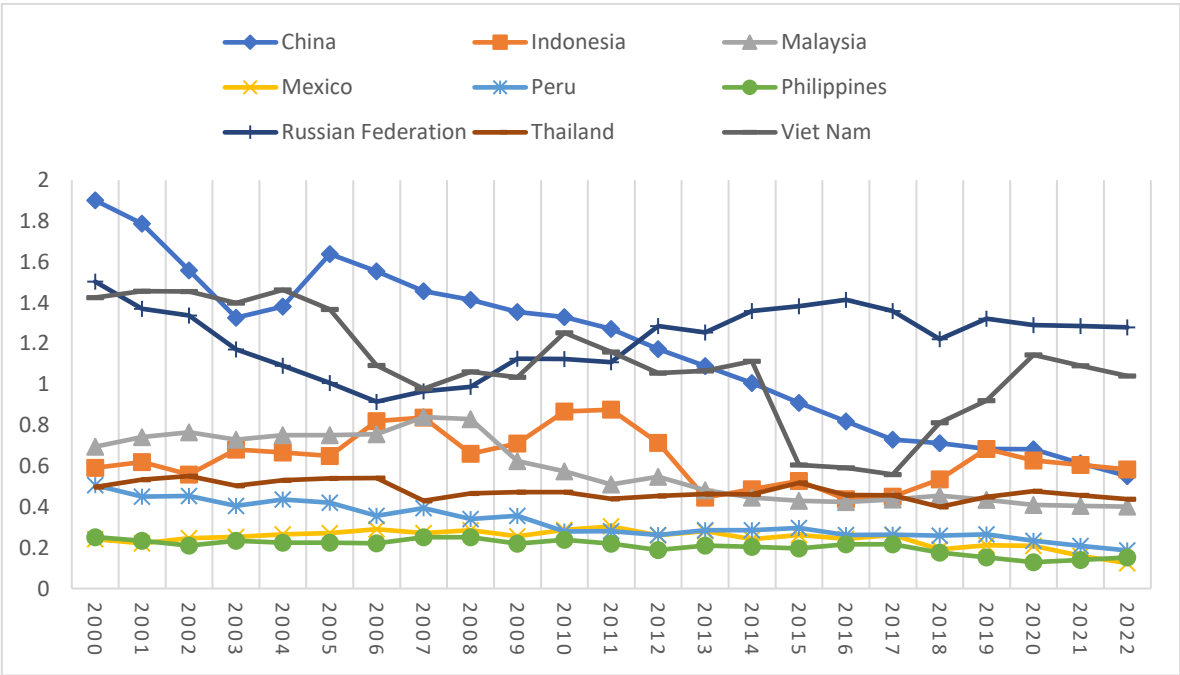
Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

3.2.2 Economías en desarrollo

La grafica 3.2.2.1 representa las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de las industrias manufactureras de las economías en desarrollo del APEC en un periodo del 2000-2022, medido en kilogramos de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense a precios constantes de 2015 de valor añadido manufacturero, durante el período de 2000 a 2022.

China presenta las tasas más altas de emisiones al inicio del período, con una tendencia a la baja. Las emisiones disminuyen de aproximadamente 1.9 kg CO<sub>2</sub>/USD en el año 2000 a alrededor de 0.55 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2022, mostrando una mejora significativa en la eficiencia de las emisiones.

**Gráfica 3.2.2.1 Emisiones de dióxido de carbono de la industria manufacturera de las economías en desarrollado por unidad de valor añadido manufacturero en el periodo 2000-2022**  
**kg de CO<sub>2</sub> por dólar estadounidense constante de 2015**



Fuente: Elaboración propia con base en Banco Mundial (2024).

La Federación Rusa presenta una de las tasas más altas de emisiones al inicio del período, con fluctuaciones importantes. Las emisiones disminuyen de aproximadamente 1.5 kg

CO<sub>2</sub>/USD en el año 2000 a alrededor de 0.915 kg CO<sub>2</sub>/USD en el 2006, pero, para el año 2022 estas aumentan a 1.04 kg CO<sub>2</sub>/USD.

Vietnam también presenta una tendencia con fluctuaciones. Las emisiones comienzan en aproximadamente 1.457 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000 y disminuyen a alrededor de 0.559 para el año 2017, para el año 2022, Vietnam produjo terminando en alrededor de 0.3 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2022.

México muestra una tendencia relativamente estable con ligeras fluctuaciones. Las emisiones comienzan en aproximadamente 1.37 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000 y se mantienen en torno a ese nivel, con una ligera disminución hacia 2022, alcanzando alrededor de 0.124 kg CO<sub>2</sub>/USD.

Indonesia muestra fluctuaciones en sus emisiones a lo largo del tiempo. Las emisiones comienzan en aproximadamente 0.6 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000, suben y bajan en diferentes años, y finalmente se estabilizan en torno a 0.58 kg CO<sub>2</sub>/USD hacia 2022.

Malasia presenta una tendencia fluctuante, comenzando con emisiones de alrededor de 0.7 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000, aumentando y disminuyendo en varios puntos, y terminando en aproximadamente 0.4 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2022.

Perú tiene una tendencia a la baja con emisiones bajas en comparación con otras economías. Las emisiones comienzan en aproximadamente 0.5 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000 y se mantienen en ese nivel durante la mayor parte del período, con una ligera disminución hacia 0.2 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2022.

Filipinas muestra una tendencia estable con emisiones bajas. Las emisiones comienzan en alrededor de 0.2 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000 y se mantienen en ese nivel con pequeñas fluctuaciones, terminando en alrededor de 0.2 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2022.

Tailandia muestra también una tendencia relativamente estable con ligeras fluctuaciones. Las emisiones comienzan en aproximadamente 0.5 kg CO<sub>2</sub>/USD en 2000 y se mantienen en torno a ese nivel, con una ligera disminución hacia 2022.

# Capítulo 4

## El Data Envelopment Analysis en las medidas de eficiencia radial y no radial. Un marco teórico y metodológico

**E**l capítulo 4 se desglosa en los orígenes y la evolución que ha tenido la metodología *Data Envelopment Analysis*, así como la descripción de sus 2 grandes ramas las cuales son las medidas radiales y las no radiales dentro de un contexto teórico.

### 4.1 Antecedentes del Data Envelopment Analysis (DEA)

Para comprender esta metodología, primero se deben definir algunos conceptos básicos. El primero de ellos es la eficiencia, este es desarrollado en este apartado y así posteriormente entrar en materia de la metodología llamada Análisis Envoltente de Datos (DEA).

#### 4.1.1 Eficiencia

Si se habla de eficiencia, se habla de Farrell. Este autor es reconocido a nivel mundial por ser el primero en la formular un marco teórico fundamental para poder medir la eficiencia y

llevar a cabo un análisis detallado de la misma. En su famoso artículo "*The Measurement of Productive Efficiency*" publicado en 1957, propuso una perspectiva real, en contraposición a una ideal, donde la eficiencia de una unidad productiva se evalúa en comparación con otras unidades tomadas de un grupo representativo y homogéneo. Además, Farrell dividió la eficiencia en dos componentes: la eficiencia técnica y la eficiencia asignativa. Al multiplicar ambas eficiencias, se obtiene la eficiencia económica, concluyendo que la sociedad debe esforzarse por maximizar los beneficios con los recursos limitados disponibles (Navarro y Torres, 2003).

Farrell (1957), introduce el concepto de “eficiencia técnica” como la capacidad de una entidad para producir la máxima cantidad de bienes y servicios con una cantidad dada de *inputs* y por último se tiene también la “eficiencia asignativa” a la que se refiere a cómo se distribuyen los recursos entre diferentes actividades productivas y cómo se asignan los factores de producción, como el capital y el trabajo, para lograr un mayor rendimiento. El autor desarrolla una técnica denominada “*Frontier Analysis*”, que compara el rendimiento real de una entidad con el rendimiento óptimo teórico, permitiendo identificar las áreas de oportunidad de mejora de la eficiencia. La combinación de eficiencia técnica y eficiencia asignativa contribuye a una mayor eficiencia global en la producción de bienes y servicios, lo que puede llegar a llevar a un aumento de la productividad y la competitividad de la entidad en su sector económico.

El concepto de eficiencia técnica fue definido por Debreu (1951) y Farrell (1957) como a disparidad entre uno y un cociente que ilustra la reducción más significativa proporcional en todos los *outputs* o como uno más la mayor ampliación proporcional factible en todos los *outputs* manteniendo el mismo uso de *inputs*. El pensamiento de Gérard Debreu, un destacado economista y matemático francés, se distingue por su enfoque matemático riguroso en la teoría económica y su profundo análisis de la elección del consumidor. Debreu se destacó en la teoría de la utilidad, la teoría de la demanda y la teoría del equilibrio general.

En su obra, Debreu (1951), exploró cómo los consumidores realizan elecciones racionales para maximizar su utilidad, considerando las restricciones presupuestarias y las preferencias personales. Su enfoque matemático sentó las bases sólidas para la teoría económica moderna, substancialmente en el estudio del equilibrio general y la asignación eficiente de recursos.

Debreu (1957), también realizó aportaciones importantes al desarrollo de la teoría del equilibrio general competitivo, demostrando la existencia de un equilibrio en el que la oferta y la demanda se igualan en todos los mercados. Su trabajo profundizó en la comprensión de las interacciones entre agentes económicos en un sistema de mercado y cómo se logra un equilibrio eficiente. Una de sus contribuciones más importantes es la "eficiencia técnica", que fue discutida por primera vez en el "coeficiente de utilización de recursos".

En resumen, el pensamiento de Debreu (1957) subraya la necesidad de comprender las decisiones racionales del consumidor y los fundamentos matemáticos del equilibrio económico, así como la complejidad en la evaluación y medición de la eficiencia en el análisis económico moderno.

Según Koopmans (1951) economista neerlandés-estadounidense conocido por sus contribuciones a la teoría económica y la programación lineal. Koopmans desarrolló modelos matemáticos para analizar la eficiencia en la producción y la asignación de recursos, y formuló el concepto de eficiencia de Pareto en economía. Su enfoque en la eficiencia en la asignación de recursos y su trabajo pionero en la teoría de la programación lineal han tenido un impacto importante en la economía y la evaluación de políticas económicas. La eficiencia de Pareto, según Koopmans, se refiere a una situación en la que no es posible mejorar la situación de un individuo sin empeorar la situación de al menos otro individuo, lo que es fundamental en la teoría del bienestar y en la asignación eficiente de recursos, por lo tanto, la eficiencia técnica dice que, si se incrementa cualquiera de los *outputs*, significa que hubo una reducción o aumento de alguno de los *inputs* o viceversa.

Farrell (1957) introdujo el concepto de una función de producción eficiente, inspirándose en el análisis de actividad en programación lineal e inició la discusión sobre la medición de la eficiencia, inicialmente denominada "eficiencia técnica", un concepto introducido por primera vez en el "coeficiente de utilización de recursos" de Debreu (1951).

Farrell (1957) también exploró la "eficiencia de precios" y la "eficiencia global" en relación con los rendimientos crecientes y decrecientes a escala, conceptos que han proporcionado durante mucho tiempo una base fundamental para los estudios del DEA.

Por último, Farrell y Fieldhouse (1962), estima de una función de producción eficiente bajo rendimientos crecientes a escala ampliando la investigación de Farrell (1957) al introducir una estructura de programación lineal resuelta mediante el método simplex de programación lineal. Su estudio destacó dos preocupaciones significativas, una de las cuales era la posible ocurrencia de degeneración o múltiples soluciones cuando un conjunto de datos mostraba una dependencia lineal cero entre los factores de producción.

Sumanth, (1990) define a la eficiencia como la razón entre la producción real obtenida y la producción estándar obtenida.

No hay que confundir eficiencia con eficacia, son conceptos diferentes. La eficacia se puede definir como el hecho de cumplir los objetivos establecidos, en cambio por otro lado, la eficiencia es lograr los objetivos establecidos, pero con la menor cantidad de recursos posibles (Koontz y Weihrich, 1998).

Charnes et al. (1978), abordan la medición de la eficiencia en unidades de toma de decisiones (DMU's) dentro del ámbito de la gestión y la economía. Los autores introducen un enfoque innovador en el análisis de eficiencia llamado Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés), que posibilita la evaluación de la eficiencia relativa de varias DMU's al comparar sus *inputs* y resultados. El DEA se fundamenta en una metodología matemática que identifica las DMU más eficientes, denominadas "eficientes en el frente" o "eficientes en la envolvente", estableciendo puntos de referencia para las demás. Esto facilita la identificación de oportunidades de mejora en la toma de decisiones y la asignación de recursos. En conclusión, a este párrafo, aunque se sabe que Farrell es el pionero del modelo DEA al tratar de solucionar problemas agrícolas, fue hasta que llegó *Charnes et al.*, en el año de 1978 los que realizaron los fundamentos matemáticos de la teoría moderna del modelo de frontera DEA. Hay que destacar que *Charnes et al.*, (1997) publican que la idea original surgió de Rodees cuando aplicó este análisis en un estudio de eficiencia de la educación en Estados Unidos de América.

El análisis envolvente de datos se hizo una metodología famosa y esta se calcula inicialmente con rendimientos constantes a escala como lo hizo *Farrell* (1957) y este supuesto permitía que a través de una isocuanta se pudiera reflejar toda la información relevante. Posteriormente el mismo Farrell, pero en el año de 1962 en conjunto con *Fieldhouse*, hicieron

una modificación a DEA en donde calcularon la eficiencia a través de rendimientos variables a escala (Farrell y Fieldhouse, 1962).

En los últimos años, se ha observado una diversidad considerable de aplicaciones del Análisis Envolvente de Datos (DEA) para evaluar el rendimiento de diversas entidades participantes en una amplia variedad de actividades y en distintos contextos y economías (Cook y Seiford, 2009; Lee, 2008; Lee y Lee, 2009; Liu y Yu, 2004; Sengupta y Sahoo, 2006; Waldron et al., 2005; Zhou et al., 2008b). Diversos estudios han explorado cómo el DEA ayuda al rendimiento de las organizaciones de servicios como bancos, hospitales y hoteles [Sherman y Zhu, 2013]. Gracias a su baja cantidad de suposiciones necesarias, el DEA ha ampliado las posibilidades de aplicación en casos que han resistido a otros enfoques debido a la complejidad (a menudo desconocida) de las relaciones entre los múltiples *inputs* y *outputs* presentes en las DMU's.

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) ha sido empleado para proporcionar conocimientos exclusivos acerca de las estrategias óptimas y posibilidades de mejorar la eficiencia y rentabilidad. Un ejemplo de esto se encuentra en investigaciones sobre prácticas de benchmarking utilizando DEA, donde se han detectado diversas fuentes de ineficiencia en algunas de las compañías más rentables que, previamente, habían sido utilizadas como puntos de referencia en función de su rentabilidad. Este enfoque ha facilitado la identificación de *benchmarks* más efectivos en numerosos estudios aplicados (Lee y Lee, (2009); Liu y Yu, (2004); Sengupta y Sahoo (2006); Waldron et al., (2005).

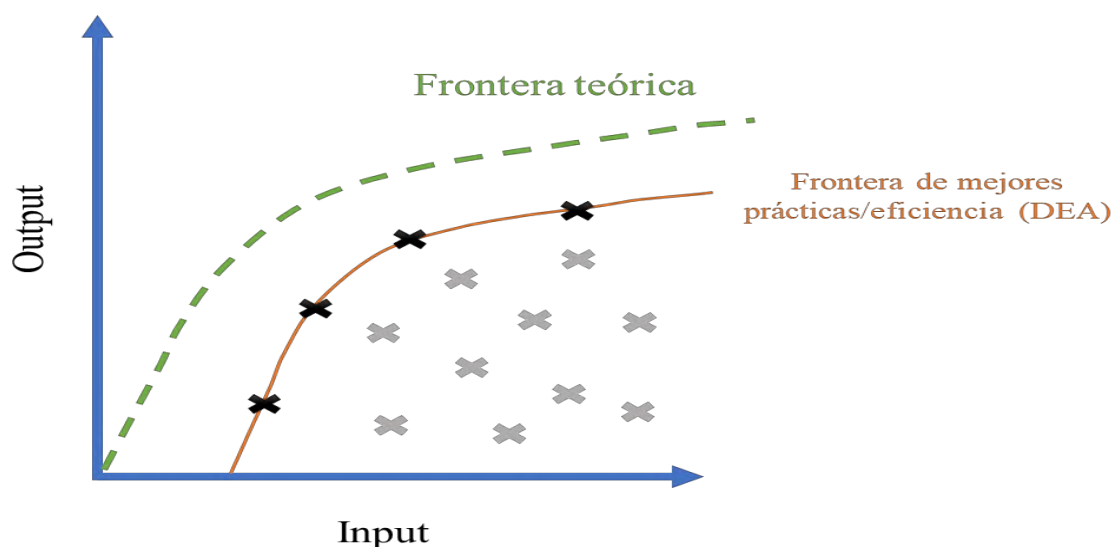
*Charnes, Cooper y Rhodes* (1978) caracterizaron el Análisis Envolvente de Datos (DEA) como un "modelo de programación matemática aplicado a datos observacionales que introduce una nueva manera de obtener estimaciones empíricas de relaciones". El DEA constituye el método de optimización que extiende la medida de eficiencia técnica de una sola entrada/salida a situaciones con múltiples *inputs* y *outputs*, logrando esto mediante la creación de un índice de eficiencia relativa que representa la relación entre una única salida virtual y una única entrada virtual. La fórmula del índice de eficiencia se define como:

$$Eficiencia = \frac{Suma\ ponderada\ de\ Outputs}{Suma\ ponderada\ de\ inputs} \quad (1)$$

El DEA es una metodología centrada en las fronteras en lugar de las tendencias centrales (Cooper et al., 2006). En lugar de intentar ajustar un plano de regresión a través del centro de los datos, como se haría en la regresión estadística, por ejemplo, se implementa una superficie lineal segmentada que se ajusta a las observaciones. Debido a esta perspectiva, el DEA resulta particularmente valioso para revelar relaciones que permanecen ocultas para otras metodologías.

En la Figura 4.1.1, se ilustra el concepto fundamental del DEA con las fronteras teóricas y las de mejores prácticas. La frontera teórica representa la condición ideal. En una cantidad específica de *inputs*, se considerarán eficientes aquellas unidades de toma de decisiones (DMUs) que proporcionen mayores cantidades de *outputs*. Al aplicar el enfoque DEA a este conjunto de puntos de las DMUs, se identificarán las unidades S1, S2, S3 y S4 como eficientes, dando lugar a una envolvente (frontera de mejores prácticas) que rodea todo el conjunto de datos; las demás unidades que se encuentran dentro de esta envolvente son consideradas ineficientes. Una DMU ineficiente tiene la posibilidad de mejorar (moverse hacia la frontera eficiente) siguiendo las direcciones sugeridas para la mejora (hacia S1, S2, S3, S4 u otros puntos a lo largo de la frontera). La distancia hasta la frontera de eficiencia proporciona una medida de la eficiencia o su ausencia.

**Gráfica 4.1.1 Conceptualización del concepto básico del Análisis de la Envolvente de Datos (DEA)**



Fuente: Elaboración propia con base en Hui y Wan, (2013).

Se presenta aquí un modelo elemental de DEA denominado el modelo *Charnes-Cooper-Rhodes* orientado a *inputs* (CCR-i) bajo rendimientos constantes a escala (CRS) (Cooper et al., 2006;2007). Se parte del supuesto de que hay Unidades de Toma de Decisiones (DMUs) que requieren evaluación. Cada DMU consume cantidades variables de *m inputs* diversos para generar *s* salidas distintas. La puntuación de eficiencia relativa de una DMU de prueba (DMUp) se determina resolviendo el siguiente modelo (Charnes et al., 1978):

$$MAX \frac{\sum_{k=1}^s V_k Y_{kp}}{\sum_{j=1}^m U_j X_{jp}} \quad s. t. \quad \frac{\sum_{k=1}^s V_k Y_{ki}}{\sum_{j=1}^m U_j X_{ji}} \quad \forall i \quad \& \quad V_k, U_j \geq 0 \quad \forall k, j \quad (2)$$

Donde:

$Y_{ki}$  = Cantidad de output *k* producida por DMUi

$X_{ji}$  = Cantidad de input *j* utilizada por DMUi

$V_k$  = Peso dado para Output *K*

$U_j$  = Peso dado para Input *j*

La formulación fraccional previamente presentada se puede transformar en un programa lineal, tal como se indica a continuación (para obtener información más detallada sobre el desarrollo del modelo, consulte (Charnes et al., 1978)).

$$max \sum_{k=1}^s V_k Y_{kp} \quad s. t. \quad \sum_{j=1}^m U_j X_{jp} = 1 \quad \& \quad \sum_{k=1}^s V_k Y_{ki} - \sum_{j=1}^m U_j X_{ji} \leq 0 \quad \forall i \quad \& \quad V_k, U_j \geq 0 \quad \forall k, j \quad (3)$$

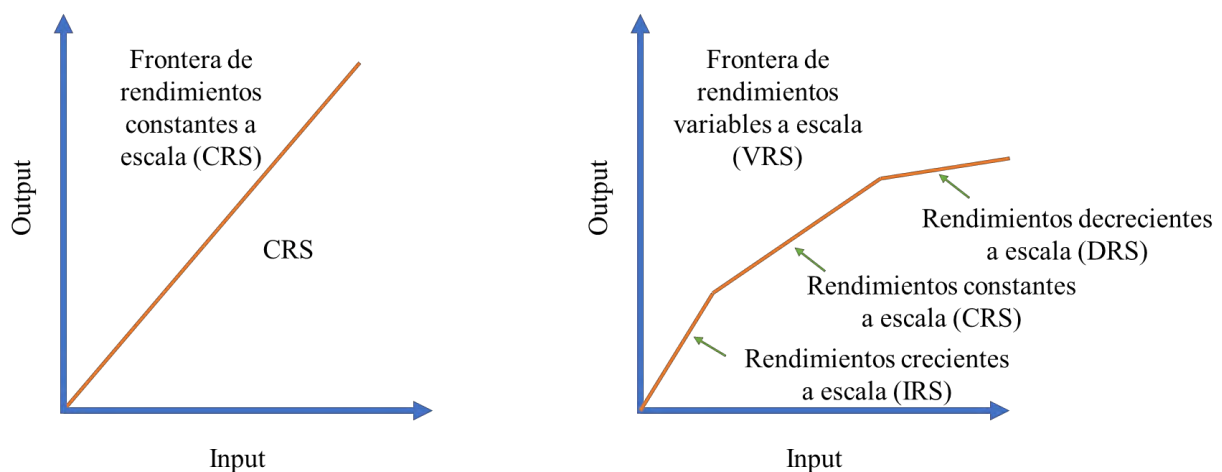
Las fórmulas anteriores se aplican *n* veces para determinar los puntajes de eficiencia relativa de todas las Unidades de Toma de Decisiones (DMUs). Cada DMU elige pesos para sus *inputs* y *outputs* de manera que maximicen su puntaje de eficiencia. En términos generales, se considera que una DMU es eficiente si logra un puntaje de 1; por el contrario, un puntaje inferior a 1 indica que es ineficiente. Para cada DMU ineficiente, el DEA identifica un conjunto de unidades eficientes correspondientes que pueden servir como puntos de referencia para mejoras. Estos puntos de referencia se derivan del dual asociado que se presenta a continuación en la ecuación (4), donde las dos primeras condiciones también se conocen como “*variables de holgura*” de entrada y salida, respectivamente (Hui y Wan, 2013).

$$\begin{aligned} \min \theta \quad & s. t. \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i X_{ji} - \theta X_{jp} \\ & \leq 0 \quad \forall j \quad \& \quad \sum_{i=1}^n \lambda_i Y_{ki} - \theta Y_{kp} \geq 0 \quad \forall k \quad \& \quad \lambda_i \geq 0 \quad \forall i \end{aligned} \quad (4)$$

Una frontera eficiente orientada a *inputs* se logra cuando se mantienen fijos los niveles actuales de *outputs*. De forma análoga, si se busca optimizar las salidas, es posible obtener una frontera eficiente orientada a *outputs* al mantener los *inputs* en sus niveles actuales.

El modelo de rendimientos constantes a escala (CRS) representa la versión simple y fundamental del Análisis Envolvente de Datos (DEA), desarrollado por *Charnes, Cooper y Rhodes* (1978), y ha demostrado ser una herramienta eficaz para identificar fronteras empíricas y evaluar la eficiencia relativa. En realidad, el tipo de rendimientos a escala (RTS) se refiere a la forma de la frontera de mejores prácticas de DEA (consulte la Fig. 4.1.2); CRS implicaría una línea recta con una pendiente constante. Aunque esta suposición suele ser válida, en situaciones donde los CRS no son predominantes, es necesario comparar las Unidades de Toma de Decisiones (DMUs) en función de su escala de operaciones. Otros tipos de fronteras DEA incluyen RTS variable, RTS no decreciente y RTS no creciente.

**Gráfica 4.1.2 Diferentes tipos de rendimientos a escala (RTS)**



Fuente: Elaboración propia con base en Hui y Wan, (2013).

Como se ha visto, el Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una técnica no paramétrica utilizada para evaluar la eficiencia y ha sido ampliamente empleada en investigación operativa y gestión (Charnes et al., 1978). Su concepto fundamental radica en que la eficiencia, durante todo el proceso productivo, se deriva de factores económicos (Farrell, 1957). En el ámbito de la evaluación ambiental, es necesario identificar tanto las salidas deseables o *good outputs* como las no deseadas o también conocidas como *bad outputs* (Sueyoshi y Goto, 2011). Zhou et al., (2008a) identificaron cinco medidas de eficiencia a partir de más de 100 documentos de investigación sobre energía y medio ambiente: (1) una medida de eficiencia radial, (2) una medida de eficiencia no radial, (3) una medida de eficiencia basada en holguras, (4) una medida de eficiencia hiperbólica y (5) una medida de eficiencia de la función de distancia direccional Zhou et al., (2008b). Entre estas medidas, la basada en holguras destaca por su mayor capacidad de discriminación. Su propiedad monótona permite reducir simultáneamente los *inputs* excesivos y las *bad outputs* para cada holgura. En consecuencia, en nuestra metodología de investigación para evaluar el rendimiento sostenible, se aplica el SBM (*Slacks-Based Measure*) a las salidas no deseadas (Cooper et al., 2007).

Supongamos que hay  $n$  unidades de toma de decisiones (DMUs). Cada DMU tiene tres factores: *inputs*, *good outputs* y *bad outputs*, que se representan mediante tres vectores:  $x \in \mathbb{R}^m$ ,  $y^g \in \mathbb{R}^{S_1}$  y  $y^b \in \mathbb{R}^{S_2}$ , respectivamente. La definición de las matrices se basa en las ecuaciones (5)–(13) (Cooper et al., 2007).

$$X = [X_1, \dots, X_n] \in \mathbb{R}^{m \times n} \quad (5)$$

$$Y^g = [Y_1^g, \dots, Y_n^g] \in \mathbb{R}^{S_1 \times n} \quad (6)$$

$$Y^b = [Y_1^b, \dots, Y_n^b] \in \mathbb{R}^{S_2 \times n} \quad (7)$$

El conjunto de posibilidades (P) se puede definir como:

$$P = \{(X, Y^g, Y^b) | x \geq X\lambda, y^g \leq Y^g\lambda, y^b \geq Y^b\lambda, \lambda \geq 0\} \quad (8)$$

La medida basada en holguras (SBM) del modelo no deseado puede representarse como:

$$p^* = \min \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{i0}}}{1 + \frac{1}{s_1 + s_2} \left( \sum_{r=1}^{s_1} \frac{s_r^g}{y_{r0}^g} + \sum_{r=1}^{s_2} \frac{s_r^b}{y_{r0}^b} \right)} \quad (9)$$

Sujeto a:

$$x_0 = X\lambda + s^- \quad (10)$$

$$y_0^g = Y^g\lambda - s^g \quad (11)$$

$$y_0^b = Y^b\lambda - s^b \quad (12)$$

$$s^- \geq 0, s^g \geq 0, s^b \geq 0, \lambda \geq 0 \quad (13)$$

Donde  $s^g \in \mathbb{R}^{s_1}$  representa las deficiencias en las salidas buenas, y los vectores  $s^- \in \mathbb{R}^m$  y  $s^b \in \mathbb{R}^{s_2}$  representan excesos en los *inputs* y *bad outputs*, respectivamente. La ecuación (9) indica que, para cumplir con el valor objetivo  $0 < \rho^* \leq 1$ , es necesario incrementar  $s^g$  y reducir  $s^b$  y  $s^-$ . Cuando  $\rho^* = 1$ , se logra el objetivo proyectado a lo largo de la frontera eficiente para el modelo de salidas no deseadas.

En resumen, el análisis envolvente de datos (DEA) es un método de programación matemática empleado para cuantificar la eficiencia en la producción, fundamentado en el concepto de la frontera de producción en microeconomía. Los modelos radiales básicos de DEA, propuestos por *Charnes, Cooper y Rhodes* (CCR) y *Banker, Charnes y Cooper* (BCC), identifican el exceso de *inputs* y la escasez de *outputs* como formas de ineficiencia. *Zhou et al.*, (2008a) evaluaron la aplicación del DEA en 100 estudios relacionados con la energía y el medio ambiente, concluyendo que la eficiencia puede evaluarse de manera eficaz mediante los métodos radiales de los modelos CCR y BCC. La generación de valor en las empresas manufactureras involucra tanto *bad outputs*. Por consiguiente, se emplea el modelo DEA de *bad outputs* para analizar el desempeño sostenible de una empresa manufacturera, abarcando factores de *inputs* y *bad outputs*, el entorno natural, y la salud y seguridad de los trabajadores.

En el libro “La eficiencia del sector eléctrico en México” se presenta una tabla en la página 52 donde se muestran ventajas de usar DEA según Trillo (2002) como metodología, entre las

cuales destacan: (1) No especifica la forma funcional, (2) Aporta información útil para la gestión, (3) Único resultado (óptimo de Pareto), entre otros (Navarro, 2005).

### **Resumen Crítico.**

En esta investigación el concepto de eficiencia se tomó como autores principales a *Farrell* (1957), *Charnes et al.*, (1978) y a *Martins* (2006), donde la ésta se refiere a la capacidad de una entidad o unidad productiva para utilizar sus recursos de manera óptima y producir la máxima cantidad de bienes y servicios posibles con una cantidad dada de *inputs*. El enfoque de *Farrell* busca medir tanto la eficiencia técnica (lograr el máximo nivel de producción con los recursos disponibles) como la eficiencia asignativa (asignar los recursos de manera óptima para maximizar la producción). La combinación de ambas eficiencias contribuye a lograr un rendimiento óptimo y una mejor competitividad en el mercado, pero sin dejar de lado el uso eficiente de recursos los cuales se miden a través de la dimensión económica, ecológica y social para lograr un desarrollo sustentable.

#### **4.1.2 DEA orientado al *output***

Un modelo DEA orientado a los *outputs* es una técnica de análisis de eficiencia que se enfoca en maximizar los *outputs* obtenidos, manteniendo constantes los *inputs* utilizados (Maza et al., 2022). Este enfoque es particularmente útil cuando el objetivo principal es evaluar la capacidad de las unidades de decisión para generar la mayor cantidad de *outputs* posibles con los *inputs* disponibles.

Este tipo de modelo se utiliza cuando:

- El objetivo es aumentar la producción o los resultados sin incrementar los recursos.
- Las organizaciones tienen mayor control sobre sus *outputs* que sobre sus *inputs*.
- Se busca identificar el potencial de mejora en la generación de resultados.

El modelo DEA orientado a *outputs* se ha aplicado en diversos sectores, como:

- Agroindustria: Para evaluar la eficiencia de la faena bovina en diferentes provincias argentinas (Maza et al., 2022).
- Salud: En el análisis de la eficiencia de las Entidades Prestadoras de Salud (EPS) en Colombia (Fontalvo Herrera et al., 2017).

- Educación superior: Para comparar la eficiencia entre departamentos universitarios (Araya-Pizarro et al., 2023).
- Sector financiero: En el estudio de la eficiencia de los bancos en Argentina (Ferro et al., 2021).

#### **4.1.3 DEA orientado a los *inputs***

Un modelo DEA orientado a *inputs* es una metodología de análisis de eficiencia que se enfoca en minimizar los recursos o *inputs* utilizados mientras se mantienen constantes los *outputs* obtenidos. Este enfoque es especialmente útil cuando el objetivo principal es evaluar la capacidad de las unidades de decisión para optimizar el uso de sus recursos (Araya-Pizarro et al., 2023).

Este tipo de modelo es aplicable en situaciones donde:

- Reducción de costos: El objetivo es disminuir los costos o el uso de recursos manteniendo el mismo nivel de producción.
- Control sobre *inputs*: Las organizaciones tienen mayor control sobre sus *inputs* que sobre sus *outputs*.
- Eficiencia en el uso de recursos: Se busca identificar el potencial de ahorro en el uso de recursos.

El modelo DEA orientado a *inputs* se ha aplicado en diversos sectores de manufactura para evaluar la eficiencia técnica. Por ejemplo:

- Industria Automotriz: En el análisis de eficiencia de plantas de manufactura de automóviles, se utilizan variables como el número de trabajadores, horas de trabajo y materiales como *inputs*, y el número de vehículos producidos como *output* (Vasconcelos et al., 2018).
- Producción de Electrónicos: Para evaluar la eficiencia de fábricas de productos electrónicos, se consideran *inputs* como el consumo de energía, el costo de materiales y la mano de obra, mientras que los *outputs* incluyen la cantidad de productos terminados y su calidad (Silva et al., 2021).

4.1.4 DEA no orientado

Un modelo DEA (Data Envelopment Analysis) no orientado es una variante del análisis de eficiencia que busca optimizar simultáneamente tanto los *inputs* como los *outputs* de las unidades de decisión evaluadas. Este enfoque es particularmente útil cuando se desea mejorar la eficiencia global sin dar prioridad específica a la reducción de *inputs* o al aumento de *outputs*.

Este tipo de modelo se usa cuando:

- Se busca una mejora equilibrada tanto en el uso de recursos como en la generación de resultados.
- Las organizaciones tienen flexibilidad para ajustar tanto sus *inputs* como sus *outputs*.
- El objetivo es identificar ineficiencias en ambos aspectos del proceso productivo.

En el contexto de la industria, el modelo DEA no orientado ha sido aplicado en diversos sectores. Por ejemplo, en la industria del aceite de palma, se ha utilizado una modificación del modelo DEA VRS (Retornos Variables a Escala) para evaluar la eficiencia de las parcelas proveedoras de materia prima. Este enfoque permite considerar tanto las salidas deseadas como las no deseadas, lo cual es indispensable en procesos agroindustriales donde la calidad de la materia prima tiene un impacto significativo en la eficiencia de producción (Silva et al., 2021).

Tabla 4.1.4.1 Comparativo entre DEA orientado a inputs, outputs y no orientado

| <i>Característica</i> | <i>Modelo DEA Orientado a Inputs</i>                                                                                                 | <i>Modelo DEA Orientado a Outputs</i>                                                                        | <i>Modelo DEA No Orientado</i>                                                                                                            |
|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Definición</i>     | Enfocado en minimizar los <i>inputs</i> utilizados mientras se mantienen constantes los <i>outputs</i> (Araya-Pizarro et al., 2023). | Enfocado en maximizar los <i>outputs</i> producidos con un nivel dado de <i>inputs</i> (Silva et al., 2021). | Optimiza simultáneamente tanto los <i>inputs</i> como los <i>outputs</i> sin priorizar uno sobre el otro (Fontalvo Herrera et al., 2017). |
| <i>Cuando usarlo</i>  | -Cuando se desea reducir costos o el uso                                                                                             | -Cuando se busca aumentar la producción                                                                      | - Cuando se busca una mejora equilibrada tanto en                                                                                         |

|                                    |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | de recursos. o los resultados.                                                                                                                                                 | el uso de recursos como en la                                                                                                                                                                                         |
|                                    | -Cuando las organizaciones tienen mayor control sobre sus inputs.                                                                                                              | generación de resultados.                                                                                                                                                                                             |
|                                    | -Para identificar el potencial de ahorro en el uso de recursos (Araya-Pizarro et al., 2023).                                                                                   | - Cuando las organizaciones tienen flexibilidad para ajustar tanto sus inputs como sus outputs.                                                                                                                       |
|                                    | -Para identificar el potencial de mejora en la generación de resultados (Silva et al., 2021).                                                                                  | - Para identificar ineficiencias en ambos aspectos del proceso productivo (Fontalvo Herrera et al., 2017).                                                                                                            |
| <i>Aplicaciones en manufactura</i> | -Evaluación de la eficiencia en plantas de manufactura de automóviles considerando <i>inputs</i> como el número de trabajadores y horas de trabajo (Vasconcelos et al., 2018). | -Evaluación de la eficiencia en la producción de alimentos concentrados, considerando tanto la eficiencia en el abastecimiento de materias primas como la calidad del producto final (Fontalvo Herrera et al., 2017). |
| <i>Metodología</i>                 | Construye una frontera eficiente que minimiza los inputs necesarios para producir un nivel dado de outputs (Araya-Pizarro et al., 2023).                                       | Construye una frontera eficiente que maximiza los outputs producidos con un nivel dado de inputs (Silva et al., 2021).                                                                                                |
|                                    |                                                                                                                                                                                | Construye una frontera eficiente que optimiza simultáneamente tanto los inputs como los outputs, generando un índice único de eficiencia relativa (Fontalvo Herrera et al., 2017).                                    |

Fuente: Elaboración propia con base a Araya-Pizarro et al., (2023); Fontalvo Herrera et al., (2017); Silva et al., (2021); Vasconcelos et al., (2018).

La tabla comparativa elaborada muestra las diferencias clave entre los modelos DEA orientados a inputs, orientados a outputs y no orientados. Cada modelo tiene un enfoque específico y es útil en diferentes contextos dentro de la manufactura e industria. El modelo orientado a inputs se centra en la reducción de recursos, el orientado a outputs en la maximización de resultados, mientras que el no orientado busca un equilibrio entre ambos aspectos. Esta comparación resalta la versatilidad del análisis DEA, permitiendo a las

organizaciones elegir el enfoque más adecuado según sus objetivos y el grado de control que tienen sobre sus inputs y outputs. La elección del modelo apropiado puede proporcionar aportaciones valiosas para mejorar la eficiencia operativa en diversos sectores.

## **4.2 Apuntes teóricos y metodológicos sobre las recientes actualizaciones del DEA**

### **4.2.1 Network DEA**

El Network Data Envelopment Analysis (Network DEA) es una extensión del Análisis Envolvente de Datos (DEA) que se utiliza para medir la eficiencia relativa de sistemas complejos, considerando su estructura interna y las interrelaciones entre diferentes etapas o subprocesos. A diferencia del DEA tradicional, que trata a las unidades de decisión (DMUs) como "cajas negras", el Network DEA descompone el proceso de producción en múltiples etapas, permitiendo una evaluación más detallada de la eficiencia (Michali et al., 2021).

El Network DEA evalúa la eficiencia de DMUs considerando múltiples *inputs* y *outputs* a través de varias etapas interconectadas. Cada etapa puede tener sus propias *inputs* y *outputs*, así como *outputs* intermedios que se transfieren entre etapas. El modelo puede ser orientado a *inputs* o *outputs* y puede asumir retornos constantes o variables a escala (VRS) (Michali et al., 2021).

#### **4.2.1.1 Diferencias con el DEA Tradicional y el NETWORK DEA con base a Ang y Chen, (2016)**

El Análisis Envolvente de Datos en Red (Network DEA) es una evolución del DEA clásico que permite examinar la eficiencia de sistemas con estructuras complejas, teniendo en cuenta su organización interna y las conexiones entre sus diversos elementos. En contraste con el enfoque tradicional del DEA, que considera las unidades de decisión como entidades opacas, el Network DEA divide el proceso productivo en varias fases interrelacionadas. Esto facilita una evaluación más minuciosa de la eficiencia en cada etapa del sistema.

Esta técnica es particularmente valiosa para analizar la eficiencia de entidades u operaciones que presentan una configuración en red. Permite detectar con precisión los orígenes de las ineficiencias y ofrece una perspectiva más integral del rendimiento general del sistema bajo estudio. Al incorporar la estructura interna de las unidades evaluadas, el Network DEA proporciona información más detallada sobre el funcionamiento de los procesos y las

interacciones entre sus componentes, lo que resulta en un análisis más profundo y revelador de la eficiencia organizacional.

Como se puede ver la tabla 4.2.1, algunas diferencias que se puede encontrar entre DEA tradicional y Network DEA son los productos intermedios, en donde el Network DEA, incluye productos intermedios que se transfieren entre etapas, lo cual no se considera en el DEA tradicional. Otro punto importante para diferenciar es la evaluación detallada, en el Network DEA permite una evaluación más detallada de la eficiencia en cada etapa del proceso, identificando fuentes específicas de ineficiencia.

**Tabla 4.2.1.1 Diferencias entre DEA tradicional y Network DEA**

| ASPECTO                                | DEA TRADICIONAL                 | NETWORK DEA                                                                                 |
|----------------------------------------|---------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Evaluación de eficiencia</b>        | Evalúa la eficiencia global     | Permite evaluar la eficiencia de cada etapa individual                                      |
| <b>Productos intermedios</b>           | No los considera                | Incluye productos intermedios que se transfieren entre etapas                               |
| <b>Identificación de ineficiencias</b> | Limitada a la eficiencia global | Puede identificar fuentes específicas de ineficiencia en cada etapa                         |
| <b>Flexibilidad del modelo</b>         | Modelo único                    | Puede modelar diversas estructuras de red (series, paralelas y mixtas)                      |
| <b>Complejidad del sistema</b>         | Adecuado para sistemas simples  | Aplicable a sistemas complejos con múltiples <i>inputs</i> y <i>outputs</i> interconectadas |

Fuente: Ang y Chen, (2016).

#### **4.2.1.2 Características de Network DEA según Michali et al., (2021)**

**Descomposición de Eficiencia:** Permite descomponer la eficiencia global en eficiencias de etapas individuales.

**Flexibilidad:** Puede modelar diversas estructuras de red, incluyendo series, paralelas y mixtas.

**Aplicabilidad:** Es aplicable a sistemas complejos con múltiples *inputs* y *outputs* interconectadas.

**Sensibilidad:** Permite realizar análisis de sensibilidad para investigar cómo diferentes pesos de etapas afectan las puntuaciones de eficiencia.

#### 4.2.1.3 Fórmulas generales de Network DEA

Para las fórmulas de Network DEA, se basarán en el trabajo de *Chen et al.*, (2009). Un ejemplo de formulación matemática del Network DEA en un proceso de dos etapas es el siguiente:

Para la primera etapa:

$$\max \theta_{j_0}^1 = \frac{\sum_{q=1}^Q \gamma_q^A z_{qj_0}}{\sum_{p=1}^P v_p x_{pj_0}} \quad (14)$$

Donde:

$\theta_{j_0}^1$ : Representa la eficiencia de la primera etapa para la DMU  $j_0$ .

$\sum_{q=1}^Q \gamma_q^A z_{qj_0}$ : Es la suma ponderada de los *outputs* intermedios  $z_{qj_0}$  generados en la primera etapa, donde  $\gamma_q^A$  son los pesos asignados a cada *output* intermedio.

$\sum_{p=1}^P v_p x_{pj_0}$ : Es la suma ponderada de los *inputs*  $x_{pj_0}$  utilizadas en la primera etapa, donde  $v_p$  son los pesos asignados a cada *input*.

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{q=1}^Q \gamma_q^A z_{qj}}{\sum_{p=1}^P v_p x_{pj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, N \quad (15)$$

Esta restricción asegura que la eficiencia relativa de cada DMU  $j$  no supere el valor de 1, indicando que ninguna DMU puede ser más eficiente que la frontera de producción.

$$v_p, \gamma_q^A > 0 \quad (16)$$

Los pesos  $v_p$  y  $\gamma_q^A$  deben ser positivos para asegurar una evaluación coherente de la eficiencia.

Para la segunda etapa:

$$\max \theta_{j_0}^2 = \frac{\sum_{s=1}^S e_s y_{sj_0}}{\sum_{q=1}^Q \gamma_q^B z_{qj}} \quad (17)$$

$\theta_{j_0}^2$ : Representa la eficiencia de la segunda etapa para la DMU  $j_0$ .

$\sum_{s=1}^S e_s y_{sj_0}$ : Es la suma ponderada de los *outputs* finales  $y_{sj_0}$  generados en la segunda etapa, donde  $e_s$  son los pesos asignados a cada *output* final.

$\sum_{q=1}^Q \gamma_q^B z_{qj}$ : Es la suma ponderada de los *outputs* intermedios  $z_{qj}$  utilizados como *inputs* en la segunda etapa, donde  $\gamma_q^B$  son los pesos asignados a cada *output* intermedio.

Sujeto a:

$$\frac{\sum_{s=1}^S e_s y_{sj}}{\sum_{q=1}^Q \gamma_q^B z_{qj}} \leq 1, \quad j = 1, \dots, N \quad (18)$$

Esta restricción asegura que la eficiencia relativa de cada DMU  $j$  en la segunda etapa no supere el valor de 1.

$$e_s, \gamma_q^B > 0 \quad (19)$$

Los pesos  $e_s$  y  $\gamma_q^B$  deben ser positivos.

La eficiencia global de la DMU se define como:

$$\theta_j^0 = \frac{\sum_{s=1}^S e_s y_{sj}}{\sum_{p=1}^P v_p x_{pj}} = \theta_j^1 \cdot \theta_j^2 \quad (20)$$

$\theta_{j_0}^0$ : Representa la eficiencia de la segunda etapa para la DMU  $j_0$ .

$\frac{\sum_{s=1}^S e_s y_{sj}}{\sum_{p=1}^P v_p x_{pj}}$ : Es la relación entre la suma ponderada de los *outputs* finales y la suma ponderada de los *inputs* totales, considerando ambas etapas.

$\theta_j^1 \cdot \theta_j^2$ : La eficiencia global se obtiene como el *output* de las eficiencias de la primera y segunda etapa.

Para vincular las dos etapas, se asume que los multiplicadores relacionados con los *outputs* intermedios son los mismos en ambas etapas, es decir,

$$\gamma_q^A = \gamma_q^B \quad (21)$$

Para determinar si se puede aplicar Network DEA y en qué casos es apropiado su uso, es ideal considerar varios factores clave según *Michali et al.*, (2021):

- Estructura del proceso: El Network DEA es adecuado cuando el proceso de producción o servicio puede descomponerse en múltiples etapas interconectadas, esto permite un análisis más detallado de la eficiencia en cada fase del sistema.
- Presencia de productos intermedios: El Network DEA es particularmente útil cuando existen productos intermedios que se transfieren entre las etapas del proceso.
- Complejidad del sistema: Para sistemas complejos con múltiples *inputs* y *outputs* interconectadas, el Network DEA ofrece una evaluación más precisa.
- Necesidad de evaluación detallada: Si se requiere identificar fuentes específicas de ineficiencia en diferentes etapas del proceso, el Network DEA es más apropiado.
- Disponibilidad de datos: Es indispensable contar con datos detallados sobre las *inputs* y *outputs* en cada etapa del proceso. La falta de datos específicos para cada etapa puede limitar la aplicabilidad del Network DEA.
- Objetivos del análisis: Si el objetivo es obtener una visión más completa del rendimiento global del sistema, considerando las interrelaciones entre sus componentes, el Network DEA es preferible.
- Tipo de retornos a escala: El Network DEA puede aplicarse tanto en situaciones de retornos constantes como variables a escala.
- Presencia de salidas no deseadas: En casos donde existen salidas no deseadas (como contaminación o ruido), el Network DEA puede adaptarse para incluirlas en el análisis.

Es importante realizar un análisis cuidadoso del sistema en cuestión antes de decidir aplicar Network DEA. Si el proceso puede modelarse adecuadamente como una red de subprocesos

interconectados y se dispone de datos suficientes para cada etapa, el *Network DEA* puede proporcionar *insights* valiosos que no se obtendrían con el DEA tradicional.

#### 4.2.2 Frontera estocástica

La frontera estocástica es una técnica econométrica avanzada utilizada para evaluar la eficiencia en la producción o los costos. Este método, introducido de manera independiente por Aigner, Lovell y Schmidt, así como por Meeusen y Van Den Broeck en 1977, se distingue por su capacidad de separar el error en dos componentes distintos: uno que refleja la ineficiencia técnica y otro que captura las variaciones aleatorias.

Kumbhakar y Lovell, (2004) proponen una representación matemática de la función de producción de frontera estocástica:

$$Y_{it} = f(x_{it}, t, \beta) \cdot \exp(v_{it} - u_{it}) \quad (22)$$

Donde:

$Y_{it}$ : es el output observado de la firma  $i$  en el periodo  $t$ .

$f(x_{it}, t, \beta)$ : es la parte determinística de la frontera de producción.

$\beta$ : es el vector de parámetros tecnológicos a ser estimados.

$x_{it}$ : es el vector de *inputs*.

$v_{it}$ : es el término de error aleatorio que captura los efectos de factores fuera del control del productor, como cambios climáticos o errores de medición.

$u_{it}$ : es el término de ineficiencia técnica, que no es negativo y representa la desviación del productor respecto a la frontera de producción óptima.

##### 4.2.2.1 Diferencia entre DEA tradicional y las fronteras estocásticas

El análisis de eficiencia en diversos sectores económicos y organizacionales ha evolucionado significativamente en las últimas décadas, destacando dos metodologías principales: el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y las Fronteras Estocásticas (FE). Estas técnicas, aunque comparten el objetivo común de evaluar la eficiencia, difieren sustancialmente en sus enfoques, supuestos y aplicaciones.

La tabla 4.2.2.1 busca desglosar de manera sistemática las características distintivas de cada método, abarcando aspectos como su base metodológica, tratamiento del error, flexibilidad funcional, manejo de variables y requerimientos de datos. Esta comparación detallada no solo permite una comprensión más profunda de cada técnica, sino que también proporciona una guía valiosa para investigadores y profesionales en la selección del método más adecuado según las particularidades de su estudio o proyecto. Al examinar estas diferencias, se facilita una toma de decisiones informada sobre qué enfoque adoptar en función de la naturaleza de los datos disponibles, los objetivos específicos del análisis y las limitaciones contextuales del campo de estudio en cuestión.

**Tabla 4.2.2.1 Diferencias entre DEA tradicional y fronteras estocásticas**

| <i>Aspecto</i>                                              | <i>DEA tradicional</i>                                                                               | <i>Fronteras estocásticas (FE)</i>                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Enfoque Metodológico</i></b>                          | Técnica no paramétrica que utiliza programación lineal para construir una frontera de eficiencia.    | Método paramétrico que emplea técnicas econométricas para estimar una función de producción o costos.                   |
| <b><i>Tratamiento del error</i></b>                         | Asume que no hay error aleatorio y atribuye todas las desviaciones de la frontera a la ineficiencia. | Descompone el término de error en dos componentes: uno para la ineficiencia técnica y otro para los efectos aleatorios. |
| <b><i>Flexibilidad de la forma funcional</i></b>            | No impone ninguna forma funcional a los datos ni hace suposiciones sobre la distribución del error.  | Requiere especificar una forma funcional para la frontera de producción o costos.                                       |
| <b><i>Manejo de múltiples inputs y outputs</i></b>          | Permite fácilmente la utilización de múltiples inputs y outputs sin necesidad de agregar.            | Tradicionalmente se ha limitado a un solo output, aunque existen desarrollos recientes para manejar múltiples outputs.  |
| <b><i>Sensibilidad a outliers y errores de medición</i></b> | Es más sensible a outliers y errores de medición, ya que estos pueden afectar                        | Es más robusta frente a outliers y errores de medición debido a su componente estocástico.                              |

|                                                     |                                                                                                        |                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                     | significativamente la frontera de eficiencia.                                                          |                                                                                                    |
| <b>Interpretación de resultados</b>                 | Proporciona medidas de eficiencia relativa, identificando las unidades más eficientes como referencia. | Ofrece estimaciones de eficiencia absoluta en relación con una frontera teórica.                   |
| <b>Requerimientos de tamaño muestral</b>            | Puede aplicarse a muestras pequeñas, aunque su poder discriminatorio aumenta con el tamaño muestral.   | Generalmente requiere muestras más grandes para obtener estimaciones confiables de los parámetros. |
| <b>Capacidad para manejar variables ambientales</b> | Puede incorporar variables ambientales, pero su tratamiento es menos directo que en FE.                | Permite incluir variables ambientales directamente en la especificación del modelo.                |

Fuente: Avellana y Gonzales (2017); Bravo-Ureta y Pinheiro (1997); Coelli et al., (2005); Coll-Serrano (2019; 2022); Planas (2008) Sanhueza (2003).

#### 4.2.3 DEA con metafronteras

Las economías dentro de los sectores industriales tienen diferentes oportunidades de producción debido al nivel tecnológico u oportunidades que tiene cada una de ellas en el entorno en el que desarrollan. Cada economía tiene una eficiencia técnica diferente debido a que hay una existencia diferente en cada uno de ellos en cuestión de trabajo, capital, economía, etc. y cuando se tienen estas diferencias entre economías surge la necesidad de saber cómo se pueden medir la eficiencia global de una muestra que tiene economías con diferentes niveles de eficiencia técnica y es así como surgen las metafronteras. Las metafronteras al momento de calcularla es una frontera que está conformada por un conjunto de fronteras de producción diferentes o en otras palabras con niveles de eficiencia técnica diferente.

Lo que se había estado realizando, era realizar fronteras por separado cuando había esa diferencia pero a menudo se ha buscado es medir a todos en un mismo grupo, por ejemplo, la eficiencia manufacturera de México en comparación con la eficiencia manufacturera de

Canadá y poder tener una información más completa, lo cual no era posible o significativo ya que no tenían una frontera de producción idéntica, así es como surgen las metafronteras, con ellas se mide la eficiencia de varias economías en una meta frontera común sin restricción tecnológica. Esta meta frontera envolverá a las famosas metafronteras de grupo.

La definición de meta frontera está ligada al siguiente concepto que menciona, según *Hayami y Ruttan* (1971) “La función de meta producción puede considerarse como la envoltura de funciones de producción neoclásicas comúnmente concebidas”. (p. 82).

Una metafrontera es una frontera que representa la mejor tecnología de producción conocida entre diferentes grupos de empresas, mientras que una frontera tradicional representa la mejor tecnología de producción conocida dentro de un grupo específico de empresas. La metafrontera envuelve a las fronteras de grupo, que son los límites de conjuntos de tecnología restringida para grupos específicos de empresas. La eficiencia se mide en relación con la metafrontera y se puede descomponer en dos componentes: la distancia desde un punto de entrada-salida hasta la frontera del grupo (medida común de eficiencia técnica) y la distancia entre la frontera del grupo y la metafrontera que representa la naturaleza restrictiva del entorno de producción (O'Donnell, C. et al., 2007).

Básicamente, la metafrontera posibilita la comparación de eficiencias técnicas entre diversos conjuntos de economías en este caso que se enfrentan a diferentes oportunidades de producción. A diferencia de la frontera tradicional, que se limita a un grupo específico, esta distinción resulta fundamental para comprender y contrastar las eficiencias relativas de las economías que operan en entornos e industrias variadas.

En el ámbito de la manufactura, la metafrontera se convierte en una herramienta útil para evaluar la eficiencia técnica entre empresas provenientes de diversas economías, áreas geográficas o sectores específicos dentro de la industria. Esta aplicación permitiría obtener información valiosa acerca de cómo las empresas, operando en entornos diversos, aprovechan sus recursos y tecnologías para alcanzar niveles óptimos de eficiencia (O'Donnell et al., 2007).

Las metafronteras pueden ser paramétricas o no paramétricas, esto dependerá de la forma en la que se construyen. El procedimiento para el cálculo de las metafronteras siendo la más destaca la de *O'Donnell, Rao y Battese* publicada en el año 2008.

Según *O'Donnell et al.*, (2008) la metafrontera contiene todas las combinaciones de *inputs* y *outputs* que son tecnológicamente factibles, independientemente del grupo al que pertenezca la DMU. Formalmente, la metafrontera se define como:

$$T=\{(x, y): x \geq 0; y \geq 0; x \text{ puede producir } y\}$$

Donde “x” es el vector de *inputs* y “y” es el vector de *outputs*. La frontera de la metafrontera se conoce como la metafrontera de producción.

#### **4.2.4 Estimación de metafronteras con DEA**

Para estimar la metafrontera y las fronteras de grupo usando DEA, se aplica el método DEA orientado a productos con rendimientos variables a escala (VRS) a todas las observaciones de *inputs* y *outputs* de las DMUs.

Para estimar la metafrontera y las fronteras de grupo usando DEA, se aplica el método DEA orientado a productos con rendimientos variables a escala (VRS) a todas las observaciones de *inputs* y *outputs* de las DMUs.

#### **4.2.5 Aplicaciones empíricas**

*O'Donnell et al.*, (2008) ilustran el uso de DEA con metafronteras comparando la eficiencia agrícola entre países de África, América, Europa y Asia. Encuentran diferencias significativas entre las fronteras de grupo y la metafrontera, lo que justifica el uso de este enfoque.

Otros estudios han aplicado DEA con metafronteras en diversos contextos, como bancos (*Assaf et al.*, 2011), hospitales (*Asmild et al.*, 2016) y universidades (*Johnes*, 2008). En general, esta metodología ha demostrado ser útil para medir y comparar el desempeño de DMUs operando en entornos tecnológicos heterogéneos.

### 4.3 Medidas de eficiencia radial en el Data Envelopment Analysis

DEA radial es un enfoque dentro del Análisis Envolvente de Datos (DEA) que se centra en la reducción proporcional de todos los *inputs* o la expansión proporcional de todos los *outputs* para proyectar una unidad ineficiente hacia la frontera eficiente. Este enfoque se basa en el modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes), introducido en 1978, que fue el primer modelo DEA desarrollado (Avkiran et. al., 2008).

DEA radial se utiliza para evaluar la eficiencia relativa de diferentes unidades de toma de decisiones (DMUs) en diversas industrias y sectores. Permite identificar qué DMUs operan de manera eficiente y cuáles no, proporcionando así información valiosa para mejorar la gestión y la asignación de recursos.

**Tabla 4.3.1 Características de las medidas de eficiencia radial**

| <i>Característica</i>                                    | <i>Descripción</i>                                                                                                                         |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Popularidad</i>                                       | Son ampliamente aceptados y utilizados por los usuarios de DEA.                                                                            |
| <i>Puntuación de eficiencia</i>                          | La eficiencia se expresa como un porcentaje, permitiendo una interpretación clara del rendimiento de cada DMU.                             |
| <i>Clasificación</i>                                     | Se dividen en dos categorías: bajo rendimientos a escala variables (RTS variable) y bajo rendimientos a escala constantes (RTS constante). |
| <i>Función objetivo</i>                                  | La puntuación de eficiencia se mide en la función objetivo de sus formulaciones de programación lineal.                                    |
| <i>Medidas de Debreu-Farrell</i>                         | Pertenecen a las medidas de <i>Debreu-Farrell</i> , que son un estándar en la teoría de la eficiencia.                                     |
| <i>Forma del conjunto de posibilidades de producción</i> | Bajo RTS variable, la superficie del conjunto de posibilidades de producción tiene forma de cono poliédrico convexo.                       |
| <i>Valor objetivo</i>                                    | Consiste en una puntuación de eficiencia y una suma total de holguras.                                                                     |

*Variables duales*

Las variables duales (multiplicadores) son estrictamente positivas, lo que permite utilizar plenamente la información de los factores de producción.

*Número no arquimediario*

Incorporan un número pequeño no arquimediario ( $\epsilon$ ) en la formulación, aunque esto puede omitirse en algunos casos.

Fuente: Elaboración propia con base en Charnes et al., (1978).

#### 4.3.1 Fórmulas para desarrollar DEA con medidas de eficiencia radial

Para formular un modelo radial en DEA, se pueden seguir las siguientes estructuras matemáticas, que se dividen en modelos orientados a *inputs* y a *outputs*, bajo retornos a escala variables (RTS variable) y constantes (RTS constante).

Minimizar  $\theta$

sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (23)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r = 1, \dots, s$$

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

$$\lambda_j \geq 0, \quad s_i^- \geq 0, \quad s_r^+ \geq 0$$

Dual:

Maximizar  $\sum_{r=1}^s u_r y_{rk}$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ik} = 1 \quad (24)$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n$$

$$u_r \geq 0, \quad v_i \geq 0$$

Modelo radial orientado a *inputs* bajo RTS constantes.

Minimizar  $\theta$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r = 1, \dots, s \quad (26)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad s_i^- \geq 0, \quad s_r^+ \geq 0$$

Primal:

Minimizar  $\theta$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk} \quad \forall r = 1, \dots, s \quad (28)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad s_i^- \geq 0, \quad s_r^+ \geq 0$$

En ambas formulaciones, las restricciones  $\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + s_i^- = \theta x_{ik}$  y  $\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{rk}$  aseguran que las proporciones de *inputs* y *outputs* se mantengan constantes. Esto se debe a que  $\theta$  es un factor de escala que ajusta todos los *inputs* de manera proporcional, mientras que los *outputs* se mantienen constantes, ajustándose solo por las holguras  $s_i^-$  y  $s_i^+$ . La suma de  $\lambda_j$  igual a 1 en el caso de RTS variable asegura que las combinaciones lineales de las DMUs se mantengan dentro del conjunto de producción factible.

#### 4.4 Medidas de eficiencia no radiales en el *Data Envelopment Analysis*

Un modelo no radial en Análisis Envoltente de Datos (DEA) es una metodología alternativa a los modelos radiales para medir la eficiencia operativa de las unidades de decisión (DMUs). A diferencia de los modelos radiales, que ajustan todos los *inputs* o *outputs* de manera proporcional, los modelos no radiales permiten ajustes individuales en los *inputs* y *outputs*, lo que ofrece una mayor flexibilidad y precisión en la evaluación de la eficiencia.

En el cuadro 4.4 se resumen las características más relevantes que distinguen a los modelos no radiales de DEA, en contraste con los modelos radiales que se discutieron anteriormente.

**Tabla 4.4.1 Características de las medidas de eficiencia no radiales**

| <i>Característica</i>         | <i>Descripción</i>                                                                                        |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Base teórica</i>           | Se basan en el criterio de Pareto-Koopmans para evaluar la eficiencia.                                    |
| <i>Medición de eficiencia</i> | Miden la eficiencia considerando las holguras (slacks) en todas las variables de entrada y salida.        |
| <i>Función objetivo</i>       | Maximizan la suma de las holguras en lugar de una puntuación de eficiencia radial.                        |
| <i>Proyección</i>             | Permiten ajustes no proporcionales en <i>inputs</i> y <i>outputs</i> para alcanzar la frontera eficiente. |
| <i>Flexibilidad</i>           | Ofrecen mayor flexibilidad al permitir reducciones/aumentos diferentes para cada entrada/salida.          |
| <i>Discriminación</i>         | Suelen tener mayor poder de discriminación entre unidades eficientes e ineficientes.                      |
| <i>Interpretación</i>         | La eficiencia se interpreta en términos de la suma total de holguras.                                     |
| <i>Tipos principales</i>      | Medida de Russell, Modelo Aditivo, Medida Ajustada por Rango, Medida Basada en Holguras.                  |

|                    |                                                                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <i>Invarianza</i>  | Son invariantes a las unidades de medida de las variables.              |
| <i>Complejidad</i> | Tienden a ser computacionalmente más complejos que los modelos radiales |

Fuente: Elaboración propia con base en Sueyoshi y Goto (2019).

#### **4.4.1 Modelo aditivo**

El modelo aditivo en Análisis Envolvente de Datos (DEA) es una herramienta no radial que se utiliza para medir la eficiencia de las unidades de decisión (DMUs) considerando las holguras (*slacks*) en los *inputs* y *outputs*. A diferencia de los modelos radiales, que ajustan todas los *inputs* u *outputs* de manera proporcional, el modelo aditivo permite ajustes individuales, proporcionando una evaluación más detallada de la eficiencia.

##### **4.4.1.1 Características del modelo aditivo**

El modelo aditivo tiene medidas de Pareto-Koopmans, esto basado en el criterio de Pareto-Koopmans, el modelo aditivo evalúa la eficiencia considerando la posibilidad de mejorar al menos una entrada o salida sin empeorar las demás.

Se enfoca en minimizar las holguras en los *inputs* y *outputs*, lo que permite identificar ineficiencias específicas en cada DMU.

Permite ajustes no proporcionales en los *inputs* y *outputs*, ofreciendo una mayor precisión en la evaluación de la eficiencia y así tener una mayor flexibilidad con los datos. A diferencia de los modelos radiales, los modelos no radiales no incluyen una puntuación de eficiencia en la función objetivo. En su lugar, se centran en minimizar las holguras.

Estos modelos se enfocan en las holguras (*slacks*), es decir, las cantidades por las cuales los *inputs* pueden ser reducidos o los productos aumentados sin cambiar las proporciones de los demás *inputs* o *outputs*. Maximiza la suma de las holguras, proporcionando una medida directa de la ineficiencia total de las DMUs.

La eficiencia se mide en términos de la suma total de holguras, siendo una DMU eficiente si todas sus holguras son cero.

Los modelos DEA aditivos, sin embargo, tienen una debilidad: no pueden generar puntuaciones de eficiencia para las DMU (Yu, 2019)

#### 4.4.1.2 Formulación del modelo aditivo

En este apartado se desarrollan las fórmulas para desarrollar un modelo aditivo de manera general. Estas formulaciones basadas en Charnes et al., (1985) y en Toshiyuki Sueyoshi y Mika Goto en su libro "Environmental Assessment on Energy and Sustainability by Data Envelopment Analysis" (2018), permite evaluar la eficiencia técnica de las DMUs en términos de su capacidad para ajustar individualmente los *inputs* y *outputs*, proporcionando una evaluación más precisa de las áreas específicas de ineficiencia.

Primal:

$$\text{Maximizar } \sum_{i=1}^m d_i^- + \sum_{r=1}^s d_r^+$$

La fórmula objetivo del Modelo Aditivo se utiliza para maximizar la suma de los *slacks* de *inputs* y *outputs*. Este enfoque permite evaluar la eficiencia de una DMU al considerar las mejoras posibles en cada *inputs* y *outputs* de manera individual. La maximización de la suma de los *slacks* implica que se está tratando de identificar todas las posibles ineficiencias en los *inputs* y *outputs*, y mejorar cada uno de ellos hasta su nivel óptimo.

El objetivo es encontrar los valores de las variables de intensidad y los *slacks* que maximicen la suma de las posibles mejoras en los *inputs* y *outputs*. Esto se traduce en una evaluación detallada de la eficiencia, ya que se consideran las mejoras posibles en cada *input* y *output* de manera individual, en lugar de asumir una mejora proporcional en todos ellos.

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + d_i^- = x_{ik} \quad \forall i = 1, \dots, m \quad (29)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} + d_r^+ = y_{rk} \quad \forall r = 1, \dots, s \quad (30)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad d_i^- \geq 0, \quad d_r^+ \geq 0$$

Dual:

Minimizar  $\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s v_r y_{rk}$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m v_i x_{ij} - \sum_{r=1}^s v_r y_{rj} \geq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (31)$$

$$u_r \geq 0, \quad v_i \geq 0$$

#### 4.4.2 Medida de Russell

La medida de Russell creada por Russell en 1985 es un modelo no radial en el Análisis Envolvente de Datos (DEA) que se utiliza para evaluar la eficiencia de las unidades de decisión (DMUs) considerando ajustes individuales en los *inputs* y *outputs*. A diferencia de los modelos radiales que ajustan todas los *inputs* u *outputs* de manera proporcional, la medida de Russell permite ajustes no proporcionales, proporcionando una evaluación más detallada y precisa de la eficiencia.

##### 4.4.2.1 Características de la medida de Russell

Al igual que todas las medidas radiales, usa la medida *Pareto-Koopmans* y permite ajustes individuales en cada *inputs* y *outputs*, en lugar de ajustes proporcionales, lo que ofrece una mayor flexibilidad en la evaluación de la eficiencia.

Se enfoca en minimizar las holguras (*slacks*) en los *inputs* y *outputs*, lo que permite identificar ineficiencias específicas en cada DMU.

La medida de Russell minimiza la suma ponderada de las holguras relativas a los *inputs* y *outputs*, proporcionando una medida directa de la ineficiencia total.

Para calcular la eficiencia, ésta se mide en términos de la suma total de holguras, siendo una DMU eficiente si todas sus holguras son cero.

##### 4.4.2.2 Formulación de la medida de Russell

Para Russell (1985), la manera de aplicar la medida de Russell es a través de las siguientes fórmulas.

Primal:

$$\text{Minimizar } \sum_{i=1}^m \frac{d_i^-}{x_{ik}} + \sum_{r=1}^s \frac{d_r^+}{y_{ik}}$$

Sujeto a:

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0 \quad \forall j = 1, \dots, n \quad (32)$$

$$u_r \geq 0, \quad v_i \geq 0$$

Estas formulaciones permiten evaluar la eficiencia técnica de las unidades de decisión (DMUs) en términos de su capacidad para ajustar individualmente los *inputs* y *outputs*, proporcionando una evaluación más precisa de las áreas específicas de ineficiencia.

#### 4.4.3 Modelo Slack-Based Measure (SBM)

El modelo SBM (*Slack-Based Measure*) es un modelo no radial de Análisis Envolvente de Datos (DEA) propuesto por *Tone* (2001), este modelo mide la eficiencia basándose únicamente en las holguras, sin utilizar una medida radial como  $\theta$ . La eficiencia  $\rho$  está acotada entre 0 y 1, siendo 1 cuando todas las holguras son cero.

Al ser un modelo no radial permite reducciones/aumentos no proporcionales en *inputs/outputs*, trabaja directamente con los excesos de *inputs* y déficits de *outputs* (*slacks*), proporciona una medida escalar de eficiencia que integra los *slacks*, es invariante a las unidades de medida de *inputs* y *outputs* (Esto significa que el resultado de eficiencia obtenido con el modelo SBM no cambia si se modifican las unidades en que se miden los *inputs* y *outputs*).

##### 4.4.3.1 Formulación del modelo SBM

Las fórmulas del modelo SBM (*Slack-Based Measure*) según *Tone* (2001), se presentan de la siguiente manera:

$$\text{minimizar } \rho = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_r^+}{y_{ro}}} \quad (33)$$

Esta fórmula busca minimizar la ineficiencia de una unidad de decisión (DMU) al considerar tanto los excesos de *inputs* (*slacks*) como los déficits de *outputs*. La eficiencia se mide en términos de la reducción relativa de *inputs* y el aumento relativo de *outputs*.

Sujeto a:

$$x_o = X\lambda + s^- \quad (34)$$

$$y_o = Y\lambda - s^+ \quad (35)$$

$$\lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0$$

Donde:

- $\rho$  es la puntuación de eficiencia.
- $m$  es el número de *inputs*.
- $s$  es el número de *outputs*.
- $s_i^-$  son los excesos de *inputs* (*slacks*).
- $s_i^+$  son los déficits de *outputs* (*slacks*).
- $x_{io}, y_{ro}$  son los *inputs* y *outputs* de la DMU evaluada.
- $X, Y$  son las matrices de *inputs* y *outputs*.
- $\lambda$  es el vector de intensidad.

Estas restricciones aseguran que los *inputs* y *outputs* observados de la DMU sean consistentes con una combinación convexa de otras DMUs en el conjunto de datos. Los términos  $s^-$  y  $s^+$  representan los excesos de *inputs* y déficits de *outputs*, respectivamente.

Este modelo se puede transformar en un programa lineal de la siguiente manera:

$$\text{Minimizar } \tau = t - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{s_i^-}{x_{io}} \quad (36)$$

Esta fórmula linealiza el problema original para facilitar su resolución mediante técnicas de programación lineal. Aquí,  $t$  es una variable de escala que ajusta la eficiencia.

Sujeto a:

$$1 = t + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{s_i^+}{y_{ro}} \quad (37)$$

$$tx_o = X\lambda + s^-$$

$$ty_o = Y\lambda - s^+$$

$$\lambda \geq 0, \quad s^- \geq 0, \quad s^+ \geq 0, \quad t \geq 0$$

Estas restricciones aseguran que la transformación lineal mantenga la relación original entre *inputs* y *outputs*, ajustada por la variable de escala  $t$ . Las restricciones de no negatividad garantizan que los pesos y los slacks no sean negativos.

La solución óptima se da por:

$$\rho^* = \tau^*$$

$$\lambda^* = \frac{\lambda^*}{t^*}$$

Estas fórmulas representan el núcleo del modelo SBM para medir la eficiencia teniendo en cuenta los excesos y déficits de *inputs* y *outputs* de manera no radial.

En resumen, el modelo aditivo maximiza la suma de las holguras de *inputs* y *outputs*, la medida de Russell minimiza una función que combina las eficiencias individuales de cada *inputs* y *outputs* y la medida basada en holguras (SBM), Minimiza una función que combina las holguras de *inputs* y *outputs*.

#### 4.4.4 Diferencia entre las medidas de eficiencia radial y no radial

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) se divide en modelos radiales y no radiales, cada uno con características y aplicaciones distintas. Los modelos radiales realizan ajustes en todos los *inputs* o *outputs* de forma proporcional, lo que implica que, para mejorar la eficiencia, todos

los *inputs* se reducen o todos los productos se incrementan en la misma proporción. Esta característica hace que los modelos radiales sean más simples y fáciles de interpretar, ya que la eficiencia se expresa en una única puntuación que representa un porcentaje. Sin embargo, esta simplicidad puede restringir su capacidad para ofrecer una evaluación más detallada de las ineficiencias individuales en los *inputs* o *outputs*.

En contraste, los modelos no radiales permiten ajustes en los *inputs* y *outputs* de manera no proporcional, lo que brinda mayor flexibilidad y precisión en la evaluación de la eficiencia. Modelos como la Medida de Russell y el Modelo Aditivo se centran en minimizar las holguras (slacks) en cada *input* y *output*, lo que permite identificar ineficiencias específicas. Estos modelos son particularmente valiosos en contextos donde es necesario detectar áreas de ineficiencia, como en la manufactura y el desarrollo sostenible, donde diferentes *inputs* y *outputs* pueden tener impactos diversos en la eficiencia general.

En cuanto a la evaluación ambiental y el desarrollo sostenible, los modelos no radiales son más adecuados. Permiten incorporar outputs indeseables, como emisiones contaminantes, y evaluar aspectos de sostenibilidad de manera más detallada. Los modelos radiales, por otro lado, tienen limitaciones en este aspecto debido a su enfoque en ajustes proporcionales, lo que puede no reflejar adecuadamente las complejidades de la sostenibilidad ambiental.

En resumen, la diferencia fundamental entre los modelos radiales y no radiales radica en la forma en que ajustan los *inputs* y *outputs* para mejorar la eficiencia. Los modelos radiales realizan ajustes proporcionales, lo que los hace más simples, pero menos detallados, mientras que los modelos no radiales permiten ajustes individuales, proporcionando una evaluación más precisa y exhaustiva de las ineficiencias específicas.

**Tabla 4.4.4.1 Comparativo entre medidas de eficiencia radiales y no radiales en el DEA**

| <i>Característica</i>                    | <i>DEA Radial</i>               | <i>DEA No Radial</i>        |
|------------------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| <b><i>Ajuste de inputs y outputs</i></b> | Proporcional                    | No proporcional             |
| <b><i>Medida de Eficiencia</i></b>       | Puntuación única (proporcional) | Basada en holguras (slacks) |

|                                  |                                                                        |                                                                                                                 |
|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b><i>Flexibilidad</i></b>       | Menos flexible                                                         | Más flexible                                                                                                    |
| <b><i>Precisión</i></b>          | Menos precisa en identificar ineficiencias específicas                 | Más precisa en identificar ineficiencias específicas                                                            |
| <b><i>Interpretación</i></b>     | Más intuitiva y fácil de interpretar                                   | Más compleja, pero detallada                                                                                    |
| <b><i>Aplicaciones</i></b>       | Útil para evaluaciones generales de eficiencia                         | Ideal para contextos que requieren identificación detallada de ineficiencias, como manufactura y sostenibilidad |
| <b><i>Modelos Ejemplares</i></b> | Modelo CCR (Charnes, Cooper y Rhodes) y BCC (Banker, Charnes y Cooper) | Medida de Russell, Modelo Aditivo, SBM (Slack-Based Measure)                                                    |

Fuente: Elaboración propia con base en Sueyoshi y Goto (2019).

La evaluación ambiental DEA propuesta en el libro se basa principalmente en enfoques no radiales, ya que ofrecen mayor capacidad para incorporar variables ambientales y de sostenibilidad en el análisis.

Los modelos no radiales permiten ajustes no proporcionales en inputs y outputs, lo que facilita el manejo de outputs indeseables y la evaluación de aspectos de sostenibilidad.

## 4.5 Resumen crítico

En el ámbito de la medición de la eficiencia del sector manufacturero considerando variables ambientales, es indispensable seleccionar métodos adecuados que capturen de manera precisa las características de los datos y las relaciones entre las variables. En este contexto, se propone el uso de dos enfoques complementarios: el Slack-Based Measure (SBM) como método no radial y un modelo radial orientado a outputs con rendimientos variables a escala (VRS).

### 4.5.1 Justificación del uso de SBM como método de eficiencia no radial

A diferencia de los modelos radiales que asumen una reducción proporcional de todos los inputs o una expansión proporcional de todos los outputs, el SBM permite variaciones no

proporcionales. Esto es particularmente útil en situaciones donde ciertos *inputs* u *outputs* pueden ser ajustados de manera más flexible que otros.

El SBM tiene en cuenta los excesos de inputs y los déficits de outputs (slacks), proporcionando una medida más precisa de la ineficiencia. Esto es esencial en contextos donde las ineficiencias no se distribuyen uniformemente entre las diferentes variables.

El SBM es adecuado para procesos de producción en múltiples etapas, como se observa en el sector manufacturero, donde los outputs intermedios de una etapa pueden convertirse en inputs para la siguiente. Este enfoque permite identificar y corregir ineficiencias en cada etapa del proceso.

#### **4.5.1.1 Comparación con otros métodos**

Modelos Radiales (CCR y BCC), estos modelos, aunque útiles, no capturan las ineficiencias debidas a los slacks. En sectores donde las ineficiencias no son proporcionales, los modelos radiales pueden subestimar o sobreestimar la eficiencia.

En comparación con el modelo aditivo, aunque consideran slacks, no proporcionan una medida escalar de eficiencia como lo hace el SBM.

#### **4.5.2 Justificación del uso de un modelo de eficiencia no radial orientado a outputs con VRS**

En el sector manufacturero, maximizar los outputs (valor agregado de la manufactura) es a menudo más relevante que minimizar los inputs. Este enfoque permite evaluar la eficiencia en términos de la capacidad de una unidad de decisión (DMU) para maximizar su producción.

El modelo VRS permite capturar las diferencias en la escala de operación de las DMUs. En el sector manufacturero, las empresas pueden operar en diferentes escalas, y un modelo VRS reconoce que las eficiencias pueden variar con el tamaño de la operación.

Los modelos VRS son más flexibles y realistas en comparación con los modelos de rendimientos constantes a escala (CRS), ya que no asumen que todas las DMU's operan en la misma escala óptima.

#### 4.5.2.1 Comparación con otros métodos

El modelo CRS, asume rendimientos constantes a escala, lo cual puede no ser realista en el sector manufacturero donde las empresas operan en diferentes escalas.

Los modelos orientados a *inputs*, en contextos donde la maximización de *outputs* es más crítica, los modelos orientados a *inputs* pueden no ser tan útiles.

#### 4.5.3 Conclusiones

Para medir la eficiencia en el sector manufacturero considerando variables como inversión, trabajo, valor agregado de la manufactura y emisiones de CO<sub>2</sub>, ambos enfoques (SBM y modelo radial orientado a outputs con VRS) ofrecen ventajas complementarias:

- SBM: Permite identificar ineficiencias específicas en cada etapa del proceso de producción y ajustar inputs y outputs de manera no proporcional, lo cual es esencial para mejorar la eficiencia operacional y ambiental.
- Modelo Radial Orientado a Outputs con VRS: Evalúa la capacidad de las empresas para maximizar su producción considerando las diferencias en la escala de operación, proporcionando una visión más realista y adaptable de la eficiencia.

El uso combinado del SBM y un modelo radial orientado a outputs con VRS proporciona una evaluación integral y precisa de la eficiencia en el sector manufacturero. El SBM aborda las ineficiencias no proporcionales y los slacks, mientras que el modelo radial con VRS captura las variaciones en la escala de operación y se enfoca en la maximización de outputs. Esta combinación es óptima para estudios que buscan mejorar la eficiencia operacional y ambiental en el sector manufacturero.

# Capítulo 5

## Medidas de eficiencia radiales y no radiales. Evidencia empírica.

**E**n este capítulo se recopilaron investigaciones de medidas radiales y no radiales enfocadas a diversas áreas como la agricultura, la manufactura, entre otras, también se enfocó en dos grandes áreas como la eficiencia operativa y la eficiencia ambiental con el uso de las medidas radiales y no radiales en estas eficiencias.

### 5.1 Medidas de eficiencia radiales. Evidencia empírica

La tabla 5.1.1 presenta casos de aplicación de medidas de eficiencia radial utilizando el Análisis Envoltante de Datos (DEA, por sus siglas en inglés). Este método es ampliamente utilizado en diversas industrias para evaluar la eficiencia de diferentes unidades de decisión. A continuación, se describen algunos estudios representativos que han aplicado el DEA en distintos contextos.

Jain y Natarajan, (2015) en este estudio aplica el DEA para evaluar la eficiencia de las aerolíneas en India. El análisis permite identificar cuáles aerolíneas están operando de manera eficiente y cuáles no, proporcionando una base para mejorar las operaciones y reducir costos.

**Tabla 5.1.1 Casos de aplicación de medidas de eficiencia radial**

| AUTOR                          | TÍTULO                                                                             |
|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>JAIN Y NATARAJAN (2015)</b> | A DEA study of airlines in India                                                   |
| <b>ZHOU ET AL., (2008)</b>     | A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies          |
| <b>SHANG ET AL., (2010)</b>    | A stochastic DEA study of hotel efficiency                                         |
| <b>KOHL ET AL., (2019)</b>     | The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals |

Fuente: Elaboración propia con base a Jain y Natarajan (2015); Zhou et al., (2008); Shang et al., (2010); Kohl et al., (2019).

Zhou et al., (2008) ofrece una revisión del uso del DEA en estudios de energía y medio ambiente. Esta revisión abarca diversas aplicaciones, destacando cómo el DEA puede llegar a ayudar a mejorar la eficiencia energética y al mismo tiempo reducir el impacto ambiental.

Shang et al., (2010) se puede encontrar en este estudio, se utiliza un DEA estocástico para analizar la eficiencia de los hoteles. Esta variante del DEA incorpora la incertidumbre en los datos, proporcionando una evaluación más robusta de la eficiencia operativa de los hoteles.

Kohl et al., (2019), la investigación se centra en la aplicación del DEA en el sector de la salud, específicamente en hospitales. El estudio demuestra cómo el DEA puede ser una herramienta útil para evaluar y mejorar la eficiencia en la prestación de servicios de salud.

En resumen, la tabla 5.1.1 ilustra la versatilidad del DEA como herramienta de análisis de eficiencia en diferentes sectores, desde la aviación y la energía hasta la hospitalidad y la salud.

## **5.2 Medidas de eficiencia no radiales. Evidencia empírica**

La tabla 5.2.1 presenta una serie de estudios que han aplicado el Análisis Envolvente de Datos (DEA) utilizando medidas de eficiencia no radial. Este enfoque se diferencia del radial al permitir una evaluación más detallada y flexible de la eficiencia, considerando las holguras en los *inputs* y *outputs* de las unidades de decisión. A continuación, se describen algunos estudios representativos que han aplicado el DEA no radial en distintos contextos.

**Tabla 5.2.1 Casos de medidas de eficiencia no radial**

| AUTORES                       |           | TÍTULO                                                                                                                                    |
|-------------------------------|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SUEYOSHI Y GOTO (2019)</b> | <b>Y</b>  | DEA Non-Radial Approach for Resource Allocation and Energy Usage to Enhance Corporate Sustainability in Japanese Manufacturing Industries |
| <b>SUEYOSHI AL., (2020)</b>   | <b>ET</b> | Operational Performance of Electric Power Firms: Comparison between Japan and South Korea by Non-Radial Measures                          |
| <b>MOMENI ET AL., (2014)</b>  |           | A new fuzzy network slacks-based DEA model for evaluating performance of supply chains with reverse logistics                             |
| <b>ZHOU ET AL., (2007)</b>    |           | A non-radial DEA approach to measuring environmental performance                                                                          |

Fuente: Elaboración propia con base en Sueyoshi y Goto (2019); Sueyoshi et al., (2020); Momeni et al., (2014); Zhou et al., (2007).

El estudio de *Sueyoshi y Goto* (2019) aplica un enfoque no radial del DEA para la asignación de recursos y el uso de energía en la industria manufacturera japonesa, con el objetivo de mejorar la sostenibilidad corporativa y en el del año 2020, se analiza el desempeño operativo de las empresas eléctricas en Japón y Corea del Sur utilizando medidas no radiales, lo que permite una comparación detallada entre ambas economías.

Momeni et al., (2014) introducen un nuevo modelo DEA no radial basado en redes difusas y holguras para evaluar el rendimiento de las cadenas de suministro con logística inversa, proporcionando una metodología avanzada para la evaluación de la eficiencia.

Zhou et al., (2007) en su estudio proponen un enfoque no radial del DEA para medir el desempeño ambiental, destacando la importancia de considerar la eficiencia ambiental en la evaluación de organizaciones.

**5.3 Medidas de eficiencia radiales en la manufactura del APEC. Evidencia empírica**

La tabla 5.3.1 proporciona ejemplos de aplicaciones del Análisis Envolvente de Datos (DEA) radial en la industria manufacturera. El DEA y su aplicación en la manufactura puede ayudar a mejorar la sostenibilidad y la eficiencia de las empresas. En este contexto, se han seleccionado estudios relevantes que utilizan DEA para abordar diferentes aspectos de la eficiencia y sostenibilidad en la manufactura.

**Tabla 5.3.1 Ejemplo de aplicaciones de DEA radial en la industria manufacturera**

| AUTOR                         | TÍTULO                                                                                                                                                                                               |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>LIN ET AL., (2018)</b>     | Sustainability assessment of taiwan’s semiconductor industry: a new hybrid model using combined analytic hierarchy process and two- stage additive network data envelopment analysis. Sustainability |
| <b>BOSTIAN ET AL., (2016)</b> | Environmental investment and firm performance: a network approach. Energy Econ. 57, 243–255.                                                                                                         |
| <b>WANG ET AL., (2023)</b>    | Enhancing Lithium-Ion Battery Manufacturing Efficiency: A Comparative Analysis Using DEA Malmquist and Epsilon-Based Measures                                                                        |
| <b>MAHADEVAN (2002)</b>       | A DEA Approach to Understanding the Productivity Growth of Malaysia's Manufacturing Industries                                                                                                       |

Fuente: Elaboración propia con base en Lin et al., (2018); Bostian et al., (2016); Wang et al., (2023); Mahadevan (2002).

Lin et al., (2018) realizaron una evaluación de la sostenibilidad de la industria de semiconductores de Taiwán utilizando un nuevo modelo híbrido que combina el proceso de jerarquía analítica y un análisis de involucimiento de datos en red aditiva de dos etapas. Este estudio, publicado en la revista Sustainability, destaca la importancia de integrar técnicas avanzadas para mejorar la sostenibilidad corporativa en la manufactura.

BOSTIAN et al., (2016) investigaron la relación entre la inversión ambiental y el desempeño de las empresas utilizando un enfoque de red. Su estudio, publicado en Energy Economics, volumen 57, páginas 243-255, proporciona una perspectiva detallada sobre cómo las inversiones en sostenibilidad pueden influir en el rendimiento corporativo.

WANG et al., (2023) se centraron en mejorar la eficiencia en la fabricación de baterías de iones de litio mediante un análisis comparativo utilizando medidas basadas en DEA Malmquist y Epsilon. Este estudio ofrece una visión integral de las técnicas para optimizar la producción en la industria de baterías.

*Mahadevan*, (2002) utilizó un enfoque DEA para comprender el crecimiento de la productividad en las industrias manufactureras de Malasia. Este trabajo proporciona una base sólida para analizar y mejorar la eficiencia productiva en el contexto de economías en desarrollo.

#### **5.4 Medidas de eficiencia no radiales en la manufactura del APEC. Evidencia empírica**

Las medidas no radiales en el análisis envolvente de datos (DEA, por sus siglas en inglés) son herramientas avanzadas utilizadas para evaluar la eficiencia de las unidades de decisión en la manufactura. A diferencia de las medidas radiales, que asumen que las proporciones de *inputs* y *outputs* pueden ser ajustadas simultáneamente y en la misma proporción, las medidas no radiales permiten ajustes independientes en diferentes dimensiones. Esto resulta particularmente útil en contextos donde los *inputs* y *outputs* no pueden ser ajustados proporcionalmente debido a restricciones tecnológicas o de mercado. La aplicación de DEA no radial en la manufactura ha sido objeto de diversos estudios empíricos, como se muestra en la Tabla 5.4.1, que proporciona ejemplos de cómo esta metodología ha sido empleada en diferentes contextos industriales dentro de la región del APEC.

Yan-Qing et al., (2018) se centra en la evaluación ambiental y la estrategia de inversión para la industria manufacturera de China, utilizando un análisis basado en DEA no radial. El enfoque permite identificar áreas de mejora en términos de sostenibilidad y eficiencia ambiental.

Sueyoshi y Goto (2019) aplican un enfoque no radial para la asignación de recursos y el uso de energía en las industrias manufactureras japonesas. El objetivo es mejorar la sostenibilidad corporativa, destacando cómo los ajustes no proporcionales pueden optimizar el uso de recursos. Sueyoshi y Goto (2020) abordan el desarrollo sostenible y la responsabilidad social corporativa en las empresas manufactureras japonesas. Utilizando el DEA no radial, los

autores analizan cómo las empresas pueden equilibrar el rendimiento económico con las prácticas sostenibles y responsables.

**Tabla 5.4.1 Ejemplo de aplicaciones de DEA no radial en la industria manufacturera**

| AUTOR                          | TÍTULO                                                                                                                                    |
|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>YAN-QING ET AL., (2018)</b> | Environmental assessment and investment strategy for China's manufacturing industry: A non-radial DEA based analysis                      |
| <b>SUEYOSHI Y GOTO (2019)</b>  | DEA Non-Radial Approach for Resource Allocation and Energy Usage to Enhance Corporate Sustainability in Japanese Manufacturing Industries |
| <b>SUEYOSHI Y GOTO (2020)</b>  | Sustainable development and corporate social responsibility in Japanese manufacturing companies                                           |
| <b>YU (2023)</b>               | An assessment of the green development efficiency of industrial parks in China: Based on non-desired output and non-radial DEA model      |

Fuente: Elaboración propia con base en Yan-Qing et al., (2018); Sueyoshi y Goto, (2019); Sueyoshi y Goto, (2020); Yu (2023).

Xu, (2023) evalúa la eficiencia del desarrollo verde de los parques industriales en China, basándose en la producción no deseada y el modelo DEA no radial. La investigación subraya la importancia de considerar productos no deseados en la evaluación de la eficiencia ambiental.

La aplicación de medidas no radiales en el DEA ofrece una perspectiva más flexible y detallada para evaluar la eficiencia en la manufactura, sobre todo donde los *inputs* y *outputs* no pueden ser ajustados de manera proporcional. Los estudios presentados en la Tabla 5.4.1 demuestran la utilidad de esta metodología en la identificación de áreas de mejora en términos de sostenibilidad, eficiencia de recursos y responsabilidad social. En resumen, el DEA no radial se presenta como una herramienta valiosa para la toma de decisiones estratégicas en la industria manufacturera del APEC, promoviendo prácticas más sostenibles y eficientes.

# Capítulo 6

## Medidas de eficiencia radiales y no radiales en el DEA con variables ambientales

**S**e puede encontrar en el capítulo 6 la metodología radial y no radial que se usó en esta investigación con variables ambientales relacionadas a la manufactura.

El método es la ruta a seguir para lograr un objetivo predefinido, que abarca no solo el ámbito del conocimiento, sino también la acción humana y la producción. En otras palabras, se refiere al conjunto de procesos que posibilitan el abordaje de un problema de investigación con el propósito de alcanzar metas específicas (Buendía et al., 1999); y la metodología es la una explicación detallada sobre la implementación de métodos y técnicas específicas relacionadas con el tipo de investigación en consideración (Ortiz et al., 2002).

Este trabajo fue realizado dentro de un programa en ciencias de nivel maestría, por lo que tiene el objetivo de generar conocimiento científico. Para generar el conocimiento científico se usará el método científico, el cual según Bacon se divide de la siguiente manera: Observación, inducción, hipótesis, experimentación, demostración o refutación y tesis o teoría científica.

La metodología que se utilizará para generar el conocimiento científico es el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y el uso de un método radial y uno no radial de esta misma metodología.

La metodología DEA, se ha hecho popular en el campo de la producción al momento de requerir medir la eficiencia. Este modelo, para determinar las mejores prácticas utiliza las cantidades empleadas en *inputs* y *outputs* y compara el DMU (Unidad de toma de decisión) escogido con todas las posibles combinaciones lineales del resto de unidades de la muestra, para definir posteriormente con ellas una frontera de producción empírica (Navarro, 2005).

### **6.1 Antecedentes y enfoques metodológicos**

El Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés) es una técnica no paramétrica utilizada para evaluar la eficiencia de unidades de decisión (DMUs) en la utilización de múltiples *inputs* para producir múltiples *outputs*. En el contexto ambiental, el DEA se ha empleado para medir la eficiencia ambiental de diversas entidades, como plantas industriales, municipios y países, considerando tanto *inputs* económicos como emisiones contaminantes y otros impactos ambientales.

La aplicación del DEA en estudios ambientales ha ganado relevancia debido a la creciente preocupación por la sostenibilidad y la necesidad de optimizar el uso de recursos naturales mientras se minimizan los impactos negativos sobre el medio ambiente. Este enfoque permite identificar las mejores prácticas y áreas de mejora en términos de eficiencia ecológica, proporcionando una base sólida para la formulación de políticas y estrategias de gestión ambiental.

El DEA ambiental se basa en la construcción de una frontera eficiente que representa las mejores prácticas observadas en el conjunto de DMUs evaluadas. Las unidades que se encuentran en esta frontera son consideradas eficientes, mientras que las que están por debajo de la frontera son ineficientes. A continuación, se describen algunos enfoques metodológicos comunes en el DEA ambiental:

1. Selección de *inputs* y *outputs*: En el DEA ambiental, es esencial seleccionar adecuadamente los *inputs* y *outputs* que reflejen tanto los aspectos económicos como los ambientales. Los *inputs* pueden incluir recursos naturales, energía y costos operativos,

mientras que los productos pueden abarcar bienes y servicios producidos, así como emisiones de contaminantes y residuos generados.

2. Modelos DEA Orientados a *inputs* y *outputs*: Existen dos enfoques principales en el DEA: orientado a *inputs* y orientado a *outputs*. En el enfoque orientado a *inputs*, el objetivo es minimizar el uso de recursos para un nivel dado de producción. En el enfoque orientado a *outputs*, se busca maximizar la producción para un nivel dado de *inputs*. En el contexto ambiental, ambos enfoques pueden ser relevantes dependiendo de los objetivos específicos del estudio.

3. Incorporación de *bad outputs*: Una característica distintiva del DEA ambiental es la inclusión de variables no deseadas, como emisiones de CO<sub>2</sub>, residuos sólidos y otros contaminantes. Estas variables se tratan como productos no deseados que deben ser minimizados. Diversos métodos, como la transformación inversa o la adición de restricciones, se utilizan para incorporar estas variables en el modelo DEA.

4. Análisis de Eficiencia y *Benchmarking*: El DEA permite no solo evaluar la eficiencia de cada DMU, sino también identificar las mejores prácticas y establecer *benchmarks*. Las unidades ineficientes pueden compararse con las eficientes para determinar las mejoras necesarias. Este análisis de benchmarking es fundamental para diseñar estrategias de mejora continua en la gestión ambiental.

5. Análisis de Sensibilidad y Robustez: Para asegurar la validez de los resultados, es común realizar análisis de sensibilidad y robustez. Esto significa que hay que evaluar cómo los cambios en los datos o en las especificaciones del modelo afectan los resultados de eficiencia. Este paso es importante para garantizar que las conclusiones sean sólidas y aplicables en diferentes contextos.

## **6.2 Propuesta y desarrollo metodológico**

### **6.2.1 Propuesta**

El objetivo de esta propuesta es evaluar la eficiencia ambiental de la industria manufacturera en las economías del Foro de Cooperación Económica Asia-Pacífico (APEC) durante el período 2000-2022. Se utilizan dos enfoques de Análisis Envolvente de Datos (DEA): el modelo no radial basado en holguras (SBM) y un modelo de eficiencia radial orientado a

outputs con rendimientos variables a escala (VRS). Estos modelos permitirán hacer un análisis sobre la eficiencia de las economías desarrolladas y no desarrolladas.

### 6.2.2 Desarrollo metodológico

Para ambos modelos DEA, se seleccionarán *inputs* y *outputs* que reflejen tanto los aspectos económicos como los ambientales de la industria manufacturera. Los *inputs* incluirán:

- Inversión (formación bruta de capital fijo, en millones de USD).
- Trabajo (número de trabajadores en la industria manufacturera).

Los *outputs* incluirán:

- Valor agregado de la industria manufacturera (millones de USD).
- Emisiones de CO<sub>2</sub> de la manufactura como output no deseado.

#### 6.2.2.1 Modelo de eficiencia radial con orientación a outputs y retornos variables a escala

El modelo DEA orientado a outputs con VRS se utilizará para evaluar la eficiencia en maximizar el valor agregado de la industria manufacturera dado un nivel de *inputs* y emisiones de CO<sub>2</sub>. Este enfoque es útil para identificar las mejores prácticas en términos de maximización de *outputs* deseados. Este modelo permite un análisis más detallado y adaptable a las características heterogéneas de las unidades de decisión (DMUs) en comparación con el modelo de retornos constantes a escala (CRS).

El modelo DEA con orientación a outputs y retornos variables a escala se centra en maximizar los outputs dados ciertos inputs, permitiendo que las DMUs operen a diferentes escalas de producción. Este enfoque es particularmente útil en el análisis de eficiencia en manufactura sostenible, donde las empresas pueden variar significativamente en tamaño y capacidad operativa.

El modelo DEA con retornos variables a escala fue introducido por Banker, Charnes y Cooper (1984) y se ha convertido en una herramienta estándar en la investigación de eficiencia. Este modelo es una extensión del modelo CRS desarrollado por Charnes, Cooper y Rhodes (1978), que asume retornos constantes a escala.

El principal beneficio del modelo VRS es su capacidad para manejar diferencias en la escala de operaciones entre las DMUs. En el contexto de las economías del APEC, las empresas varían considerablemente en tamaño y capacidad, lo que hace que el modelo VRS sea más adecuado para capturar estas diferencias (Cooper, Seiford & Tone, 2007).

El modelo VRS permite una evaluación más realista de la eficiencia al no asumir que todas las DMUs operan en una escala óptima. Esto es necesario en el análisis de manufactura sostenible, donde las empresas pueden estar en diferentes etapas de implementación de prácticas sostenibles (Zhu, Sarkis & Geng, 2005).

El enfoque orientado a outputs del modelo VRS es particularmente útil para investigaciones centradas en el desarrollo sostenible, ya que permite maximizar outputs específicos como la reducción de residuos y el aumento de la eficiencia energética (Sueyoshi & Goto, 2011).

Los resultados del modelo identificarán las DMU's que son eficientes en la maximización del valor agregado manufacturero, permitiendo comparaciones entre DMU's y la identificación de mejores prácticas.

En conclusión, el uso del modelo DEA con orientación a outputs y retornos variables a escala ofrece una metodología robusta y flexible para analizar la eficiencia en la manufactura sostenible en las economías del APEC durante el periodo 2000-2022. Su capacidad para manejar diferencias en la escala de operación y su enfoque en maximizar outputs específicos lo hacen superior al modelo CRS en este contexto.

#### **6.2.2.1 Modelo de eficiencia no radial basado en holguras (SBM-DEA)**

Basado en la información proporcionada en el documento, para medir la eficiencia de la manufactura y el desarrollo sostenible, el modelo no radial más óptimo sería probablemente el *Slack-Based Measure* (SBM), por lo tanto, el modelo SBM-DEA se utilizará para evaluar la eficiencia ambiental considerando las holguras en los *inputs* y *outputs*. Este modelo es adecuado para situaciones donde se desea minimizar tanto los *inputs* como los *bad outputs* (emisiones de CO<sub>2</sub>) sin asumir proporcionalidad en las reducciones (Esto es especialmente relevante en contextos de manufactura y sostenibilidad, donde diferentes recursos pueden tener distintos grados de flexibilidad en su uso).

Otros beneficios de usar este modelo no radial son que permite ajustes no proporcionales en los *inputs* y *outputs*, dando mayor flexibilidad que los modelos radiales, mide la eficiencia basándose únicamente en las holguras (*slacks*), lo que permite capturar todas las ineficiencias, tiene propiedades deseables como invarianza a las unidades y monotonicidad estricta, puede manejar múltiples *inputs* y *outputs*, lo cual es útil para evaluar la manufactura y sostenibilidad que involucran varios factores, permite incorporar salidas indeseables, lo cual es importante para medir aspectos de sostenibilidad como emisiones o residuos, es invariante a la traducción, lo que permite manejar datos negativos que pueden surgir en mediciones de sostenibilidad y tiene una buena capacidad discriminadora entre unidades eficientes e ineficientes como se ha visto en otro capítulos.

A diferencia de modelos como el aditivo, que no ofrece una medida escalar, o el RAM (*Range-Adjusted Measure*), que puede ser sensible a la escala de las variables, el SBM proporciona un índice de eficiencia único y fácilmente interpretable. Esta característica es particularmente valiosa en el contexto de la manufactura y el desarrollo sostenible, donde se requiere una evaluación holística del desempeño que pueda comunicarse y compararse fácilmente entre diferentes unidades o periodos. Además, el SBM incorpora directamente las holguras (*slacks*) en la medida de eficiencia, lo que proporciona una evaluación más precisa al considerar tanto las ineficiencias radiales como no radiales. Esto es importante para identificar áreas específicas de mejora en procesos manufactureros y para evaluar de manera integral el desempeño sostenible.

Por estas características, el SBM sería apropiado para capturar las múltiples dimensiones de la eficiencia manufacturera y el desarrollo sostenible de manera integral. Sin embargo, la elección final dependerá de los detalles específicos de las variables y datos disponibles para el análisis.

En otras palabras, comparado con los modelos radiales como CCR o BCC, el SBM ofrece ventajas significativas para evaluar la eficiencia en manufactura y desarrollo sostenible. Los modelos radiales asumen reducciones o aumentos proporcionales en todos los *inputs* o *outputs*, lo cual puede no ser realista en muchos contextos industriales o de sostenibilidad.

# Capítulo 7

## **Resultados de las mediciones radiales y no radiales en las economías desarrolladas y en desarrollo**

**E**n este capítulo se describen los resultados obtenidos de las medidas radiales y no radiales, así como una comparativa entre ambas metodologías. para posteriormente dar apertura a las conclusiones y recomendaciones.

### **7.1 Eficiencias DEA radial y no radial de las economías desarrolladas del APEC con variables ambientales**

La tabla 7.1.1 presenta las eficiencias de diversas economías desarrolladas, calculadas mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) con medidas radiales orientadas a outputs y con Retornos Variables a Escala (VRS). Las eficiencias se miden en una escala de 0 a 1, donde 1 indica una eficiencia del 100%. La tabla abarca los años 2000, 2005, 2010, 2015, 2019, 2020, 2021 y 2022, permitiendo observar la evolución de la

eficiencia en cada economía a lo largo del tiempo, incluyendo periodos prepandemia, durante la pandemia y postpandemia COVID-19. Este análisis proporciona una visión detallada de cómo cada economía ha gestionado sus recursos y maximizado sus outputs en diferentes contextos temporales y económicos.

**Tabla 7.1.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia radial con variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.8489 | 0.8659 | 0.9085 | 0.9280 | 0.9061 | 0.9043 | 0.9022 | 0.8999 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 0.9224 | 0.9233 | 0.9413 | 0.9142 | 0.9082 | 0.9029 | 0.8961 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| JAPÓN              | 0.9950 | 0.9809 | 0.9880 | 0.9871 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9876 | 0.9789 |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Australia ha mostrado una eficiencia variable a lo largo de los años, con un pico en 2010 (0.9085) y 2015 (0.9280). Sin embargo, su eficiencia ha disminuido ligeramente en los últimos años, alcanzando una ineficiencia de 0.8999 en 2022. Prepandemia, Australia estaba mejorando su ineficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y un descenso continuo hasta 2022. Esto indica que Australia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Canadá ha tenido una eficiencia alta pero variable. Fue eficiente en el año 2000 pero ha mostrado una ligera disminución en los últimos años, con una ineficiencia de 0.8961 en 2022. Prepandemia, Canadá estaba mejorando su ineficiencia, alcanzando un pico en 2015 (0.9413). Sin embargo, la pandemia parece haber afectado su eficiencia, con una caída en 2019 y una disminución continua hasta 2022. Canadá debería investigar las causas de esta disminución y buscar formas de mejorar su eficiencia.

Hong Kong ha mantenido su nivel de eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que Hong Kong está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking

para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que ha mantenido una eficiencia incluso durante los años de la pandemia y postpandemia.

Japón ha mostrado una eficiencia alta y consistente, con una ligera variación. La eficiencia ha sido cercana a 1 en todos los años, alcanzando 0.9789 en 2022. prepandemia, Japón estaba mejorando su eficiencia, alcanzando un pico en 2015 (0.9871). La pandemia no parece haber afectado significativamente su eficiencia, ya que ha mantenido valores altos durante y después de la pandemia. Japón está muy cerca de ser completamente eficiente, pero aún puede buscar pequeñas mejoras.

Nueva Zelanda ha mantenido su eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que Nueva Zelanda está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que ha mantenido una eficiencia incluso durante los años de la pandemia y postpandemia.

La República de Corea ha mantenido su nivel de eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que la República de Corea está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que la ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia.

Singapur ha sido prácticamente eficiente en todo el periodo de estudio, con una ligera variación en 2019. Esto indica que Singapur está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que la ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia.

Estados Unidos ha mantenido sus niveles de eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que Estados Unidos está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que la ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia.

Hong Kong, Nueva Zelanda, República de Corea, Singapur y Estados Unidos fueron eficientes antes, durante y después de la pandemia, indicando una utilización óptima de recursos y una resiliencia notable frente a la crisis.

Australia, Canadá y Japón experimentaron una disminución en la eficiencia durante la pandemia y han mostrado una recuperación lenta o inconsistente en la época postpandemia. Estas economías necesitan analizar las causas de su ineficiencia y adoptar medidas correctivas basadas en las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora y optimizar el uso de sus recursos.

Para ver la tabla 7.1.1 de manera completa y revisar los resultados año por año revisar el anexo 2.

La tabla 7.1.2 presenta las eficiencias de diversas economías desarrolladas en la industria manufacturera, calculadas mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) con medidas no radiales (SBM) orientadas a outputs y con Retornos Variables a Escala (VRS).

Australia ha mostrado una eficiencia variable a lo largo de los años, con un pico en 2010 (0.6231) y una disminución notable en los últimos años, alcanzando 0.4537 en 2022. prepandemia, Australia estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída significativa en 2020 y una disminución continua hasta 2022. Esto sugiere que Australia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora, principalmente en el manejo de variables ambientales.

**Tabla 7.1.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5980 | 0.5661 | 0.6231 | 0.5920 | 0.5323 | 0.5395 | 0.4852 | 0.4537 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 0.7370 | 0.6943 | 0.7234 | 0.6531 | 0.6480 | 0.6464 | 0.6362 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.8820 | 0.8798 | 0.9422 | 0.9212 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9191 | 0.8637 |
| NUEVA ZELANDA      | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Canadá ha tenido una eficiencia alta pero variable. Fue completamente eficiente en 2000 (1.0000) pero ha mostrado una disminución en los últimos años, con una eficiencia de 0.6362 en 2022. prepandemia, Canadá estaba mejorando su eficiencia, alcanzando un pico en 2015 (0.7234). Sin embargo, la pandemia parece haber afectado su eficiencia, con una caída en 2019 y una disminución continua hasta 2022. Canadá debería investigar las causas de esta disminución y buscar formas de mejorar su eficiencia, esencialmente en el contexto de las variables ambientales.

Hong Kong ha mantenido un nivel de eficiencia (1.0000) en casi todos los años analizados, con una ligera variación en 2010 (0.9999). Esto indica que Hong Kong está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que ha mantenido los niveles de eficiencia incluso durante los años de la pandemia y postpandemia. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Japón ha mostrado una eficiencia alta y consistente, con una ligera variación. La eficiencia ha sido alta en todos los años, alcanzando 0.8637 en 2022. prepandemia, Japón estaba mejorando su eficiencia, alcanzando un pico en 2015 (0.9212). La pandemia no parece haber afectado significativamente su eficiencia, ya que ha mantenido valores altos durante y después de la pandemia. Japón está muy cerca de ser completamente eficiente, pero aún puede buscar pequeñas mejoras, fundamentalmente en el manejo de variables ambientales.

Nueva Zelanda ha mantenido niveles cercanos a la eficiencia (0.9999) en todos los años analizados, con una ligera variación en 2000 (0.9999). Esto indica que Nueva Zelanda está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que ha mantenido la eficiencia incluso durante los años de la pandemia y postpandemia. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

La República de Corea ha mantenido el nivel de eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que la República de Corea está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia,

ya que se ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia. Esto significa una eficiente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Singapur ha mostrado que tiene eficiencia, con una ligera ineficiencia en 2019 (0.9999). En todos los demás años, Singapur ha sido eficiente. Esto indica que Singapur está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que la ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Estados Unidos ha tenido eficiencia en todos los años analizados. Esto indica que Estados Unidos está utilizando sus recursos de manera óptima y sirve como un benchmarking para otras economías. La pandemia no parece haber afectado su eficiencia, ya que la ha mantenido incluso durante los años de la pandemia y postpandemia. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Las tablas 7.1.1 y 7.1.2 presentan las eficiencias de las economías desarrolladas utilizando dos medidas diferentes: eficiencia radial y eficiencia no radial (SBM), respectivamente. A continuación, se realiza un análisis comparativo entre ambas tablas, destacando las diferencias y proporcionando ejemplos específicos.

En la Tabla 7.1.1 (radial), Australia tiene valores de eficiencia de 0.8489 en 2000 y 0.8999 en 2022. En la Tabla 7.1.2 (no radial), los valores son 0.5980 en 2000 y 0.4537 en 2022. Esto muestra que la medida no radial detecta una menor eficiencia en Australia.

En la Tabla 7.1.1, Canadá tiene valores de eficiencia de 1.0000 en 2000 y 0.8961 en 2022. En la Tabla 7.1.2, los valores son 1.0000 en 2000 y 0.6362 en 2022. La medida no radial muestra una disminución significativa en la eficiencia de Canadá.

En la Tabla 7.1.1, Japón tiene valores de eficiencia de 0.9950 en 2000 y 0.9789 en 2022. En la Tabla 7.1.2, los valores son 0.8820 en 2000 y 0.8637 en 2022. La medida no radial indica una menor eficiencia en comparación con la medida radial.

Las medidas de eficiencia radial tienden a mostrar valores más cercanos a 1, lo que puede dar la impresión de una mayor eficiencia general. Sin embargo, las medidas no radiales (SBM) parecen ser más óptimas para medir la eficiencia ambiental, ya que son más sensibles a las ineficiencias y proporcionan una visión más detallada de las áreas donde se pueden realizar mejoras. Los ejemplos de Australia, Canadá y Japón ilustran cómo la medida no radial detecta ineficiencias que no son tan evidentes con la medida radial.

## 7.2 Eficiencias DEA radial y no radial de las economías en desarrollo con variables ambientales

La tabla 7.2.1 presenta las eficiencias de diversas economías en desarrollo en la industria manufacturera, calculadas mediante la metodología de Análisis Envolvente de Datos. Este análisis proporciona una visión detallada de cómo cada economía ha gestionado sus recursos y maximizado sus outputs en diferentes contextos temporales y económicos, tomando en cuenta variables ambientales.

China ha mostrado una mejora constante en su eficiencia a lo largo de los años, alcanzando la eficiencia (1.0000) en 2020 y manteniéndose cercana a este valor en 2021 y 2022 (0.9999). prepandemia, China estaba en una trayectoria ascendente en términos de eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere que China ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis.

**Tabla 7.2.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial con variables ambientales**

| DMU'S     | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     | 0.6433 | 0.9985 | 0.9204 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 |
| INDONESIA | 0.8602 | 0.7964 | 0.6833 | 0.8469 | 0.7536 | 0.7718 | 0.7826 | 0.7874 |
| MALASIA   | 0.9999 | 0.9637 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |
| MÉXICO    | 0.9539 | 0.9488 | 0.9541 | 0.9674 | 0.9714 | 0.9647 | 0.9897 | 1.0000 |
| PERÚ      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9862 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS | 1.0000 | 1.0000 | 0.9946 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| RUSIA     | 0.6771 | 0.8630 | 0.5690 | 0.6071 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| TAILANDIA | 0.8762 | 0.8421 | 0.8814 | 0.9313 | 0.9431 | 1.0000 | 0.9960 | 0.9999 |
| VIETNAM   | 1.0000 | 0.5802 | 0.6039 | 0.8913 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Indonesia ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2010 (0.6833) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.7874 en 2022. prepandemia, Indonesia estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Indonesia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Malasia ha mantenido prácticamente la eficiencia en todos los años analizados, con una ligera ineficiencia en 2005 (0.9637) y 2022 (0.9999). prepandemia, Malasia estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

México ha mostrado una mejora constante en su ineficiencia a lo largo de los años, alcanzando la eficiencia en 2022. Prepandemia, México estaba mejorando su ineficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto indica que México ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis.

Perú ha mostrado una eficiencia alta y constante, con una ligera variación en 2010 (0.9826) y 2022 (0.9999). prepandemia, Perú estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Filipinas ha mantenido la eficiencia en casi todos los años analizados, con una ligera variación en 2010 (0.9946). prepandemia, Filipinas estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Rusia ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2010 (0.5690) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.6232 en 2022. prepandemia, Rusia estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente

su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Rusia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Tailandia ha mostrado una mejora constante en su eficiencia a lo largo de los años, alcanzando casi la eficiencia (0.9999) en 2022. prepandemia, Tailandia estaba en una trayectoria ascendente en términos de eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere que Tailandia ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis.

Vietnam ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2005 (0.5802) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.8328 en 2022. prepandemia, Vietnam estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Vietnam tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Las economías de Malasia, México, Perú, Filipinas y Tailandia han demostrado una notable resiliencia y alta eficiencia incluso durante los años de la pandemia, lo que sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes. Por otro lado, China, Indonesia, Rusia y Vietnam, aunque altamente eficientes, han mostrado cierta variabilidad y una ligera disminución en eficiencia durante y después de la pandemia, lo que indica áreas potenciales de mejora y la necesidad de estrategias para enfrentar mejor las crisis globales, sobre todo en el contexto de las variables ambientales.

La tabla 7.2.2 muestra las eficiencias de varias economías en desarrollo en el sector manufacturero, evaluadas utilizando la metodología de Análisis Envolvente de Datos (DEA) con medidas no radiales (SBM).

China ha mostrado una mejora constante en su eficiencia a lo largo de los años, alcanzando la eficiencia (1.0000) en 2015 y manteniéndose en este valor hasta 2022. Prepandemia, China estaba en una trayectoria ascendente en términos de eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere que China ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis.

Indonesia ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2010 (0.4294) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.5861 en 2022. Prepandemia, Indonesia estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Indonesia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

**Tabla 7.2.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales**

| DMU'S     | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     | 0.5991 | 0.7056 | 0.6859 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| INDONESIA | 0.7066 | 0.5751 | 0.4294 | 0.5578 | 0.6038 | 0.6018 | 0.5891 | 0.5861 |
| MALASIA   | 0.9999 | 0.7050 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| MÉXICO    | 0.5543 | 0.5624 | 0.5569 | 0.6604 | 0.7133 | 0.7505 | 0.7997 | 1.0000 |
| PERÚ      | 1.0000 | 0.9999 | 0.9343 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 |
| FILIPINAS | 1.0000 | 0.9999 | 0.8621 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 |
| RUSIA     | 0.6242 | 0.6763 | 0.5220 | 0.5754 | 0.5871 | 0.5982 | 0.6009 | 0.5752 |
| TAILANDIA | 0.6757 | 0.6627 | 0.7468 | 0.7967 | 0.7810 | 0.8491 | 0.9171 | 1.0000 |
| VIETNAM   | 0.9999 | 0.5768 | 0.5892 | 0.7656 | 0.7389 | 0.6902 | 0.6982 | 0.7175 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Malasia ha mantenido casi el nivel de eficiencia en todos los años analizados, con un ligero descenso en 2005 (0.7050) y 2022 (0.9999). Prepandemia, Malasia estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

México ha mostrado una mejora constante en su eficiencia a lo largo de los años, alcanzando la eficiencia (1.0000) en 2022. Prepandemia, México estaba mejorando su eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto indica que México ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis

Perú ha mostrado una eficiencia alta y constante, con una ligera variación en 2010 (0.9343) y 2022 (0.9999). Prepandemia, Perú estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una

excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Filipinas ha mantenido la eficiencia (1.0000) en casi todos los años analizados, con una ligera variación en 2010 (0.8621). Prepandemia, Filipinas estaba en una trayectoria de alta eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes, incluyendo el manejo de variables ambientales.

Rusia ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2010 (0.5220) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.5752 en 2022. Prepandemia, Rusia estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Rusia tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Tailandia ha mostrado una mejora constante en su eficiencia a lo largo de los años, alcanzando una casi la eficiencia (0.9999) en 2022. Prepandemia, Tailandia estaba en una trayectoria ascendente en términos de eficiencia, y la pandemia no parece haber afectado significativamente su rendimiento. Esto sugiere que Tailandia ha gestionado bien sus recursos y ha mantenido una alta eficiencia incluso en tiempos de crisis.

Vietnam ha mostrado una eficiencia variable, con una disminución notable en 2005 (0.5768) y una recuperación parcial en los años siguientes, alcanzando 0.7175 en 2022. Prepandemia, Vietnam estaba mejorando su eficiencia, pero la pandemia parece haber afectado negativamente su rendimiento, con una caída en 2019 y una recuperación lenta hasta 2022. Esto indica que Vietnam tiene margen de mejora y debe analizar las prácticas de las economías más eficientes para identificar áreas de mejora.

Las economías de Malasia, México, Perú, Filipinas y Tailandia han demostrado una notable resiliencia y alta eficiencia incluso durante los años de la pandemia, lo que sugiere una excelente gestión de recursos y adaptación a las condiciones cambiantes. Por otro lado, China, Indonesia, Rusia y Vietnam, aunque altamente eficientes, han mostrado cierta variabilidad y una ligera disminución en eficiencia durante y después de la pandemia, lo que

indica áreas potenciales de mejora y la necesidad de estrategias para enfrentar mejor las crisis globales, sobre todo en el contexto de las variables ambientales.

Las tablas 7.2.1 y 7.2.2 presentan las eficiencias de diversas economías en desarrollo en la industria manufacturera, utilizando dos metodologías diferentes de Análisis Envolvente de Datos (DEA). La tabla 7.2.1 utiliza medidas radiales orientadas a outputs, mientras que la tabla 7.2.2 emplea medidas no radiales (SBM) orientadas a outputs. Ambas tablas abarcan los años 2000, 2005, 2010, 2015, 2019, 2020, 2021 y 2022.

Un análisis comparativo entre ambas tablas revela que las medidas radiales tienden a mostrar eficiencias más cercanas a 1 en comparación con las medidas no radiales. Esto sugiere que las medidas radiales pueden ser menos estrictas y más propensas a otorgar la eficiencia, mientras que las medidas no radiales parecen ser más rigurosas y, por lo tanto, más óptimas para medir la eficiencia ambiental.

En la tabla 7.2.1 (medidas radiales), China se muestra prácticamente eficiente (0.9900-1.0000) en los años 2005, 2019, 2020, 2021 y 2022. En contraste, en la tabla 7.2.2 (medidas no radiales), China alcanza la eficiencia solo a partir de 2015 y la mantiene hasta 2022. Esto indica que las medidas no radiales son más estrictas y proporcionan una evaluación más detallada de la eficiencia debido a que es más difícil obtener la eficiencia.

En la tabla 7.2.1, Indonesia muestra una eficiencia de 0.8602 en 2000 y mejora a 0.7874 en 2022. Sin embargo, en la tabla 7.2.2, la eficiencia de Indonesia es significativamente más baja, comenzando en 0.7066 en 2000 y alcanzando solo 0.5861 en 2022. Esto resalta cómo las medidas no radiales detectan más ineficiencias y ofrecen una evaluación más precisa.

Malasia presenta eficiencia (1.0000) en varios años en la tabla 7.2.1, incluyendo 2015, 2019 y 2022. En la tabla 7.2.2, aunque Malasia también muestra eficiencias muy altas, hay ligeras variaciones, como en 2005 (0.7050) y 2022 (0.9999). Esto sugiere que las medidas no radiales capturan más detalles y variaciones en la eficiencia.

En la tabla 7.2.1, Rusia muestra una eficiencia de 0.6771 en 2000 y mejora a 0.6232 en 2022. En la tabla 7.2.2, la eficiencia de Rusia es aún más baja, comenzando en 0.6242 en 2000 y alcanzando solo 0.5752 en 2022. Las medidas no radiales revelan más ineficiencias y proporcionan una evaluación más rigurosa.

Esto muestra que las medidas radiales tienden a otorgar eficiencias más altas y cercanas a 1, mientras que las medidas no radiales son más estrictas y detectan más ineficiencias. Esto hace que las medidas no radiales sean más óptimas para evaluar la eficiencia en términos ambientales, ya que proporcionan una evaluación más detallada y precisa de cómo las economías gestionan sus recursos y outputs. Las medidas no radiales, al ser más rigurosas, permiten identificar áreas de mejora con mayor precisión, lo cual es importante para desarrollar mejores estrategias en la gestión ambiental y de recursos.

### 7.3 Eficiencias DEA radial y no radial sin variables ambientales de las economías desarrolladas del APEC

La tabla 7.3.2 evalúa las eficiencias de las economías desarrolladas utilizando medidas de eficiencia radial sin variables ambientales, con una escala de 0 a 1, donde 1 representa eficiencia total.

Australia presenta un nivel de eficiencia relativamente bajo en comparación con las demás economías de la tabla. A lo largo de los años, su eficiencia muestra una tendencia negativa, disminuyendo progresivamente desde 0.5989 en el año 2000 hasta 0.3542 en 2022. Esto sugiere que su desempeño en términos de eficiencia no ha mejorado y podría estar enfrentando desafíos significativos en la gestión de sus recursos o políticas.

**Tabla 7.3.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5989 | 0.5431 | 0.5924 | 0.4397 | 0.4408 | 0.4576 | 0.3899 | 0.3542 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 0.7732 | 0.6697 | 0.7017 | 0.6424 | 0.6413 | 0.6543 | 0.6493 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.9945 | 0.9548 | 0.9489 | 0.9514 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9631 | 0.9044 |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 1.0000 | 0.9064 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Canadá muestra un desempeño moderado en términos de eficiencia, con valores que fluctúan entre 0.7732 en 2005 y 0.6424 en 2019. Aunque su eficiencia se ha mantenido por debajo del

nivel óptimo (1.0000) a excepción del año 2000, en 2022 alcanza 0.6493, lo que indica una ligera mejora respecto a años anteriores. Sin embargo, su trayectoria sugiere la necesidad de esfuerzos adicionales para alcanzar mayores niveles de eficiencia.

Hong Kong se destaca como una de las economías más eficientes de la tabla, logrando un desempeño de 1.0000 en casi todos los años. Las únicas excepciones son 2020 y 2022, cuando su eficiencia cae ligeramente a 0.9999. Esta consistencia sugiere un manejo altamente efectivo de sus recursos y políticas, situándolo entre los líderes en eficiencia.

Japón mantiene niveles de eficiencia altos, cercanos a 1, en 2019 logra un puntaje perfecto de 1.0000, su eficiencia cae a 0.9631 en el año 2021 y posteriormente a 0.9044 en 2022, lo que podría reflejar ciertos retos recientes en su desempeño. En general, Japón sigue siendo una economía eficiente, aunque con espacio para mejorar.

Nueva Zelanda se posiciona como una de las economías más consistentes y eficientes, alcanzando un puntaje perfecto de 1.0000 en prácticamente todos los años. Esto refleja una gestión altamente efectiva y sostenida en términos de eficiencia, sin registrar ningún retroceso significativo durante el período analizado.

Corea del Sur, mantuvo un desempeño impecable durante el periodo analizado, logrando eficiencia total (1.0000) en todos los años de la tabla. Esto demuestra un nivel excepcional de consistencia y efectividad en la administración de sus recursos.

Singapur presenta un desempeño eficiente en la mayoría de los años, con valores de 1.0000 en casi todo el período. Sin embargo, en 2010 registra una caída significativa a 0.9064, lo que podría indicar un desafío puntual en ese año. A pesar de esto, su trayectoria general es altamente positiva, con eficiencia sostenida en el resto de los años.

Estados Unidos se caracteriza por su eficiencia total (1.0000) en casi todos los años analizados. La única excepción es 2019, cuando su eficiencia cae mínimamente a 0.9999. Esta economía mantiene un desempeño consistentemente eficiente, destacándose como una de las economías líderes en la tabla.

Las economías más eficientes fueron Hong Kong, Nueva Zelanda, Corea del Sur y Estados Unidos, ya que lograron mantener niveles de eficiencia cercanos o iguales a 1 en casi todos los años analizados. Corea del Sur destaca particularmente por alcanzar eficiencia total

(1.0000) en todos los años, mientras que Hong Kong, Nueva Zelanda y Estados Unidos mostraron pequeñas desviaciones mínimas en algunos años específicos.

Por otro lado, las economías menos eficientes fueron Australia y Canadá. Australia presentó los niveles más bajos de eficiencia, con una clara tendencia negativa desde 2000 (0.5989) hasta 2022 (0.3542). Canadá mostró un desempeño moderado, pero también insuficiente, con valores consistentemente inferiores a 1 y un rango entre 0.7732 (2005) y 0.6493 (2022), evidenciando dificultades para mejorar su eficiencia.

En la tabla 7.3.2 se mide la eficiencia de varias economías desarrolladas a lo largo de los años, utilizando un modelo no radial SBM (Slacks-Based Measure) sin incluir la variable ambiental de CO<sub>2</sub> de la industria manufacturera. La escala de eficiencia al igual que los modelos radiales va de 0 a 1, donde 1 indica eficiencia total y valores menores reflejan ineficiencia.

Australia sigue mostrando un desempeño bajo en eficiencia, similar a la tabla anterior. Su eficiencia disminuye progresivamente desde 0.5989 en 2000 hasta 0.3542 en 2022, evidenciando una tendencia negativa y serias dificultades para mejorar su desempeño en términos de eficiencia.

**Tabla 7.3.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5989 | 0.5431 | 0.5924 | 0.4397 | 0.4408 | 0.4576 | 0.3899 | 0.3542 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 0.7732 | 0.6697 | 0.7017 | 0.6424 | 0.6413 | 0.6543 | 0.6493 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.9945 | 0.9548 | 0.9489 | 0.9514 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9631 | 0.9044 |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 1.0000 | 0.9064 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

Como se puede observar en la tabla 7.3.2 los resultados idénticos a los de la tabla 7.3.1 resaltando que, en ausencia de variables ambientales, no hay diferencia práctica entre ambos enfoques. Sin embargo, al incluir variables ambientales como en los apartados 7.1 y 7.2, el

modelo no radial es más estricto y tiende a la ineficiencia, lo que lo convierte en una mejor herramienta para analizar economías desde una perspectiva más integral, especialmente cuando se considera la sostenibilidad y la eficiencia ambiental. Esto refuerza la importancia de incluir variables ambientales en las evaluaciones de eficiencia para obtener una visión más realista y completa del desempeño de las economías.

#### 7.4 Eficiencias DEA radial y no radial sin variables ambientales de las economías en desarrollo del APEC

La tabla 7.4.1 presenta un análisis de las eficiencias de diversas economías en desarrollo utilizando un modelo de eficiencia radial sin variables ambientales, medido en una escala de 0 a 1, donde 1 representa eficiencia total y 0 ausencia de eficiencia. Este enfoque permite evaluar la capacidad de cada economía para utilizar sus recursos de manera óptima, excluyendo factores externos como el impacto ambiental. El análisis abarca un periodo de 22 años (2000-2022) y ofrece una visión comparativa sobre el desempeño de economías como China, Indonesia, Malasia, México, Perú, Filipinas, Rusia, Tailandia y Vietnam, destacando las diferencias en sus trayectorias de eficiencia a lo largo del tiempo.

**Tabla 7.4.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales**

| DMU'S     | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     | 0.6433 | 0.9985 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| INDONESIA | 0.7121 | 0.5762 | 0.3486 | 0.4934 | 0.6406 | 0.6264 | 0.5953 | 0.5860 |
| MALASIA   | 1.0000 | 0.9637 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| MÉXICO    | 0.4366 | 0.4403 | 0.4144 | 0.5449 | 0.6165 | 0.6693 | 0.6649 | 0.7243 |
| PERÚ      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9332 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS | 0.9682 | 0.6600 | 0.7410 | 0.4709 | 0.3481 | 0.3558 | 0.3409 | 0.3451 |
| RUSIA     | 0.6771 | 0.8630 | 0.4891 | 0.6071 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| TAILANDIA | 0.5998 | 0.7630 | 0.7007 | 0.9246 | 0.9158 | 0.9999 | 0.9960 | 0.9999 |
| VIETNAM   | 1.0000 | 0.5802 | 0.9405 | 0.8864 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

China muestra una mejora significativa en su eficiencia, comenzando en 2000 con 0.6433 y alcanzando niveles perfectos de 1.0000 desde 2010 en adelante a excepción del año 2019. Esto refleja un avance notable en su capacidad para gestionar recursos y procesos, consolidándose como una de las economías más eficientes en los últimos años.

Indonesia presenta una trayectoria de eficiencia desigual, comenzando con 0.7121 en 2000 y disminuyendo a 0.3486 en 2010, lo que indica un desempeño inestable. Aunque mejora en años posteriores, alcanzando 0.6406 en 2019, su eficiencia cae ligeramente a 0.5860 en 2022, posicionándose entre las economías menos eficientes de la tabla.

Malasia destaca como una de las economías más consistentes en eficiencia, comenzando con un puntaje perfecto de 1.0000 en 2000 y manteniéndose cerca de este nivel en casi todos los años. Incluso en los periodos en que desciende ligeramente, como 2005 (0.9637), recupera rápidamente la eficiencia total, consolidándose como líder.

México muestra un desempeño pobre en eficiencia a lo largo de los años, comenzando con 0.4366 en 2000 y mejorando levemente a 0.7243 en 2022. Aunque su tendencia es positiva, sigue estando muy por debajo de la eficiencia total, lo que refleja importantes áreas de mejora en su gestión.

Perú empieza con un puntaje perfecto de 1.0000 en 2000, pero experimenta caídas significativas, alcanzando 0.9332 en 2010. A partir de entonces, mantiene niveles de eficiencia cercanos a 1.0000, lo que indica un buen desempeño con algunas oscilaciones leves.

Filipinas experimenta una trayectoria descendente en eficiencia, comenzando con un sólido 0.9682 en 2000 pero cayendo a 0.3558 en 2020, lo que refleja un deterioro continuo. Aunque se recupera ligeramente a 0.4849 en 2022, sigue estando entre las economías menos eficientes de la tabla.

Rusia tiene un desempeño inestable, comenzando con 0.6771 en 2000, alcanzando un mínimo de 0.4891 en 2010, y recuperándose parcialmente a 0.6473 en 2019. Sin embargo, su eficiencia cae nuevamente a 0.6232 en 2022, lo que la posiciona como una de las economías menos eficientes.

Tailandia muestra un progreso notable, comenzando con 0.5998 en 2000 y alcanzando 0.9969 en 2022, lo que refleja una mejora constante. Su eficiencia cercana a 1 en los últimos años la posiciona entre las economías con mejor desempeño reciente.

Vietnam comienza con un puntaje perfecto de 1.0000 en 2000, pero muestra una caída considerable a 0.5802 en 2005. Aunque recupera parcialmente su eficiencia, llegando a

0.8328 en 2022, su desempeño es inconsistente, ubicándose en un nivel intermedio en comparación con las demás economías.

**Tabla 7.4.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales**

| DMU'S     | 2000   | 2005   | 2010   | 2015   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     | 0.6433 | 0.9985 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| INDONESIA | 0.7121 | 0.5762 | 0.3486 | 0.4934 | 0.6406 | 0.6264 | 0.5953 | 0.5860 |
| MALASIA   | 1.0000 | 0.9637 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| MÉXICO    | 0.4366 | 0.4403 | 0.4144 | 0.5449 | 0.6165 | 0.6693 | 0.6649 | 0.7243 |
| PERÚ      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9332 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS | 0.9682 | 0.6600 | 0.7410 | 0.4709 | 0.3481 | 0.3558 | 0.3409 | 0.3451 |
| RUSIA     | 0.6771 | 0.8630 | 0.4891 | 0.6071 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| TAILANDIA | 0.5998 | 0.7630 | 0.7007 | 0.9246 | 0.9158 | 0.9999 | 0.9960 | 0.9999 |
| VIETNAM   | 1.0000 | 0.5802 | 0.9405 | 0.8864 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con base en: Banco Mundial (2024); UNIDO (2024); R Core Team (2025); Coll-Serrano, Bolos & Benitez Suarez (2025).

En la tabla 7.4.2 se puede observar un análisis de eficiencia de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin la variable ambiental del CO<sub>2</sub>. En esta tabla se puede observar que los valores son idénticos a los de la tabla 7.4.1, volviéndose a repetir el caso tratado en el apartado 7.3, donde las medidas radiales y no radiales (SBM) compartían resultados iguales debido a que no había un *bad output*.

## 7.5 Comparativo entre resultados radiales y no radiales

Como se pudo observar en el apartado 7.1 y 7.2 al momento de usar una variable ambiental y usar un *bad output* las eficiencias radiales y no radiales dan resultados totalmente diferentes. Como se estuvo explicando anteriormente, al incluir variables ambientales (como emisiones de CO<sub>2</sub>) se introducen restricciones adicionales en el modelo, lo que puede hacer más evidente la ineficiencia de ciertas economías. En este contexto, los modelos no radiales suelen ser considerados más estrictos, ya que toman en cuenta tanto las proporciones de entrada y salida como las holguras (slacks), lo que permite una evaluación más detallada de las ineficiencias como se puede ver en las tablas 7.1 y 7.2.

En las tablas 7.3.1 y 7.3.2 se evalúan las eficiencias de las economías en desarrollo, diferenciándose únicamente por el tipo de medida utilizada: radial (7.3.1) y no radial (7.3.2),

pero sin incluir variables ambientales en los dos casos. En ambas, los resultados son idénticos para cada economía y cada año. Esto sugiere que, en la ausencia de variables ambientales, los modelos no radiales y radiales no presentan diferencias significativas en los resultados obtenidos. Esto mismo ocurre con las tablas 7.4.1 y 7.4.2 donde tampoco se usan variables ambientales, así reforzando lo que anteriormente se había mencionado.

# Conclusiones y recomendaciones

El análisis comparativo de las eficiencias de las economías desarrolladas y en desarrollo en la industria manufacturera utilizando medidas radiales y no radiales con variables ambientales, revela varias tendencias importantes.

Como se había comentado en apartados anteriores los objetivos de esta investigación son identificar cuál ha sido el efecto del trabajo, la inversión y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- en la eficiencia radial y no radial DEA de la industria manufacturera en las economías desarrolladas en relación con las economías en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022 y determinar en cuál de las medidas de eficiencia radial y no radial DEA ha tenido un mayor impacto ante variaciones en el trabajo, la inversión y el CO<sub>2</sub> -variable ambiental- en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022 para así poder investigar de qué manera el trabajo y la inversión con y sin variables ambientales han influido en la eficiencia radial y no radial DEA en la industria manufacturera de las economías desarrolladas y en desarrollo del APEC durante el periodo 2000-2022.

Las medidas radiales (Tablas 7.1.1 y 7.2.1) tienden a obtener la eficiencia en comparación con las medidas no radiales (Tablas 7.1.2 y 7.2.2). Esto sugiere que las medidas radiales pueden ser menos estrictas y más propensas a otorgar la eficiencia. Por otro lado, las medidas no radiales parecen ser más rigurosas al evaluar la eficiencia ambiental debido a su naturaleza que al agregar variables ambientales es más difícil llegar a la eficiencia como se puede

observar en los apartados anteriores. Al obtener estos resultados se comprueba la hipótesis específica 2.

En la tabla 7.1.2, que utiliza medidas no radiales, se observa que las economías desarrolladas como Hong Kong, Nueva Zelanda, la República de Corea, Singapur y Estados Unidos mantienen sus eficiencias (1.0000) en casi todos los años analizados. Japón y Canadá muestran ligeras variaciones, pero generalmente mantienen eficiencias altas. Australia, sin embargo, muestra una ineficiencia y variable, indicando áreas de mejora. En la tabla 7.1.1, que utiliza medidas radiales, las eficiencias son consistentemente altas, con varias economías alcanzando la eficiencia en múltiples años.

La tabla 7.2.2 muestra que las economías en desarrollo tienen una mayor variabilidad en sus eficiencias. China, Malasia, México, Perú, Filipinas y Tailandia muestran tendencias positivas y eficiencias altas en años recientes. Indonesia, Rusia y Vietnam, aunque mejoran con el tiempo, tienen ineficiencias variables, lo que indica un mayor margen de mejora. En la tabla 7.2.1, que utiliza medidas radiales, las eficiencias son más altas y menos variables, con varias economías alcanzando la eficiencia en múltiples años.

China y Estados Unidos muestran resultados muy interesantes, esto debido a que son dos de las economías principales a nivel mundial en emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, la mayoría pensaría que estas economías deberían salir con una ineficiencia ambiental, pero, los resultados muestran lo contrario. Esto debido a que el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> utilizado es exclusivo de las emisiones de la industria manufacturera y hay que tomar en cuenta que, aunque sean las mayores productoras de emisiones también son las economías con mayor cantidad de producción mundial. Según los datos de la División de Estadísticos de las Naciones Unidas China produce aproximadamente el 31% del volumen de producción industrial mundial y Estados Unidos el 16.3% de producción mundial en 2022 dando a entender que sí producen muchas emisiones de CO<sub>2</sub>, pero también tienen la mayor producción manufacturera (Richter, 2024; Safeguard Global, 2024).

La pandemia de COVID-19 parece haber tenido un impacto variable en las economías. Algunas economías como China, Malasia y México han mantenido o mejorado su eficiencia durante y después de la pandemia, mientras que otras como Indonesia, Rusia y Vietnam han mostrado caídas en la eficiencia durante este período.

En las tablas de las eficiencias de las economías desarrolladas y en desarrollo en la industria manufacturera utilizando medidas radiales y no radiales sin variables ambientales surgen patrones interesantes en términos de eficiencia. Las economías más destacadas en todas las tablas anteriormente mencionadas fueron Hong Kong, Corea del Sur, Nueva Zelanda, Malasia y China, las cuales mantuvieron niveles de eficiencia perfectos o muy cercanos a 1 en la mayoría de los años. En particular, Hong Kong, Corea del Sur y Nueva Zelanda mostraron consistencia absoluta en casi todos los periodos, mientras que Malasia y China lograron recuperar o mantener su eficiencia incluso en años críticos. Estas economías demostraron una gestión sobresaliente de recursos y adaptabilidad a lo largo del tiempo.

Por otro lado, las economías con menor eficiencia fueron Australia, México, Indonesia, Filipinas y Rusia. Australia y México tuvieron un desempeño persistentemente bajo, con una tendencia negativa en la mayoría de los años, posicionándose entre las economías más ineficientes en términos relativos. Indonesia, Filipinas y Rusia mostraron trayectorias inestables, con caídas significativas y recuperaciones parciales, lo que las ubica en un rango bajo de eficiencia.

Un análisis de los años 2019 a 2022 de las tablas 7.3.1, 7.3.2, 7.4.1 y 7.4.2, periodo marcado por la pandemia de COVID-19, revela caídas notables en la eficiencia de varias economías. Por ejemplo, Hong Kong y Nueva Zelanda, que mantenían niveles perfectos de eficiencia, experimentaron ligeras reducciones en 2020 (0.9999). Además, Filipinas y Indonesia, que ya enfrentaban problemas de eficiencia, sufrieron caídas aún más pronunciadas durante este periodo, lo que sugiere que las restricciones globales y los efectos económicos de la pandemia agravaron sus limitaciones estructurales.

Otras economías, como China, Malasia y Corea del Sur, lograron mantener su eficiencia prácticamente intacta durante la pandemia, demostrando resiliencia en un contexto de incertidumbre global. Este contraste refleja que la capacidad de adaptación y la solidez económica jugaron un papel decisivo para mitigar el impacto negativo de la pandemia en términos de eficiencia.

Hay que resaltar que al usar las medidas radiales y no radiales sin variables ambientales los resultados son idénticos, sin representar una diferencia significativa en los resultados, demostrando que las medidas no radiales al usar variables ambientales, en lo particular, el

CO<sub>2</sub> de la industria manufacturera como *badoutput* en este caso sí son más rigurosas y es más difícil que lleguen al nivel de eficiencia óptimo comprobándose de esta manera la hipótesis específica 1.

Esta investigación es de gran aporte debido a la relevancia de los resultados obtenidos, como ejemplo esta lo que se había mencionado de las economías más ineficientes que fueron Australia, México, Indonesia, Filipinas y Rusia, dándonos la oportunidad de poder analizar para investigaciones futuras el por qué estas economías están siendo deficientes en el sector manufacturero y poder buscar propuestas o alternativas para que puedan mejorar esas áreas de oportunidad y puedan lograrla eficiencia.

Otra investigación interesante que se podría realizar sería aplicar este mismo tipo de estudio en la industria textil, ya que dentro del APEC hay varias economías que producen una cantidad importante a nivel mundial de textiles.

También se propone como una nueva línea de investigación usar una variable de capital ya que debido a la falta de datos se utilizó la variable de inversión y también agregar variables como la liberación de sustancias nocivas en aguas y suelos, la generación de residuos y el consumo energético, así como hacer el estudio con todas las economías del APEC y no solo en 17 como se realizó en esta ocasión.

Para concluir de manera más general se puede resumir que se comprueba la hipótesis general planteada en el capítulo 1 fundamentos de investigación de esta investigación y se demuestra la importancia de hacer este tipo de investigaciones para poder saber que metodología se adapta de manera mejor a los diversos tipos de estudios que se pueden realizar con la metodología DEA.

## **Recomendaciones**

Dado que las medidas no radiales son más rigurosas y proporcionan una evaluación más precisa de la eficiencia, se recomienda que las economías adopten estas medidas para evaluar y mejorar su eficiencia ambiental. Esto permitirá identificar áreas de ineficiencia con mayor precisión y desarrollar estrategias más efectivas.

Las economías que mantienen su nivel de eficiencias (cercasas a 1) deben servir como benchmarking para otras economías. Economías como Hong Kong, Nueva Zelanda, la República de Corea, Singapur y Estados Unidos pueden compartir sus mejores prácticas en gestión de recursos y eficiencia ambiental con otras economías.

Las economías con eficiencias variables y más bajas, como Australia, Indonesia, Rusia y Vietnam, deben enfocarse en mejorar su gestión de recursos y prácticas más eficientes. Es necesario realizar análisis internos para identificar las causas de ineficiencia y tomar medidas correctivas.

La pandemia ha demostrado la importancia de la resiliencia económica. Las economías deben desarrollar estrategias para mantener y mejorar su eficiencia incluso en tiempos de crisis. Esto incluye diversificación de recursos y fortalecimiento de políticas ambientales.

La colaboración internacional puede jugar un papel decisivo en la mejora de la eficiencia ambiental. Las economías pueden beneficiarse del intercambio de conocimientos y mejores prácticas a través de acuerdos y asociaciones internacionales.

Las medidas radiales en DEA tienden a otorgar eficiencias más altas y cercanas a 1, lo que puede ser útil para una evaluación inicial, pero puede no reflejar todas las ineficiencias. Por otro lado, las medidas no radiales (SBM) son más rigurosas y proporcionan una evaluación más detallada y precisa de la eficiencia, principalmente en el contexto de la eficiencia ambiental. Estas medidas consideran las ineficiencias en cada dimensión de los inputs y outputs, lo que las hace más adecuadas para identificar áreas específicas de mejora y desarrollar estrategias efectivas para la gestión de recursos y la sostenibilidad ambiental.

## Bibliografía

Acharya, T. (2011). Material handling and process improvement using lean manufacturing principles. *The International Journal of Industrial Engineering*, 18(7), 357–368.

Acosta L., Maharjan P., Peyriere H., Galotto L., Mamiit R., Ho C., Flores B. y Anastasia O. (2019). *Green Growth Index: Concepts, Methods and Applications GGGI. Technical report No. 5, Green Growth Performance Measurement (GGPM) Program*. Global Green Growth Institute, Seoul.

Agricifientecl. (2024, July 26). *Eficiencia Ambiental en la Industria: Clave para una Producción Sostenible y Rentable*. Agrificiente. <https://www.agrificiente.cl/eficiencia-ambiental-en-la-industria/>

Aigner, D., Lovell, C. A. K., & Schmidt, P. (1977). Formulation and estimation of stochastic frontier production function models. *Journal of Econometrics*, 6(1), 21–37.

Álvarez-Risco, R. (2020). *Matriz de consistencia y Matriz de operacionalización de variables*. Universidad de Lima.

An, Q., Pang, Z., Chen, H. y Liang, L. (2015). Closest targets in environmental efficiency evaluation based on enhanced Russell measure. *Ecological Indicators*, 51(1), 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.09.008>

Ang, S., & Chen, C.M. (2016). Pitfalls of decomposition weights in the additive multi-stage DEA model. *Omega*, 58, 139–153.

Ander-Egg, E. (1995). *Técnicas de Investigación social* (24<sup>ava</sup> ed.). Ateneo.

Anguiano E. (2000). *Diez años del Foro de Cooperación Económica en Asia Pacífico (APEC)*. Anuario Asia Pacífico El Colegio de México, 23–60. <https://doi.org/10.24201/aap.2000.137>

APEC. (2020). *APEC Putrajaya Vision 2040*. Asia-Pacific Economic Cooperation. [https://www.apec.org/meeting-papers/leaders-declarations/2020/2020\\_aelm/putrajaya-vision-2040](https://www.apec.org/meeting-papers/leaders-declarations/2020/2020_aelm/putrajaya-vision-2040)

APEC. (Octubre de 2023). *History*. Recuperado el 27 de Noviembre de 2023, de Asia-Pacific Economic Cooperation: <https://www.apec.org/about-us/about-apec/history>

Arauz, L. (2023). *¿Qué es la manufactura sostenible?* Bienes Raíces Industriales - VYNMSA. Recuperado enero 5, 2025, de <https://vynmsa.com/blog/manufactura-sostenible-que-es/>

Araya-Pizarro, S., Varas-Madrid, C., & Rojas-Escobar, L. (2023). Análisis de eficiencia productiva: Una comparación interdepartamental entre Facultades de la Universidad de Atacama.

Arellano, M. (1991). *Introducción al análisis econométrico con datos de panel*. Repositorio Institucional de la Biblioteca del Banco de España.

Avellaneda, P., & González, M. (2017). Eficiencia técnica en la agricultura familiar: Análisis envolvente de datos (DEA) versus aproximación de fronteras estocásticas (SFA). *Nova Scientia*, 9(18), 1-20. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/314486613\\_Eficiencia\\_tecnica\\_en\\_la\\_agricultura\\_familiar\\_Analisis\\_envolvente\\_de\\_datos\\_DEA\\_versus\\_a\\_proximacion\\_de\\_fronteras\\_estocasticas\\_SFA](https://www.researchgate.net/publication/314486613_Eficiencia_tecnica_en_la_agricultura_familiar_Analisis_envolvente_de_datos_DEA_versus_a_proximacion_de_fronteras_estocasticas_SFA)

Avkiran, N. K., Tone, K., & Tsutsui, M. (2008). Bridging radial and non-radial measures of efficiency in DEA. *Annals of Operations Research*, 164(1), 127-138.

Bacon, F. (1910). *A Dictionary of Arts, Sciences, Literature, and General information* (11.<sup>ava</sup> ed.). Encyclopædia Britannica.

Barrios Vera José Gregorio. (2010). Desarrollo sostenible y sustentable para una economía con enfoque ambiental. Recuperado de <https://www.gestiopolis.com/sostenibilidad-economica-social-prioridad-sustentabilidad-ambiental/>

Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management Science*, 30(9), 1078-1092.

Bevilacqua, M. y Braglia, M. (2002). Environmental efficiency analysis for ENI oil refineries. *Journal of Cleaner Production*, 10(1), 85–92. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(01\)00022-1](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(01)00022-1)

Black, A., (2004). The quest for sustainable, healthy communities, presented to Effective Sustainability Education Conference, NSW Council on Environmental Education, UNSW, Sydney, 18–20 February, 2004.

Bohan, W. F. (2003). *El poder oculto de la productividad* (1.<sup>a</sup> ed.). Norma S A Editorial.

Bostian, M., Fare, R., Grosskopf, S., Lundgren, T., 2016. Environmental investment and firm performance: a network approach. *Energy Econ.* 57, 243–255.

Brain, D. (1985). *Productividad: La solución a los problemas de la empresa*. McGraw Hill.

Bravo-Ureta, B. E., & Pinheiro, A. E. (1997). Producción y Eficiencia en Empresas Agrícolas: Análisis de Fronteras de Producción Estocásticas con Datos de Panel. *Revista de Economía y Sociología Rural*, 35(2), 9-22.

Buendía, L., Colás, P. y Hernández, F. (1999). *Métodos de la investigación en psicopedagogía*. McGraw-Hill Interamericana de España.

Case, K., Fair R., et al., (2012). *Principios de Microeconomía* (10.<sup>a</sup> ed.). Editorial Pearson.

CEM, (2006). *Defining and Identifying Environmental Limits for Sustainable Development: Final Technical Report. A Scoping Study. Full technical report*, Centre for Environmental Management, School of Geography, University of Nottingham, Marzo 2006, Project Code NR0102

Chao, M. (2023, 4 de abril). ¿Cómo está adaptando la tecnología el sector manufacturero?. *Forbes México*. <https://www.forbes.com.mx/como-esta-adaptando-la-tecnologia-el-sector-manufacturero/>

Charnes, A., Cooper, W.W., Golany, B., Seiford, L., & Stutz, J. (1985). Foundations of data envelopment analysis for Pareto-Koopmans efficient empirical production functions. *Journal of Econometrics*, 30(1-2), 91-107.

Charnes, A., Cooper, W. y Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8).

Chen, T. (2016). Competitive and Sustainable Manufacturing in the Age of Globalization. *Sustainability*, 9(1), 26. <https://doi.org/10.3390/su9010026>

Chen, Y., Cook, W., Li, N., & Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1170–1176.

Chu, J., Rui, Y., Khezrimotlagh, D., & Zhu, J. (2024). A General Computational Framework and A Hybrid Algorithm for Large-scale Data Envelopment Analysis. *European Journal of Operational Research*, 316(2), 639–650. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.01.030>

CMNUCC, (2007). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su decimotercer período de sesiones, celebrado en Bali del 7 al 19 diciembre 2007, FCCC/CP/2007/Add. 1.

CMNUCC, (2009). Informe de la Conferencia de las Partes sobre su decimoquinto período de sesiones, celebrado en Copenhague del 3 al 15 de diciembre de 2009, FCCC/CP/2009/6.

CMNUCC, (2010). Labor realizada por la Conferencia de las Partes en su decimoquinto período de sesiones sobre la base del informe del Grupo de Trabajo Especial sobre Acción Cooperativa a Largo Plazo en el marco de la Convención, celebrado en Cancún del 29 de noviembre al 10 de diciembre de 2010, FCCC/CP/2010 /2.

Code of Federal Regulations, (2011). *Title 40 for regulations of US Environmental Protection Agency (EPA)*. <http://www.gpo.gov>

Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). An introduction to efficiency and productivity analysis. Springer Science & Business Media.

Coll-Serrano, V. (2022). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. *Revista de Economía Aplicada*, 30(90), 1-35. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Vicente-Coll-Serrano/publication/363112588\\_Evaluacion\\_de\\_la\\_eficiencia\\_mediante\\_el\\_analisis\\_envolv](https://www.researchgate.net/profile/Vicente-Coll-Serrano/publication/363112588_Evaluacion_de_la_eficiencia_mediante_el_analisis_envolv)

ente\_de\_datos/links/630e62a35eed5e4bd12fe478/Evaluacion-de-la-eficiencia-mediante-el-analisis-envolvente-de-datos.pdf

Coll-Serrano, V., & Blasco-Blasco, O. M. (2006). Evaluación de la eficiencia mediante el análisis envolvente de datos. Universidad de Valencia.

Coll-Serrano, V., Blasco-Blasco, O. M., & Cuñat-Giménez, R. J. (2009). Análisis de la eficiencia y evolución de la productividad de las cooperativas frente a las empresas capitalistas mediante el empleo del Análisis Envolvente de Datos. CIRIEC-España, Revista de Economía Pública, Social y Cooperativa, 65, 23-49.

Coll-Serrano V., Bolos V., Benitez Suarez R. (2025). *\_deaR: Conventional and Fuzzy Data Envelopment Analysis\_*. doi:10.32614/CRAN.package.deaR <<https://doi.org/10.32614/CRAN.package.deaR>>, R package version 1.5, <<https://CRAN.R-project.org/package=deaR>>.

Cook, W. y Seiford, L., (2009), Data envelopment analysis (DEA) – thirty years on. *European Journal of Operational Research*, 192 (1), 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.032>

Cooper, W., Seiford, L. y Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2.<sup>a</sup> ed.). Springer.

Cooper, W., Seiford, L. y Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses: with DEA-solver Software and References*. Springer.

Da Costa, L., Ferreira, J., Kumar, V. y Garza-Reyes, J. (2022). Benchmarking of sustainability to assess practices and performances of the management of the end of life cycle of electronic products: A study of Brazilian manufacturing companies. *Clean Technol. Environ. Policy*, 24(1), 1173–1189. <https://doi.org/10.1007/s10098-020-01947-3>

Dao, V., Langella, I. y Carbo, J. (2011). From green to sustainability: Information Technology and an integrated sustainability framework. *International Journal of Production Economics*, 20(1), 63–79. <https://doi.org/10.1016/j.jsis.2011.01.002>

Debreu, G. (1951) The Coefficient of Resource Utilization. *Econometrica*, 19(3), 273-292. <http://dx.doi.org/10.2307/1906814>

Ellis, J., Moarif, S. (2009). *GHG mitigation actions: MRV issues and options*. Draft for review. OECD/IEA Project for the Annex I Expert Group on the UNFCCC, Paris.

Emerson, J., et al., (2010). *2010 Environmental Performance Index*. New Haven: Yale Center for Environmental Law and Policy

Emrouznejad, A., Yang, G. (2016) *A framework for measuring global Malmquist–Luenberger productivity index with CO2 emissions on Chinese manufacturing industries*. *Energy*, 115(1), 840–856. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.09.032>

European Environment Agency, (2021). El reto de reducir la contaminación industrial. (s. f.). Recuperado el 23 de septiembre del 2024, <https://www.eea.europa.eu/es/senales/senales-de-la-aema-2020/articles/el-reto-de-reducir-la#:~:text=Al%20mismo%20tiempo%2C%20la%20industria,la%20generaci%C3%B3n%20de%20residuos%20y>

EU (European Union), (2006). *Renewed EU sustainable development strategy*. 10917/06. (Adaptado por European Council 15/16 June 2006). Brussels.

European Commission, (2006) *The Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals*. [http://ec.europa.eu/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/index_en.htm)

European Commission (2019). Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: The European Green Deal, Communication no. COM/2019/640, Brussels: European Commission

European Commission (2020) Communication from the Commission to the European Parliament, the European Council, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: Europe's moment: Repair and Prepare for the Next Generation, Communication COM(2020) 456 final, Brussels: European Commission

Färe, R., Grosskopf, S. y Hernandez-Sancho, F. (2004). Environmental performance: An index number approach. *Resource and Energy Economics*, 26(4), 343–352. <https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2003.10.003>

Farrell, M., (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society Series A*, 120(3) (pp. 253-290). <https://doi.org/10.2307/2343100>

Ferro, G., León, S., Romero, C., & Wilson, D. (2021). *Análisis de los factores que determinan la eficiencia de los bancos en Argentina. Un análisis DEA en dos etapas*.

Fondo Monetario Internacional (FMI, 2001). *La liberalización del comercio mundial y los países en desarrollo* [Estudio temático]. Recuperado de <https://www.imf.org/external/np/exr/ib/2001/esl/110801s.htm>

FMI (2021). *World Economic outlook update*. January 2021

Fontalvo Herrera, T., De La Hoz Granadillo, E., & Morelos Gómez, J. (2017). *Eficiencia de las entidades prestadoras de salud (EPS) en Colombia por medio de análisis envolvente de datos*. Semantic Scholar. <https://www.semanticscholar.org/paper/66299ab8b70c5fa562b6a1661b5d91ddd339a888>

Georgeson L., Maslin M. y Poessinouw M (2017). The global green economy: a review of concepts, definitions, measurement methodologies and their interactions. *Geo Geogr Environ* 4:e00036. <https://doi.org/10.1002/geo2.36>

Goodland, R. y Ledec, G. (1987). Neoclassical economics and principles of sustainable development. *Ecological Modelling*, 1(2), 19–46

Goto, M., & Sueyoshi, T. (2020). Sustainable development and corporate social responsibility in Japanese manufacturing companies. *Sustainable Development*, 28(4), 844–856. <https://doi.org/10.1002/sd.2035>

Green, K., Inman, R., Sower, V., Zelbst, P. (2019). Impact of JIT, TQM and green supply chain practices on environmental sustainability. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(1), 26–47. <https://doi.org/10.1108/JMTM-01-2018-0015>

Halkos G, Moll de Alba J, Todorov V (2021). Economies' inclusive and green industrial performance: an evidence based proposed index. *J Clean Prod.* <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123516>

Hamrin, R., (1983). *A Renewable Resource Economy*. Praeger. New York.

Hanning, A., Abellsson, A., Lundqvist, U. y Svanström, M. (2012). ¿Are we educating engineers for sustainability?: Comparison between obtained competences and Swedish industry's needs. *International Journal of Sustainability in Higher Education*, 13(3), 305–320. <https://doi.org/10.1108/14676371211242607>

Hayami, Y. y Ruttan, V. (1985). *Induced innovation in agricultural development*. Center for Economics Research Department of Economics University of Minnesota.

Hernández, R. y Fernández, C. (1991). *Metodología de la Investigación. Manual de apoyo para profesores* (2ª ed.). McGraw-Hill Interamericana Eds.

Hernández, S. (1985). *El uso de la teoría, el marco teórico de referencia y el modelo conceptual*. UNAM

Hui, S. y Wan M. (2013). *Study of hotel energy performance using data envelopment analysis*. 12th International Conference on Sustainable Energy technologies (SET-2013). <https://www.researchgate.net/publication/281901553>

INEGI. (2022). *Indicadores macroeconómicos del sector público 2021 resultados preliminares*. 1–10. Comunicado de prensa núm. 584/22

Inklar, R., y Woltjer, P. (2019). Whats is new in in PWT 9.1? University of Groningen. [https://www.rug.nl/ggdc/docs/pwt91\\_whatsnew.pdf](https://www.rug.nl/ggdc/docs/pwt91_whatsnew.pdf)

IUCN, UNEP, WWF, (1980). *World Conservation Strategy*, International Union for the Conservation of Nature, Gland.

Jain, R. K., & Natarajan, R. (2015). A DEA study of airlines in India. *Asia Pacific Management Review*, 20(4), 285–292. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2015.03.004>

Johnson, R., & Lee, S. (2022). Enhancing operational efficiency through investment in modern machinery. *ResearchGate*.

Kaldor N (1960). *Causes of growth and stagnation in the world economy*. Cambridge University Press

Kaldor N (1967). *Strategic factors in economic development*. New York State School of Industrial and Labor Relations, Cornell University, Ithaca

Kaldor N (1981). The role of increasing returns, technical progress and cumulative causation in the theory of international trade and economic growth. *Econ Appl* 34(4):593–617

Kang, Y., Xie, B., Wang, J., & Wang, Y. (2018). Environmental assessment and investment strategy for China's manufacturing industry: A non-radial DEA based analysis. *Journal Of Cleaner Production*, 175, 501-511. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.043>

Kendrick, J. (1956). Productivity Trends: Capital and Labor. *The Review of Economics and Statistics*, 38(3), 248–257. <https://doi.org/10.2307/1925777>

Kohl, S., Schoenfelder, J., Fügner, A., & Brunner, J. O. (2018). The use of Data Envelopment Analysis (DEA) in healthcare with a focus on hospitals. *Health Care Management Science*, 22(2), 245-286. <https://doi.org/10.1007/s10729-018-9436-8>

Kleindorfer, P., Singhal, K., VanWassenhove, L. (2005) Sustainable Operations Management. *Production and Operations Management*, 14(4), 482-492. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2005.tb00235.x>

Kolomeytseva AA (2020). Greening of the Manufacturing Industry in the Eurasian Economic Union. *Int J Energy Econ Policy* 10(3) 95–101 <https://doi.org/10.32479/ijeep.9001>

Koontz, H., Weihrich, H., y Cannice, M. (1998). *Capítulo 1: Administración: Ciencia, teoría y práctica*. Administración: una perspectiva global, 11, 20-21.

Koopmans, T. (1951). Analysis of production as an efficient Combination combination of activities. In T. C. Koopmans (Ed.), *Activity Analysis of Production and Allocation*, Cowles Commission for Research in Economics, Monograph No. 13 (pp. 33-97). Wiley.

Korn, F., et al., (1969). *Conceptos y variables en la investigación social*.

Koroneos, C., Nanaki, E. (2012). Integrated solid waste management and energy production—A life cycle assessment approach: The case study of the city of Thessaloniki. *Journal of Cleaner Production*, 27(1), 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.010>

Kumbhakar, S. C. (1990). Production frontiers, panel data, and time-varying technical inefficiency. *Journal of Econometrics*, 46(1-2), 201-211.

Kumbhakar, S. C., & Lovell, C. A. K. (2000). *Stochastic Frontier Analysis*. Cambridge University Press.

Le, T., Luu, T., Huynh, N., & Chung, R. (2020). Environmental efficiency of rice production in Vietnam: An application of SBM-DEA with undesirable output. *Biodiversitas*, 21(6), 2710-2715.

Lee, W. (2008). Benchmarking the energy efficiency of government buildings with data envelopment analysis. *Energy and Buildings*, 40(5), 891-895. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.07.001>

Lee, W. y Lee, K. (2009). Benchmarking the performance of building energy management using data envelopment analysis. *Applied Thermal Engineering*, 29(16), 3269-3273. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2008.02.034>

Leu, J.-D., Tsai, W.-H., Fan, M.-N., & Chuang, S. (2020). Benchmarking Sustainable Manufacturing: A DEA-Based Method and Application. *Energies*, 13(22), 5962. <https://doi.org/10.3390/en13225962>

Levinson, P. (1997). *The Soft Age: A Natural History Ad Future of the Information Revolution*. London Routeledge.

Levitan, S. y Diane W. (1984). *Productivity, Problems, Prospects, and Policies*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press.

Li, Y., Sawhne, R., Wilck, J. (2013). Applying Bayesian Network Techniques to Prioritize Lean Six Sigma Efforts. *International Journal of Strategic Decision Sciences*, 4(2), 1–15. <http://dx.doi.org/10.4018/jsds.2013040101>

Lin, F., Lin, S., Lu, W., 2018. Sustainability assessment of taiwan's semiconductor industry: a new hybrid model using combined analytic hierarchy process and two-stage additive network data envelopment analysis. *Sustainability* 10 (11), 4070.

Liu, J. y Yu, D. (2004). Evaluation of plant maintenance based on data envelopment analysis. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 10(3), 203-209. <https://doi.org/10.1108/13552510410553253>

Lovato, S., Hidalgo, W., Fienko G., Buñay, J. (2019). Incidencia del crecimiento económico del sector manufacturero sobre el Producto Interno Bruto en Ecuador. *Redalyc*, 24(86), 563-574. Recuperado de <https://www.redalyc.org/journal/290/29059356014/html/>

Lozano, S., Villa, G., Brännlund, R. (2009). Centralised reallocation of emission permits using DEA. *European Journal of Operational Research*, 193(3), 752–760. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.07.029>

Mahadevan, R. (2002). A DEA approach to understanding the productivity growth of Malaysia's manufacturing industries. *Asia Pacific Journal Of Management*, 19(4), 587-600. <https://doi.org/10.1023/a:1020577811369>

- Martins, A., Mata, T. y Costa, C. (2006, 12 de enero). *Education for sustainability: challenges and trends*. Springer Link. <https://doi.org/10.1007/s10098-005-0026-3>
- Maslow, H.A. (1968). *Toward Psychology of Being*, 3rd Edition 1999. John Wiley and Sons, New York.
- Meadows, D., et al., (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books Publishers, USA.
- Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, DC
- Meeusen, W., & Van Den Broeck, J. (1977). Efficiency estimation from Cobb-Douglas production functions with composed error. *International Economic Review*, 18(2), 435-444.
- Méndez, M. (2012). *La sostenibilidad y sustentabilidad en los museos, dos enfoques principales: La museología tradicional y la nueva museología. Estudio de caso en dos museos de la provincia de pichincha*. (Tesis de nivel licenciatura, Universidad Tecnológica Equinoccial). [https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4557/1/50939\\_1.pdf](https://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/4557/1/50939_1.pdf)
- Michali, M., Emrouznejad, A., Dehnokhalaji, A., & Clegg, B. (2021). Noise-pollution efficiency analysis of European railways: A network DEA model. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*.
- Migration Policy. (2023). *Resumen del sector: Manufactura, implicaciones para el capital humano y la migración*. <https://www.migrationpolicy.org/research/resumen-del-sector-manufactura-implicaciones-para-el-capital-humano-y-la-migraci-n>
- Moldan, B., Janousková, S. y Hák, T. (2012). *How to understand and measure environmental sustainability: Indicators and targets*. *Ecological Indicators*. 17(1), 4-13. Recuperado de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X11001282>
- Moll de Alba J y Todorov V (2022). Measuring and benchmarking the green industrial performance of countries and economies: the GIP index, Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series, Working Paper 1/2022, UNIDO, Vienna
- Moll de Alba J y Todorov V (2018a). How green is manufacturing? status and prospects of national green industrialization the case of morocco. *Int J Innov Sustain Develop*, 12(3), 308–326. <https://doi.org/10.1504/IJISD.2018a.091519>
- Moll de Alba J, Todorov V (2018b). Green industrial performance: the GIP index. *World Rev Sci Technol Sustain Develop* 14(2–3), 266–293. <https://doi.org/10.1504/WRSTSD.2018.093223>
- Moll de Alba J, Todorov V (2020a). A longitudinal study of green industrial performance for the period 2000–2015. *World Rev Entrep Manag Sustain Develop*, 16(2), 204–227. <https://doi.org/10.1504/WREMSD.2020.105993>

Moll de Alba J, Todorov V (2020b) Measurement of green industrial performance: an enhanced GIP index. *Int J Environ Sustain Develop* 19(4), 343–366. <https://doi.org/10.1504/IJESD.2020.110636>

Momeni, E., Tavana, M., Mirzagoltabar, H., & Mirhedayatian, S. M. (2014). A new fuzzy network slacks-based DEA model for evaluating performance of supply chains with reverse logistics. *Journal Of Intelligent & Fuzzy Systems*, 27(2), 793-804. <https://doi.org/10.3233/ifs-131037>

Mousavi-Avval, S., Rafiee, S., Jafari, A., Mohammadi, A. (2011). *Optimization of energy consumption for soybean production using Data Envelopment Analysis (DEA) approach*. *Applied Energy*, 88(11), 3765–3772. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.021>

Naciones Unidas. (2022). [5 things you should know about the greenhouse gases warming the planet]. UN News. <https://news.un.org/en/story/2022/01/1109322>

NASA. (2024). *Dióxido de carbono*. Climate Change: Vital Signs of the Planet. Recuperado Enero 5, 2025, de <https://climate.nasa.gov/en-espanol/signos-vitales/dioxido-de-carbono/?intent=111>

Navarro, J.C.L. (2005). *La eficiencia del sector eléctrico en México*. UMSNH.

Navarro, J. C. L., Gómez, R., & Torres, Z. (2016). Universities in Mexico: a measure of its efficiency through data envelopment analysis with bootstrap. *Acta Universitaria*, 26(6), 60–69. <https://doi.org/10.15174/au.2016.911>

Navarro, J.C.L., Torres Z. (2003). *Eficiencia técnica y asignativa del sector eléctrico en México en su fase de distribución: Un análisis através de los modelos de frontera DEA*. UMSNH.

Nijkamp P., van den Bergh, C., y Soeteman F. (1990). Regional Sustainable Development and Natural Resource Use. *The World Bank Economic Review*, 4(1), 153–188, [https://doi.org/10.1093/wber/4.suppl\\_1.153](https://doi.org/10.1093/wber/4.suppl_1.153)

O'Donnell, C., D. Rao y G. Battese (2008). Metafrontier Frameworks for the Study of Firm-Level Efficiencies and Technology Ratios. *Empirical Economics*, 34(1), 231-255. DOI 10.1007/s00181-007-0119-4

Oncoy, V. (2018). *Diccionario de investigación científica*. Universidad Nacional de ANCASH “Santiago Antúnez de Mayolo

Önüt, S. y Soner, S. (2006). *Energy efficiency assessment for the Antalya Region hotels in Turkey*. *Energy and Buildings*, 38(8), 964–971. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.11.006>

OCDE, (2008). *Measuring Sustainable Development: Report of the Joint Working Party on Statistics for Sustainable Development*. Annual Meeting of Sustainable Development Experts (AMSDE), Paris.

OCDE. (2022). *Investment (GFCF)*. Recuperado Enero 5, 2025, de <https://www.oecd.org/en/data/indicators/investment-gfcf.html?oecdcontrol-00b22b2429-var3=2024>

ONU. S.f. *Desarrollo sostenible*. <https://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml#:~:text=Se%20define%20%C2%ABel%20desarrollo%20sostenible,para%20satisfacer%20sus%20propias%20necesidades%C2%BB>.

ONU, (2002). Informe de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible. Johannesburgo, Sudáfrica, 26 de agosto a 4 de septiembre de 2002. United Nations, New York.

ONU, (2010). *The Millennium Development Goals Report 2010*. United Nations, New York.

ONU, (2015). *The Millennium Development Goals Report 2015*. United Nations, New York.

ONU, (2015). *United Nations Millennium Development Goals*. Un.org. <https://www.un.org/millenniumgoals/envIRON.shtml>

Ortiz, F., García M. y Pilar, M- (2002). *Metodología de la investigación: el proceso y sus técnicas*. Limusa.

PAGE (Partnership for Action In Green Economy) (2017a). *The green economy progress measurement framework – Methodology*

PAGE, (2017b). *The green economy progress framework – Application*

Planas, I. (2008). Principales mecanismos de evaluación económica de políticas públicas. *Revista de Evaluación de Políticas Públicas*, 5(2), 45-60. Recuperado de [https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Planas/publication/28125724\\_Principales\\_mecanismos\\_de\\_evaluacion\\_economica\\_de\\_politicas\\_publicas/links/6419b615315dfb4cce9a2206/Principales-mecanismos-de-evaluacion-economica-de-politicas-publicas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Ivan-Planas/publication/28125724_Principales_mecanismos_de_evaluacion_economica_de_politicas_publicas/links/6419b615315dfb4cce9a2206/Principales-mecanismos-de-evaluacion-economica-de-politicas-publicas.pdf)

Plataforma de conocimiento sobre el Crecimiento Sostenible (GGKP). (2013) *moving towards a common approach on green growth indicators, a green growth knowledge platform scoping paper*, Recuperado de <http://www.oecd.org/greengrowth/GGKP%20Moving%20towards%20a%20Common%20Approach%20on%20Green%20Growth%20Indicators%5B1%5D.pdf>

Porter, M. (1997). *Ventaja Competitiva, Creación y Sostenimiento de un Desempeño Superior*. CECSA.

Prescott-Allen, R. (2001). *The wellbeing of nations. In: A Country-by-Country Index of Quality of Life and the Environment*. Island Press.

Prokopenko, J. (1991). *La gestión de la productividad*. Limusa.

Quintanilla, M. (1989). *Un Programa de Filosofía de La Tecnología* (Veinte Años Después).

R Core Team (2025). *\_R: A Language and Environment for Statistical Computing\_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <<https://www.R-project.org/>>.

Redalyc. (2023). *Incidencia del crecimiento económico del sector manufacturero sobre el Producto Interno Bruto en Ecuador*. <https://www.redalyc.org/journal/290/29059356014/html/>

Ren, C., Li, R., Guo, P. (2016). *Two-Stage DEA Analysis of Water Resource Use Efficiency*. Sustainability, 9(1), 52. <https://doi.org/10.3390/su9010052>

Richter, F. (2024, December 2). China is the world's manufacturing superpower. *Statista Daily Data*. <https://www.statista.com/chart/20858/top-10-countries-by-share-of-global-manufacturing-output/>

Rockström, J., et al., (2009). *Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity*. Ecology and Society 14 (2), 32.

Rodríguez, C. (2008). Developing Economies and the Asia-Pacific Economic Cooperation Forum-Apec: Intrabloc Trade and Attraction of Foreign Direct Investment from the Region. *Journal of Economics, Finance and Administrative Science*, 13(24), 81–111. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=360733604005>

Rojas, R. (1993). *Guía para realizar investigaciones sociales* (12<sup>ava</sup> ed.). Plaza y valdes.

Roldán, P. (2020, 1 de marzo). *Capital*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/capital.html>

Safeguard Global. (2024). Top 10 manufacturing countries in the world in 2024. Recuperado Enero 6, 2025, de <https://www.safeguardglobal.com/es/resources/top-10-manufacturing-countries-in-the-world/#:~:text=1.,volumen%20de%20producci%C3%B3n%20industrial%20mundial>

Sampieri, R. (2014). *Metodología de la investigación* (6<sup>a</sup> ed.). McGraw-Hill Education.

Sanchis Palacio, J. R., & Rodríguez Pérez, S. (2021). Responsabilidad social y cooperativismo. El Fondo de Educación y Promoción (FEP) como indicador social en el caso del cooperativismo de crédito.

Sanhueza Hormazábal, R. (2003). Fronteras de eficiencia, metodología para la determinación del valor agregado de distribución. Pontificia Universidad Católica de Chile.

Secretaría de Economía [SE]. S.f. *Factores de producción*. <http://www.2006-2012.economia.gob.mx/economia-para-todos/abc-de-economia/8357-factores-de-produccion>

Seiford, L. M., & Zhu, J. (2002). Modeling undesirable factors in efficiency evaluation. *European Journal of Operational Research*, 142(1), 16-20.

Sengupta, J. y Sahoo, B. (2006). Efficiency Models in Data Envelopment Analysis – Techniques of Evaluation of Productivity of Firms in a Growing Economy. Palgrave MacMillan Basingstoke, England and New York.

Serrano-Coll, V. (2019). Una introducción al análisis envolvente de datos. *Revista de Métodos Cuantitativos para la Economía y la Empresa*, 28(1), 1-15. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/28>

Servicio Nacional de Aduanas. (s.f.). *Foro de Cooperación Económica de Asia Pacífico (APEC)*. Chile Aduanas Customs. Retrieved December 30, 2023, from <https://www.aduana.cl/foro-de-cooperacion-economica-de-asia-pacifico-apec/aduana/2007-02-28/103547.html#:~:text=APEC%20es%20la%20regi%C3%B3n%20econ%C3%B3micamente>

Shang, J., Wang, F., & Hung, W. (2010). A stochastic DEA study of hotel efficiency. *Applied Economics*, 42(19), 2505-2518. <https://doi.org/10.1080/00036840701858091>

Sherman, H. y Zhu, J. (2013). Analyzing performance in service organizations. *MIT Sloan Management Review*, Summer2013, 54(4), 37-42.

Silva, F. J. C., Melo, R. S., & Medeiros, D. D. (2021). Análise das eficiências dos Ecopontos da cidade de Fortaleza no Ceará pelo modelo DEA SBM orientado a output. *Semanticscholar*. <https://www.semanticscholar.org/paper/d8d208c5e131324b1382f070a1e949bd1b917452>

Simoës, P., da Cruz, N. y Marques, R. (2012). *The performance of private partners in the waste sector*. *Journal of Cleaner Production*, 29-30(1), 214–221. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.01.027>

Smith, A. (1776/2018). *La riqueza de las naciones*. Editorial Skla.

Smith, K. (1951). *The Malthusian Controversy*. Reprinted by Routledge, 2006. Oxon, Great Britain.

Sözen, A., Alp, I. (2009). Comparison of Turkey's performance of greenhouse gas emissions and local/regional pollutants with EU countries. *Energy Policy*, 37(12), 5007–5018. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.06.069>

Statista. (2023). *México: participación del sector manufacturero en el PIB 2007-2022*. <https://es.statista.com/estadisticas/596877/participacion-del-sector-manufacturero-en-pib-mexico/>

Statista Research Department. (2024, November 1). *La industria manufacturera en México – Datos estadísticos*. Statista. Recuperado January 5, 2025, de <https://es.statista.com/temas/7853/la-industria-manufacturera-en-mexico/>

Stieglitz, J.E., Sen, A., Fitoussi, J.-P. (2009). Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.

Sueyoshi, T., & Goto, M. (2011). DEA approach for unified efficiency measurement: Assessment of Japanese fossil fuel power generation. *Energy Economics*, 33(2), 292-303. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2010.07.006>

Sueyoshi, T., & Goto, M. (2012). DEA environmental assessment of coal-fired power plants: Methodological comparison between radial and non-radial models. *Energy Economics*, 34(6), 1854-1863.

Sueyoshi, T. y Goto, M. (2011). Methodological comparison between two unified (operational and environmental) efficiency measurements for environmental assessment. *European Journal of Operational Research*, 210(3), 684-693. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.10.030>

Sueyoshi, T., & Goto, M. (2019). DEA Non-Radial Approach for Resource Allocation and Energy Usage to Enhance Corporate Sustainability in Japanese Manufacturing Industries. *Energies*, 12(9), 1785. <https://doi.org/10.3390/en12091785>

Sueyoshi, T., Ryu, Y., & Goto, M. (2020). Operational Performance of Electric Power Firms: Comparison between Japan and South Korea by Non-Radial Measures. *Energies*, 13(15), 3968. <https://doi.org/10.3390/en13153968>

Sumanth, D. (1990), *Ingeniería y administración de la productividad*. México, McGraw-Hill.

Tali, A. M. (2017). Efficiency Evaluation through Radial and Non-Radial Measures in DEA Networking Processes (Tesis doctoral, Pondicherry University).

Tavares R. y Varela R. (2019). *La demanda de empleo en la industria manufacturera de México*. *Contaduría y administración*, 64(1), 12-30. <https://doi.org/10.22201/fca.24488410e.2018.1286>

Thanassoulis, E. (2001). *Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis, A foundation text with integrated software*. England: Springer, Birmingham.

Thompson, A. (2021). Sustainable practices in manufacturing: The role of green technologies. *ScienceDirect*.

UNCED (1992). *Rio Declaration on Environment and Development, Report of the United Nations Conference on Environment and Development*, August 12, 1992, A/CONF.151/26 (Vol.1).

UNEP (2011) *Towards a green economy. Pathways to Sustainable Development and Poverty Eradication: A Synthesis for Policy Makers*, recuperado de [www.unep.org/greeneconomy](http://www.unep.org/greeneconomy)

UNIDO (2017). *Competitive Industrial Performance Report 2016*. Volume I. Vienna

UNIDO (2019). *Competitive Industrial Performance Report 2018*. Biennial CIP report, edition 2018. Vienna

UNIDO (2020a). *Industrialization as the driver of sustained prosperity*. Vienna

UNIDO (2020b). *Coronavirus: the economic impact – 21 October 2020b. Recovery or protracted economic downturn? The role of policies based on evidence*. UNIDO Brief

UNIDO (2022a). INDSTAT 4 Industrial statistics database at 3- and 4-digit level of ISIC Revision 3 and 4. Vienna. Available from <http://stat.unido.org>.

UNIDO (2022c) National accounts database. Vienna. Available from <http://stat.unido.org>.

United Nations Industrial Development Organization (UNIDO) (2011). *UNIDO Green Industry Initiative for Sustainable Development*. Vienna, Austria, retrieved from [https://www.greenindustryplatform.org/sites/default/files/downloads/resource/Green\\_Industry\\_Initiative\\_for\\_Sustainable\\_Development\\_UNIDO.pdf](https://www.greenindustryplatform.org/sites/default/files/downloads/resource/Green_Industry_Initiative_for_Sustainable_Development_UNIDO.pdf)

United Nations statistics division (2022). UN COMTRADE. New York [online] <https://comtrade.un.org/>

University of Groningen. (2021, 18 de junio). Pen World Table version 10.0. <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>

University of Groningen. (2021). Penn World Table version 10.0 [Base de datos]. <https://www.rug.nl/ggdc/productivity/pwt/?lang=en>

Valenzuela, D. (2023). El trabajo, el capital y el cambio tecnológico como determinantes de la productividad. Un estudio de política pública para las economías de América Latina, 1990-2019. (Tesis de maestría, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo)

Vasconcelos, F. N. S. L., Mello, J. C. C. B. S., & Angulo-Meza, L. (2018). Aplicação do modelo DEA na análise de eficiência dos portos do Nordeste do Brasil.

Villamizar, F. (s.f.). *¿Desarrollo sostenible? o ¿sustentable?*. (s.c)

Viso, A. (2005). *Sostenibilidad y gobernanza*. *Arbor*, 181(715), 317–331. <https://doi.org/10.3989/arbor.2005.i715.415>

Wackernagel, M. y Rees, W. (1995). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, Gabriola Island, BC.

Waldron, M., Jordan, C. y Deluca, R. (2005). Data envelopment analysis as a benchmarking tool. *Oil, Gas & Energy Quarterly*, 53(3), 593.

Wang, B., Gebreslassie, B., You, F. (2013). Sustainable design and synthesis of hydrocarbon biorefinery via gasification pathway: Integrated life cycle assessment and technoeconomic analysis with multiobjective superstructure optimization. *Computers & Chemical Engineering*, 52(1), 55–76. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2012.12.008>

Wang, C., Tibo, H., Duong, D. (2020). Renewable Energy Utilization Analysis of Highly and Newly Industrialized Countries Using an Undesirable Output Model. *Energies*, 13(10), 2629. <https://doi.org/10.3390/en13102629>

Wang, C., Yang, F., Vo, N. T. M., & Nguyen, V. T. T. (2023). Enhancing Lithium-Ion Battery Manufacturing Efficiency: A Comparative Analysis Using DEA Malmquist and Epsilon-Based Measures. *Batteries*, 9(6), 317. <https://doi.org/10.3390/batteries9060317>

Wee, D. (2023, 13 de abril). *El futuro de la manufactura es ahora: cuatro tendencias que dan forma a la industria*. Microsoft News. <https://news.microsoft.com/es-xl/cuatro-tendencias-que-dan-forma-a-la-industria-de-la-manufactura/>

World Bank (2006). *Where is the Wealth of Nations? Measuring Capital for the 21st Century*. WB, Washington, D.C.

World Bank (2012). *Inclusive Green Growth: The Pathway to Sustainable Development*. World Bank, Washington D.C.

Yu S. (2019). Benchmarking and performance evaluation towards the sustainable development of regions in Taiwan: A minimum distance-based measure with undesirable outputs in additive DEA. *Social Indicators Research*, 144(3), 1323–1348.

Yu, X. (2023). An assessment of the green development efficiency of industrial parks in China: Based on non-desired output and non-radial DEA model. *Structural Change And Economic Dynamics*, 66, 81-88. <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2023.04.010>

Yu, Y., Zhu, W., Shi, Q. y Zhang, Q. (2016). Network-like DEA approach for environmental assessment: Evidence from U.S. manufacturing sectors. *Journal of Cleaner Production*, 139(1), 277–286. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.052>

Zeleny, M. (2010). Strategy as action: From Porter to anti-Porter. *International Journal of Strategic Decision Sciences*, 1(1), 1–22. <http://dx.doi.org/10.4018/jsds.2010103001>

Zhou, P., Ang, B. y Poh, K., (2008b). A survey of data envelopment analysis in energy and environmental studies. *European Journal of Operational Research*. 189(1), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.04.042>

Zhou, P., Ang, B. y Poh, K. (2008a). Measuring environmental performance under different environmental DEA technologies. *Energy Economics*, 30(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2006.05.001>

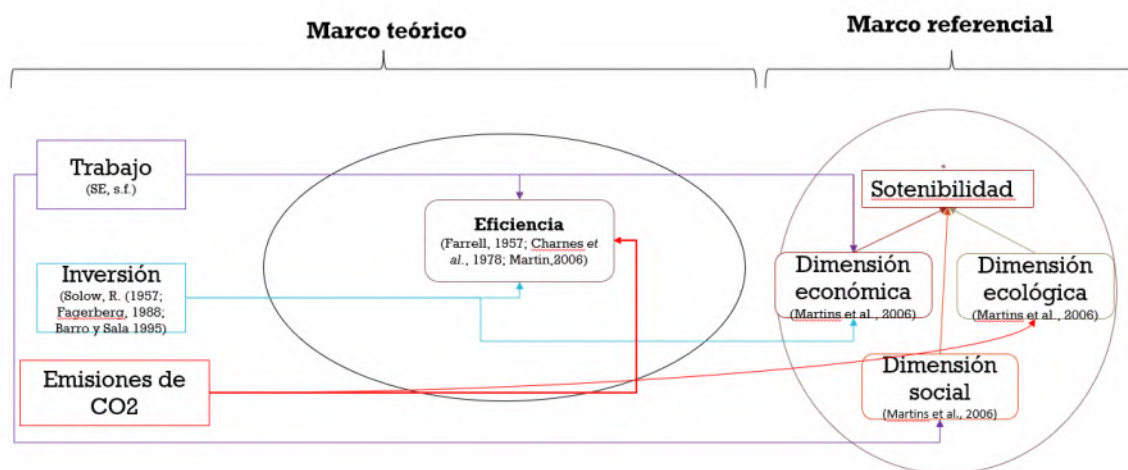
Zhou, P., Poh, K. L., & Ang, B. W. (2007). A non-radial DEA approach to measuring environmental performance. *European Journal Of Operational Research*, 178(1), 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.04.038>

Zhu, Q., Sarkis, J. y Lai, K.-H., (2008). Confirmation of a measurement model for green supply chain management practices implementation. *International Journal of Production Economics*, 3(2), 261–273. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.11.029>

Zhu, Q., Sarkis, J., & Geng, Y. (2005). Green supply chain management in China: pressures, practices and performance. *International Journal of Operations & Production Management*, 25(5), 449-468. <https://doi.org/10.1108/01443570510593148>

## ANEXOS

### ANEXO 1 Diagrama sagital



Fuente: Elaboración propia con base a la literatura revisada.

**ANEXO 2 Tabla 7.1.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia radial con variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.8489 | 0.8584 | 0.8936 | 0.8553 | 0.8490 | 0.8659 | 0.8666 | 0.8658 | 0.8503 | 0.8973 | 0.9085 | 0.8981 | 0.8909 | 0.9051 | 0.9105 | 0.9280 | 0.9061 | 0.9043 | 0.9022 | 0.8999 | 0.8489 | 0.8584 | 0.8936 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 1.0000 | 0.9781 | 0.9613 | 0.9214 | 0.9224 | 0.9220 | 0.9111 | 0.9145 | 0.9377 | 0.9233 | 0.9123 | 0.9118 | 0.9223 | 0.9305 | 0.9413 | 0.9142 | 0.9082 | 0.9029 | 0.8961 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9781 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| JAPÓN              | 0.9950 | 0.9658 | 0.9479 | 0.9550 | 0.9784 | 0.9809 | 0.9918 | 1.0000 | 0.9967 | 0.9754 | 0.9880 | 0.9768 | 0.9793 | 0.9776 | 0.9783 | 0.9871 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9876 | 0.9789 | 0.9950 | 0.9658 | 0.9479 |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024)

**ANEXO 3 Tabla 7.1.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5980 | 0.6440 | 0.6031 | 0.6050 | 0.5627 | 0.5661 | 0.5518 | 0.5869 | 0.6220 | 0.6093 | 0.6231 | 0.6615 | 0.6578 | 0.6483 | 0.6220 | 0.5920 | 0.5799 | 0.5888 | 0.5331 | 0.5323 | 0.5395 | 0.4852 | 0.4537 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 1.0000 | 0.9088 | 0.8597 | 0.7714 | 0.7370 | 0.7102 | 0.6840 | 0.6924 | 0.7156 | 0.6943 | 0.6921 | 0.6981 | 0.7045 | 0.7046 | 0.7234 | 0.6716 | 0.6808 | 0.6543 | 0.6531 | 0.6480 | 0.6464 | 0.6362 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.8820 | 0.8477 | 0.7960 | 0.8380 | 0.8633 | 0.8798 | 0.9473 | 1.0000 | 0.9775 | 0.8752 | 0.9422 | 0.9024 | 0.9025 | 0.8740 | 0.8724 | 0.9212 | 0.9589 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9191 | 0.8637 |
| NUEVA ZELANDA      | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024)

**ANEXO 4 Tabla 7.2.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial con variables ambientales**

| DMU'S     | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     | 0.6433 | 0.6948 | 0.7013 | 0.8239 | 0.9021 | 0.9985 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9881 | 0.9204 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 |
| INDONESIA | 0.8602 | 0.8556 | 0.8623 | 0.8349 | 0.7765 | 0.7964 | 0.7185 | 0.7001 | 0.7722 | 0.7680 | 0.6833 | 0.6687 | 0.7470 | 0.8816 | 0.8632 | 0.8469 | 0.8868 | 0.8798 | 0.8216 | 0.7536 | 0.7718 | 0.7826 | 0.7874 |
| MALASIA   | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9637 | 0.9947 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9380 | 0.9453 | 0.9556 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9997 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |
| MÉXICO    | 0.9539 | 0.9671 | 0.9525 | 0.9551 | 0.9480 | 0.9488 | 0.9352 | 0.9406 | 0.9375 | 0.9800 | 0.9541 | 0.9428 | 0.9623 | 0.9615 | 0.9760 | 0.9674 | 0.9751 | 0.9686 | 0.9893 | 0.9714 | 0.9647 | 0.9897 | 1.0000 |
| PERÚ      | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9844 | 0.9862 | 0.9774 | 0.9768 | 0.9964 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9823 | 1.0000 | 0.9946 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9949 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| RUSIA     | 0.6771 | 0.6593 | 0.8747 | 0.7743 | 0.7680 | 0.8630 | 0.8025 | 0.7409 | 0.6879 | 0.5888 | 0.5690 | 0.5625 | 0.5294 | 0.5141 | 0.5134 | 0.6071 | 0.5829 | 0.6011 | 0.6402 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| TAILANDIA | 0.8762 | 0.8640 | 1.0000 | 0.9650 | 0.8656 | 0.8421 | 0.8326 | 0.9064 | 0.9019 | 0.9649 | 0.8814 | 0.8782 | 0.8851 | 1.0000 | 0.9953 | 0.9313 | 0.9524 | 0.9535 | 0.9109 | 0.9431 | 1.0000 | 0.9960 | 0.9999 |
| VIETNAM   | 1.0000 | 0.6307 | 0.5327 | 0.5127 | 0.5062 | 0.5802 | 0.6461 | 0.6911 | 0.8062 | 0.8361 | 0.6039 | 0.9405 | 0.9599 | 0.9502 | 1.0000 | 0.8913 | 0.9172 | 0.9383 | 0.9673 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024)

**ANEXO 5 Tabla 7.2.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) con variables ambientales**

| DMU'S      | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA      | 0.5991 | 0.6246 | 0.6220 | 0.6664 | 0.6929 | 0.7056 |        | 1.0000 |        | 0.6990 | 0.6859 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| INDONESIA  | 0.7066 | 0.7229 | 0.7043 | 0.6980 | 0.6192 | 0.5751 | 0.5797 | 0.5965 | 0.5641 | 0.5180 | 0.4294 | 0.4347 | 0.4412 | 0.5270 | 0.5338 | 0.5578 | 0.6079 | 0.6781 | 0.6270 | 0.6038 | 0.6018 | 0.5891 | 0.5861 |
| MALASIA    | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7050 | 0.7068 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.7621 | 0.8037 | 0.8268 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.7678 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| MÉXICO     | 0.5543 | 0.6100 | 0.5750 | 0.7226 | 0.5714 | 0.5624 | 0.5424 | 0.5176 | 0.4924 | 0.6484 | 0.5569 | 0.5418 | 0.5542 | 0.6191 | 0.6476 | 0.6604 | 0.6842 | 0.7068 | 0.7153 | 0.7133 | 0.7505 | 0.7997 | 1.0000 |
| PERÚ       | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8658 | 0.9343 | 0.9125 | 0.8628 | 0.9776 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS  | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.8712 | 1.0000 | 0.8621 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.6773 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 |
| RUSIA      |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|            | 0.6242 | 0.6200 | 0.6963 | 0.6677 | 0.6589 | 0.6763 | 0.6629 | 0.6403 | 0.6274 | 0.5720 | 0.5220 | 0.5196 | 0.5363 | 0.5284 | 0.5246 | 0.5754 | 0.5625 | 0.5708 | 0.5843 | 0.5871 | 0.5982 | 0.6009 | 0.5752 |
| TAI ANDI A | 0.6757 | 0.6773 | 1.0000 | 0.8767 | 0.7073 | 0.6627 | 0.6544 | 0.7223 | 0.7625 | 0.7926 | 0.7468 | 0.7064 | 0.7536 | 1.0000 | 0.9410 | 0.7967 | 0.8080 | 0.8140 | 0.7545 | 0.7810 | 0.8491 | 0.9171 | 1.0000 |
| VIETNAM    | 0.9999 | 0.6108 | 0.5631 | 0.5430 | 0.5421 | 0.5768 | 0.6008 | 0.6395 | 0.7028 | 0.6959 | 0.5892 | 0.7197 | 0.7118 | 0.7173 | 1.0000 | 0.7656 | 0.7694 | 0.8048 | 0.7111 | 0.7389 | 0.6902 | 0.6982 | 0.7175 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024)

**ANEXO 6 Tabla 7.3.1 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales**

| DMU'S              | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5989 | 0.6310 | 0.5476 | 0.5870 | 0.5342 | 0.5431 | 0.5184 | 0.5405 | 0.5501 | 0.5133 | 0.5924 | 0.5924 | 0.5931 | 0.5346 | 0.4955 | 0.4397 | 0.4630 | 0.4698 | 0.4470 | 0.4408 | 0.4576 | 0.3899 | 0.3542 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 1.0000 | 0.9679 | 0.9369 | 0.8330 | 0.7732 | 0.7406 | 0.7337 | 0.7183 | 0.6945 | 0.6697 | 0.6697 | 0.6915 | 0.6788 | 0.6807 | 0.7017 | 0.6641 | 0.6655 | 0.6390 | 0.6424 | 0.6413 | 0.6543 | 0.6493 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.9945 | 0.9153 | 0.8571 | 0.9214 | 0.9522 | 0.9548 | 0.9744 | 0.9954 | 0.9798 | 0.9019 | 0.9489 | 0.9489 | 0.9416 | 0.9092 | 0.9128 | 0.9514 | 0.9926 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9631 | 0.9044 |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 0.9599 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.7788 | 0.8340 | 0.9064 | 0.9064 | 0.8867 | 0.8411 | 0.8900 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EUA                | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024) y MAXDEA (2024).

**ANEXO 7 Tabla 7.3.2 Eficiencias de las economías desarrolladas con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales**

| DMU's              | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| AUSTRALIA          | 0.5989 | 0.6310 | 0.5476 | 0.5870 | 0.5342 | 0.5431 | 0.5184 | 0.5405 | 0.5501 | 0.5133 | 0.5924 | 0.5924 | 0.5931 | 0.5346 | 0.4955 | 0.4397 | 0.4630 | 0.4698 | 0.4470 | 0.4408 | 0.4576 | 0.3899 | 0.3542 |
| CANADÁ             | 1.0000 | 1.0000 | 0.9679 | 0.9369 | 0.8330 | 0.7732 | 0.7406 | 0.7337 | 0.7183 | 0.6945 | 0.6697 | 0.6697 | 0.6915 | 0.6788 | 0.6807 | 0.7017 | 0.6641 | 0.6655 | 0.6390 | 0.6424 | 0.6413 | 0.6543 | 0.6493 |
| HONG KONG          | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 |
| JAPÓN              | 0.9945 | 0.9153 | 0.8571 | 0.9214 | 0.9522 | 0.9548 | 0.9744 | 0.9954 | 0.9798 | 0.9019 | 0.9489 | 0.9489 | 0.9416 | 0.9092 | 0.9128 | 0.9514 | 0.9926 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9631 | 0.9044 |        |
| NUEVA ZELANDA      | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 |
| REPÚBLICA DE COREA | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| SINGAPUR           | 1.0000 | 0.9599 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 0.7788 | 0.8340 | 0.9064 | 0.9064 | 0.8867 | 0.8411 | 0.8900 | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| EU4                | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024) y MAXDEA (2024).

**ANEXO 8 Tabla 7.4.1 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia radial sin variables ambientales**

| DMUS      | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| INDONESIA | 0.6433 | 0.6948 | 0.7013 | 0.8239 | 0.9021 | 0.9985 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9881 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| MALASIA   | 0.7121 | 0.7485 | 0.7156 | 0.7351 | 0.5835 | 0.5762 | 0.6078 | 0.6266 | 0.4982 | 0.4531 | 0.3486 | 0.3486 | 0.3529 | 0.4363 | 0.4537 | 0.4934 | 0.5672 | 0.7100 | 0.6632 | 0.6406 | 0.6264 | 0.5953 | 0.5860 |
| MEXICO    | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9637 | 0.9947 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9380 | 0.9453 | 0.9405 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9997 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| PERÚ      | 0.4366 | 0.4793 | 0.4599 | 0.6384 | 0.4357 | 0.4403 | 0.4333 | 0.3801 | 0.3452 | 0.5067 | 0.4144 | 0.4144 | 0.4169 | 0.5026 | 0.5189 | 0.5449 | 0.5654 | 0.6098 | 0.5909 | 0.6165 | 0.6693 | 0.6649 | 0.7243 |
| FILIPINAS | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9844 | 0.9332 | 0.9332 | 0.7965 | 0.9657 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| RUSIA     | 0.9682 | 0.9014 | 0.8203 | 0.6703 | 0.5944 | 0.6600 | 0.5823 | 0.5995 | 0.7098 | 0.8410 | 0.7410 | 0.7410 | 0.7145 | 0.5873 | 0.5903 | 0.4709 | 0.4099 | 0.4043 | 0.4272 | 0.3481 | 0.3558 | 0.3409 | 0.3451 |
| TAILANDIA | 0.6771 | 0.6554 | 0.8747 | 0.7743 | 0.7680 | 0.8630 | 0.8025 | 0.7409 | 0.6879 | 0.5888 | 0.4891 | 0.4891 | 0.5294 | 0.5141 | 0.5134 | 0.6071 | 0.5829 | 0.6011 | 0.6402 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| VIETNAM   | 0.5998 | 0.6085 | 0.9408 | 0.8522 | 0.7261 | 0.7630 | 0.7553 | 0.8509 | 0.7913 | 0.9317 | 0.7007 | 0.7007 | 0.8493 | 1.0000 | 0.9657 | 0.9246 | 0.9409 | 0.9348 | 0.9109 | 0.9158 | 0.9999 | 0.9960 | 0.9999 |
|           | 1.0000 | 0.6307 | 0.5292 | 0.4940 | 0.4894 | 0.5802 | 0.6255 | 0.6458 | 0.8062 | 0.8361 | 0.9405 | 0.9405 | 0.9599 | 0.9502 | 0.9999 | 0.8864 | 0.9172 | 0.9383 | 0.9673 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024) y MAXDEA (2024).

ANEXO 8 Tabla 7.4.2 Eficiencias de las economías en desarrollo con medidas de eficiencia no radial (SBM) sin variables ambientales

| DMU'S     |  | 2000   | 2001   | 2002   | 2003   | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008   | 2009   | 2010   | 2011   | 2012   | 2013   | 2014   | 2015   | 2016   | 2017   | 2018   | 2019   | 2020   | 2021   | 2022   |
|-----------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| CHINA     |  | 0.6433 | 0.6948 | 0.7013 | 0.8239 | 0.9021 | 0.9985 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9881 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 |
| INDONESIA |  | 0.7121 | 0.7485 | 0.7156 | 0.7351 | 0.5835 | 0.5762 | 0.6078 | 0.6266 | 0.4982 | 0.4531 | 0.3486 | 0.3486 | 0.3529 | 0.4363 | 0.4537 | 0.4934 | 0.5672 | 0.7100 | 0.6632 | 0.6406 | 0.6264 | 0.5953 | 0.5860 |
| MALASIA   |  | 1.0000 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9637 | 0.9947 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9380 | 0.9453 | 0.9405 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9997 | 0.9999 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 |
| MÉXICO    |  | 0.4366 | 0.4793 | 0.4599 | 0.6384 | 0.4357 | 0.4403 | 0.4333 | 0.3801 | 0.3452 | 0.5067 | 0.4144 | 0.4144 | 0.4169 | 0.5026 | 0.5189 | 0.5449 | 0.5654 | 0.6098 | 0.5909 | 0.6165 | 0.6693 | 0.6649 | 0.7243 |
| PERÚ      |  | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9844 | 0.9332 | 0.9332 | 0.7965 | 0.9657 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 1.0000 | 0.9999 | 0.9999 | 0.9999 | 1.0000 |
| FILIPINAS |  | 0.9682 | 0.9014 | 0.8203 | 0.6703 | 0.5944 | 0.6600 | 0.5823 | 0.5995 | 0.7098 | 0.8410 | 0.7410 | 0.7410 | 0.7145 | 0.5873 | 0.5903 | 0.4709 | 0.4099 | 0.4043 | 0.4272 | 0.3481 | 0.3558 | 0.3409 | 0.3451 |
| RUSIA     |  | 0.6771 | 0.6554 | 0.8747 | 0.7743 | 0.7680 | 0.8630 | 0.8025 | 0.7409 | 0.6879 | 0.5888 | 0.4891 | 0.4891 | 0.5294 | 0.5141 | 0.5134 | 0.6071 | 0.5829 | 0.6011 | 0.6402 | 0.6473 | 0.6700 | 0.6739 | 0.6232 |
| TAILANDIA |  | 0.5598 | 0.6085 | 0.9408 | 0.8522 | 0.7261 | 0.7630 | 0.7553 | 0.8509 | 0.7913 | 0.9317 | 0.7007 | 0.7007 | 0.8493 | 1.0000 | 0.9657 | 0.9246 | 0.9409 | 0.9348 | 0.9109 | 0.9158 | 0.9999 | 0.9960 | 0.9999 |
| VIETNAM   |  | 1.0000 | 0.6307 | 0.5292 | 0.4940 | 0.4894 | 0.5802 | 0.6255 | 0.6458 | 0.8062 | 0.8361 | 0.9405 | 0.9405 | 0.9599 | 0.9502 | 0.9999 | 0.8864 | 0.9172 | 0.9383 | 0.9673 | 0.9258 | 0.8494 | 0.8265 | 0.8328 |

Fuente: Elaboración propia con software R-studio (2024) y MAXDEA (2024).

# Erika Andrea Ruiz Reyes

## Factores determinantes de la eficiencia en la industria manufacturera de las economías del APEC, 200

 Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trnoid::3117:478504766

Fecha de entrega

5 ago 2025, 8:22 a.m. GMT-6

Fecha de descarga

5 ago 2025, 8:26 a.m. GMT-6

Nombre de archivo

Factores determinantes de la eficiencia en la industria manufacturera de las economías del APEC....pdf

Tamaño de archivo

2.2 MB

190 Páginas

52.738 Palabras

292.601 Caracteres

## 26% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Fuentes principales

- 25%  Fuentes de Internet
- 17%  Publicaciones
- 0%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**  
12 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.
-  **Texto oculto**  
395 caracteres sospechosos en N.º de páginas  
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



RUIZ REYES ERIKA ANDREA.docx

27/03/2025

# 78b44c20-0b4b-11f0-abf3-3b58c8922605

Semejanza: 11.4% Riesgo: probable

## Resumen del informe



Advertencia: Documentos han sido encontrados en Internet, donde 60% o más de su contenido coincide con el texto que ha enviado a Plagium. Hay una posibilidad de que el contenido ha sido plagiado o reutilizados para otros fines. Le recomendamos que compruebe los resultados.

| Página | Similarity |
|--------|------------|
| 1      | 39.4%      |
| 2      | 20.1%      |
| 3      | 35.7%      |
| 5      | 35.4%      |
| 6      | 41.7%      |
| 7      | 43.6%      |
| 8      | 36.3%      |
| 9      | 8.6%       |
| 10     | 82.1%      |
| 11     | 9.9%       |
| 12     | 6.6%       |
| 13     | 4.6%       |
| 14     | 5.0%       |
| 15     | 3.0%       |
| 18     | 6.9%       |
| 19     | 3.5%       |
| 20     | 1.1%       |
| 21     | 5.7%       |
| 23     | 7.1%       |
| 24     | 3.0%       |
| 25     | 7.9%       |
| 26     | 23.9%      |
| 27     | 40.0%      |
| 28     | 9.4%       |

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



A quien corresponda,

Por este medio, quien abajo firma, bajo protesta de decir verdad, declara lo siguiente:

- Que presenta para revisión de originalidad el manuscrito cuyos detalles se especifican abajo.
- Que todas las fuentes consultadas para la elaboración del manuscrito están debidamente identificadas dentro del cuerpo del texto, e incluidas en la lista de referencias.
- Que, en caso de haber usado un sistema de inteligencia artificial, en cualquier etapa del desarrollo de su trabajo, lo ha especificado en la tabla que se encuentra en este documento.
- Que conoce la normativa de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, en particular los Incisos IX y XII del artículo 85, y los artículos 88 y 101 del Estatuto Universitario de la UMSNH, además del transitorio tercero del Reglamento General para los Estudios de Posgrado de la UMSNH.

| Datos del manuscrito que se presenta a revisión |                                                                                                                                                                                      |                                          |
|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>Programa educativo</b>                       | Maestría en Ciencias en Negocios Internacionales                                                                                                                                     |                                          |
| <b>Título del trabajo</b>                       | Factores determinantes de la eficiencia en la industria manufacturera de las economías del APEC, 2000-2022. Un estudio a través del DEA radial y no radial con variables ambientales |                                          |
|                                                 | <b>Nombre</b>                                                                                                                                                                        | <b>Correo electrónico</b>                |
| <b>Autor/es</b>                                 | Erika Andrea Ruiz Reyes                                                                                                                                                              | 1509975d@umich.mx                        |
| <b>Director</b>                                 | José César Lenin Navarro Chávez                                                                                                                                                      | cesar.navarro@umich.mx                   |
| <b>Codirector</b>                               |                                                                                                                                                                                      |                                          |
| <b>Coordinador del programa</b>                 | Mario Gómez Aguirre                                                                                                                                                                  | mae.cs.negocios.internacionales@umich.mx |

| Uso de Inteligencia Artificial |                    |                    |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b>Rubro</b>                   | <b>Uso (sí/no)</b> | <b>Descripción</b> |
| Asistencia en la redacción     | No                 |                    |

# Formato de Declaración de Originalidad y Uso de Inteligencia Artificial

Coordinación General de Estudios de Posgrado  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



| Uso de Inteligencia Artificial             |             |             |
|--------------------------------------------|-------------|-------------|
| Rubro                                      | Uso (sí/no) | Descripción |
| Traducción al español                      | No          |             |
| Traducción a otra lengua                   | No          |             |
| Revisión y corrección de estilo            | No          |             |
| Análisis de datos                          | No          |             |
| Búsqueda y organización de información     | No          |             |
| Formateo de las referencias bibliográficas | No          |             |
| Generación de contenido multimedia         | No          |             |
| Otro                                       | No          |             |

| Datos del solicitante |                                          |
|-----------------------|------------------------------------------|
| Nombre y firma        | Erika Andrea Ruiz Reyes                  |
| Lugar y fecha         | Morelia, Michoacán a 18 de julio de 2025 |