

Tesis Doctoral

**ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA y
PRODUCTIVIDAD EN PAÍSES OTAN DESDE
UNA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA DE LA
DEFENSA: EL CASO DE ESPAÑA**

Doctoranda: MÓNICA DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ

PROGRAMA DE DOCTORADO INTERUNIVERSITARIO EN ECONOMÍA-DEcIDE

Directores: Dr. Juan Aparicio Baeza

Dr. Antonio Fonfría Mesa

AÑO 2022

Tesis Doctoral



ESTIMACIÓN Y ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA y PRODUCTIVIDAD EN PAÍSES OTAN DESDE UNA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA DE LA DEFENSA: EL CASO DE ESPAÑA*

Doctoranda: **MÓNICA DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ**

PROGRAMA DE DOCTORADO INTERUNIVERSITARIO EN ECONOMÍA-DEcIDE

Directores: Dr. Juan Aparicio Baeza

Dr. Antonio Fonfría Mesa

AÑO 2022

* Esta tesis ha sido parcialmente subvencionada por el proyecto PID2019-105952GB-I00 financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación/ Agencia Estatal de Investigación /10.13039/501100011033.

D. JUAN APARICIO BAEZA, Doctor en Matemáticas, Catedrático de Universidad y director del Instituto Universitario de Investigación “Centro de Investigación Operativa” de la Universidad Miguel Hernández de Elche, y D. ANTONIO FONFRÍA MESA, Doctor en Ciencias Económicas y Empresariales y director de la cátedra de la Universidad Complutense de Madrid, Departamento de Economía Aplicada, como directores de la tesis.

CERTIFICAN:

Que durante el desarrollo de la tesis, *Estimación y análisis de la eficiencia y productividad en países OTAN desde una perspectiva de la economía de la defensa: El caso de España*, la doctoranda Dña. MÓNICA DOMÍNGUEZ SÁNCHEZ, ha adquirido las habilidades y competencias necesarias para poder abordar la medición de la eficiencia y productividad desde una doble perspectiva; por una parte, desde la orientación investigadora con toda su secuencia metodológica y, por otra, desde el análisis de la eficiencia/productividad en países de la OTAN e Índice de Paz Global, junto al análisis de la productividad de los sectores industriales de la defensa en España (periodo 2010-2017), mediante el Análisis Envolvente de Datos, planteando un objetivo novedoso, estratégico y proponiendo medidas que favorecen a los países de la OTAN y a la Industria de la defensa en general.

Al existir pocos estudios a este respecto, la tesis no constituye un cierre de la investigación, sino un punto de inicio, ya que abre la metodología de análisis a otras fases del proceso. Esta tesis ha dado lugar a los trabajos siguientes:

- 1º. *Evaluación de la eficiencia de los países miembros de la OTAN desde la perspectiva de la economía de la defensa en el periodo 2010-2017. (Revista Oficial de la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO). Boletín de Estadística e Investigación Operativa (BEIO). 2021, Vol.37, No 3, pp 183- 207.*
- 2º. *Economía de la Defensa: Evaluación del cambio en la productividad en países de la OTAN en el periodo 2010-2017 (en evaluación).*
- 3º. *Medición de la productividad de la industria de la defensa española 2010-2017. Publicado como Domínguez Sánchez, M. and Fonfría, A. (2022). Measuring Productivity of the Spanish Defence Industry. Defence and Peace Economics, 1-19. DOI:[10.1080/10242694.2022.2053369](https://doi.org/10.1080/10242694.2022.2053369)*

Y en cumplimiento de las exigencias de la legislación vigente, constituye su tesis para optar al Grado de Doctora por la Universidad Nacional de Educación a Distancia. Y para que conste a los efectos oportunos, se autoriza la presentación de la tesis doctoral, ante la comisión de Doctorado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, Programa de Doctorado Interuniversitario en Economía, (DEcIDE), en Madrid a 6 de junio de dos mil veintidos.

Fdo.- Juan Aparicio Baeza

Fdo.: Antonio Fonfría Mesa

AGRADECIMIENTOS

En este tiempo dedicado a la realización de esta tesis, solamente falta de mencionar en estas líneas a las personas y organismos, a los que debo agradecer que este trabajo haya podido llegar a su finalización.

En primer lugar, al Catedrático D. Juan Aparicio Baeza, y al Doctor D. Antonio Fonfría Mesa, mis Directores de tesis , ambos compañeros en este recorrido tan especial en mi vida. Mi más sincero agradecimiento por estar siempre disponibles, y por todo el tiempo que han dedicado a este trabajo, por transmitirme rigor y exigencia, por motivarme y apoyarme tanto a nivel profesional como personal. Espero seguir compartiendo profesión con ellos, aprendiendo de su experiencia docente e investigadora muchos años más.

Mi agradecimiento a todo el cuerpo docente y administrativo de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Nacional de Educación a Distancia, a la que pertenezco, así como a la Universidad de Murcia con su programa DEcIDE, por lo que han puesto a mi disposición, métodos y material necesario para el desarrollo de esta tesis.

Mi más sincero agradecimiento a mis padres por el gran apoyo tanto efectivo como económico, en especial a mi padre e incansable pedagogo, a lo largo de mi vida por confiar en mí, y darme fuerzas para ir escalando en mis etapas, tanto de la vida, como en la parte académica y llegar a este escalón profesional tan interesante.

A todos ellos muchas gracias.

Con todo mi cariño.

Mónica.

*Dedico esta Tesis a mis padres,
por ser mi apoyo incombustible toda mi vida.
Por ser mis consejeros, mis pilares y mis referentes
que me ayudaron a forjarme como persona y profesional,
y me motivaron incansablemente para alcanzar mis anhelos*

*Con Amor, vuestra hija
Mónica*

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CONTENIDOS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE ACRÓNIMOS	xi
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Delimitación del problema de investigación	4
1.2. Objetivos del trabajo de investigación	5
1.3. Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN)	6
1.4. Índice de Paz Global	8
1.5. Ministerio de Defensa Español.....	10
1.6. Industria de la Defensa española	12
1.7. Marco Teórico de la Eficiencia y Productividad.....	12
1.8. Metodología para medir la eficiencia	13
1.9. Metodología para medir la productividad.....	17
1.10. Métodos para la selección y cálculo de las variables utilizadas	20
CAPÍTULO II.....	23
EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PAÍSES MIEMBROS DE LA OTAN DESDE UNA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA DE DEFENSA.....	23
1. Introducción	23
2. Revisión de la literatura	26
3. Metodología y descripción de datos	26
3.1. Análisis envolvente de datos (DEA).....	27
3.2. Índice de paz global (GPI).....	32
3.3. Selección de variables.....	32
4. Resultados	37
5. Discusión	42
6. Conclusiones	44
CAPÍTULO III	46
ECONOMÍA DE LA DEFENSA: EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD EN PAÍSES DE LA OTAN EN EL PERIODO 2010-2017	46
1. Introducción	46
2. Revisión de la Literatura	48
3. Metodología.....	50
4. Índice de Paz Global (GPI).....	55
5. Selección de Variables.....	56
6. Resultados	57
7. Discusión.....	63
8. Conclusiones y futuras líneas de investigación	65
CAPÍTULO IV	67
MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DE DEFENSA ESPAÑOLA.....	67
1. Introducción	67
2. Revisión de la literatura	69
3. Metodología.....	71
4. Selección de variables	77
5. Resultados	80
6. Discusión.....	84

7. Conclusiones.....	87
CAPÍTULO V.....	90
5.1. CONCLUSIONES GENERALES.....	90
5.1.1. Implicaciones de los resultados de la Investigación.....	93
5.1.2 Limitaciones del Trabajo de Investigación.....	95
5.1.3 Futuras Líneas de Investigación.....	95
5.2. Referencias Generales.....	97

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Metodologías para analizar la eficiencia y la productividad</i>	15
<i>Figura 2. Ilustración de una tecnología DEA bajo Rendimientos Variables a Escala</i>	30
<i>Figura 3. Eficiencia técnica.</i>	38
<i>Figura 4. Variables de intensidad de eficiencias técnicas (veces que un país lo toman como referencia). ...</i>	40
<i>Figura 5. Eficiencia técnica media en el periodo 2010-2017 por países.</i>	41
<i>Figura 6. Índice de Productividad de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.</i>	58
<i>Figura 7. Eficiencia Técnica de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.</i>	60
<i>Figura 8. Cambio Técnico de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	61
<i>Figura 9. Eficiencias de Escala de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.</i>	62
<i>Figura 10. Evolución de los factores del Índice de Malmquist países OTAN. 2010-2017.</i>	63
<i>Figura 11. Índice de productividad en países OTAN.2010-2017.....</i>	63
<i>Figura 12. Empleo directo nacional-internacional de los sectores industriales MINISDEF 2010-2017</i>	79
<i>Figura 13. Ventas nacionales-internacionales de los sectores industriales MINISDEF 2010-2017.....</i>	79
<i>Figura 14. Evolución de productividad en los sectores industriales, Aeronáutico-Naval-Terrestre</i>	83
<i>Figura 15. Índice de productividad de los sectores industriales del MINISDEF (medias), por pares de años 2010-2017.</i>	83

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla I. Índice de Paz Global. Instituto de Economía y Paz</i>	33
<i>Tabla II. Gastos de personal (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)</i>	34
<i>Tabla III. Gastos de equipos (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)</i>	34
<i>Tabla IV. Gastos de infraestructura (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)</i>	35
<i>Tabla V. Otros gastos (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)</i>	35
<i>Tabla VI. PIB (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)</i>	36
<i>Tabla VII. Población (millones)</i>	36
<i>Tabla VIII. Extensión de fronteras y costas</i>	37
<i>Tabla IX. Eficiencia técnica bajo el supuesto de VRS</i>	38
<i>Tabla X. Ranking de la eficiencia de los países de la OTAN 2010-2017</i>	39
<i>Tabla XI. Variables de intensidad de las eficiencias técnicas y país que lo toman como referencia</i>	39
<i>Tabla XII. País de referencia y variables de intensidad de eficiencias técnicas. Año 2010</i>	41
<i>Tabla XIII. Índice de Paz Global y Gastos en Defensa en los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	56
<i>Tabla XIV. Índice de Productividad de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	58
<i>Tabla XV. Eficiencia Técnica de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	59
<i>Tabla XVI. Cambio Técnico de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	61
<i>Tabla XVII. Eficiencias de Escala de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017</i>	62
<i>Tabla XVIII. Ventas nacionales-internacionales/empleo nacional 2010-2017</i>	78
<i>Tabla XIX. Índice de Productividad de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017</i>	80
<i>Tabla XX. Eficiencia Técnica de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017</i>	80
<i>Tabla XXI. Cambio Técnico de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017</i>	80
<i>Tabla XXII. Eficiencia de Escala de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017</i>	81
<i>Tabla XXIII. Sectores industriales que han cambiado a mejores prácticas-sectores que se mantienen actualizados-sectores que aumentan su distancia a la frontera</i>	82
<i>Tabla XXIV. Ranking de eficiencias y productividad en los sectores industriales en España 2010-2017</i>	84

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

<i>BTIDE</i>	<i>Base Tecnológica e Industrial de la Defensa Europea</i>
<i>CRS</i>	<i>Rendimientos Constantes a Escala</i>
<i>CEPA</i>	<i>Centro de Análisis de Productividad y Eficiencia</i>
<i>DEA</i>	<i>Análisis Envolvente de Datos - Data Envelopment Analysis</i>
<i>DEcIDE</i>	<i>Doctorado Interuniversitario en Economía. Programa DEcIDE</i>
<i>DGAM</i>	<i>Dirección General de Armamento y Material</i>
<i>DMU</i>	<i>Unidad tomadora de decisiones - Decisión Making Unit</i>
<i>EE.UU.</i>	<i>Estados Unidos</i>
<i>EU</i>	<i>European Unión</i>
<i>FDH</i>	<i>Free Disposal Hull</i>
<i>FF.AA.</i>	<i>Fuerzas Armadas</i>
<i>GPI</i>	<i>Global Peace Índex</i>
<i>GRAPH</i>	<i>Intenta reducir los inputs y aumentar los outputs a la vez</i>
<i>I+D</i>	<i>Innovación y Desarrollo</i>
<i>INPUT</i>	<i>Entrada/Recursos</i>
<i>IM</i>	<i>Índice de Malmquist</i>
<i>INE</i>	<i>Instituto Nacional de Estadística</i>
<i>MINISDEF</i>	<i>Ministerio de Defensa Español</i>
<i>NATO</i>	<i>North Atlantic Treaty Organization</i>
<i>OTAN</i>	<i>Organización del Tratado del Atlántico Norte</i>
<i>OCDE</i>	<i>Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico</i>
<i>OUTPUT</i>	<i>Salida/Resultados</i>
<i>PTF</i>	<i>Productividad Total de los Factores</i>
<i>PIB</i>	<i>Producto Interior Bruto</i>
<i>RPAS</i>	<i>Vehículo Aéreo no tripulado (Remotely Piloted Aircraft System)</i>
<i>SIPRI</i>	<i>Instituto Internacional de Estocolmo para la Investigación de la Paz</i>
<i>SABI</i>	<i>Sistema de Análisis de Balances Ibéricos</i>
<i>SDTIB</i>	<i>Base tecnológica e industrial de seguridad y defensa</i>
<i>UE</i>	<i>Unión Europea</i>
<i>VRS</i>	<i>Rendimientos Variables a Escala</i>

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

La reducción drástica experimentada por el gasto en defensa en los países avanzados durante las últimas décadas y las dificultades existentes para incrementar los recursos mediante el aumento de la presión fiscal y del endeudamiento, han convertido las actuaciones encaminadas a mejorar la eficiencia/productividad en el ámbito de la defensa en una prioridad de la política económica.

La presión social derivada de la forma en cómo se gestionan los recursos públicos se encuentra en el punto de mira en los últimos años. Después de la crisis de 2008, se presiona a los gestores públicos a optimizar los recursos disponibles en la Administración a niveles pre-crisis pero disponiendo de menores dotaciones económicas, forzando su eficiencia a la hora de satisfacer las necesidades existentes. Es necesario hacer ver a la sociedad que los recursos que se administran se encuentran dirigidos por gestores públicos que buscan la mayor eficacia y que los resultados que se producen están consiguiendo las metas planificadas.

Además, es inevitable recordar que la evaluación de la eficiencia/productividad en el ámbito de la defensa, requiere la consideración de características propias del mercado de defensa, en el que se incluyen la industria (oferta) y la demanda, ministerios de defensa. Ya que, las instituciones públicas realizan un proceso de producción distinto al que tiene lugar en el sector privado, y en especial el Ministerio de Defensa; derivado de su confidencialidad y secretismo. En la mayoría de los casos, existen dificultades para definir los resultados asociados a la defensa, medir su calidad y agregarlos en un índice ante la inexistencia de outputs (resultados) materiales/tangibles, no dependiendo sus efectos tanto de la cantidad de los factores productivos intrínsecos al proceso, como de otros de carácter exógeno; que escapan al control del analista (como la sensación de seguridad).

En estos casos, la utilización de la metodología requiere un tratamiento específico para adaptarse a esas circunstancias. Algunas de las principales limitaciones que nos encontramos son: la falta de estudios similares, la confidencialidad de los datos (destacar que en algunos ámbitos sí que se poseen datos agregados pero que no se permiten publicar desagregados por su nivel de confidencialidad) y la ausencia de información válida acerca de las variables para el análisis de inputs (recursos) y outputs (resultados).

En esta tesis vamos a utilizar varios enfoques. En primer lugar, trataremos de medir la eficiencia y productividad en un conjunto de países de la OTAN con respecto a la seguridad ciudadana y uso de recursos. En segundo lugar, analizaremos las ventas que realiza la industria de la defensa española a nivel nacional e internacional, con respecto a los efectos que produce en el empleo en la propia industria de la defensa española. Para ello, se utilizan métodos “frontera” no paramétricos. En este caso, los de corte transversal en los que se utiliza el Análisis Envolvente de Datos (DEA, por sus siglas en inglés) con el fin de analizar la eficiencia técnica. Por otra parte, se utilizan otros de corte longitudinal, con datos de panel y temporales (como el Índice de Malmquist), con el fin de medir el índice de productividad y su descomposición en: la eficiencia técnica o el efecto del grado de convergencia a la frontera de producción; el cambio técnico o el efecto de la innovación tecnológica materializado en el desplazamiento de la frontera de producción en los periodos de estudio y, finalmente, medir la eficiencia de escala. Para ello, los datos han sido extraídos de fuentes confiables: Gastos en defensa de los países OTAN; del resumen anual 2017 del secretario general de la OTAN, para la seguridad ciudadana; del Índice de Paz Global del Instituto de Economía y Paz, para las ventas y empleo de la industria de defensa; del Ministerio de Defensa de España y de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

En resumen, la tesis tiene como objetivo mostrar cómo podemos utilizar estos datos para desarrollar pronósticos aplicados a situaciones concretas e individualizadas, además de realizar un análisis macroeconómico de los gastos de defensa en países OTAN, hasta llegar a un análisis microeconómico de un país concreto de uno de ellos; el caso español, centrado en la industria de Defensa.

El trabajo de investigación tiene tres contribuciones en términos de aplicaciones metodológicas específicas. La tesis está estructurada en los siguientes capítulos: Capítulo I. Introducción, Capítulo II. Eficiencia OTAN, Capítulo III. Productividad OTAN, Capítulo IV. Productividad Industria Defensa española. Por último en el Capítulo V se incluyen unas conclusiones y referencias generales.

En el Capítulo I se muestran las principales ventajas e inconvenientes de las propuestas existentes en la literatura sobre la temática a estudio en esta tesis doctoral, para posteriormente realizar el análisis de eficiencia/ productividad en un sector concreto, el sector de la defensa aplicada al Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y la industria de defensa en España; donde esos factores tienen una importancia destacada, dividiendo el capítulo en:

1. Delimitaciones del problema de investigación
2. Objetivos del trabajo de investigación
3. Organización del Tratado del Atlántico Norte
4. Índice de Paz Global
5. Ministerio de Defensa Español
6. Industria de la defensa española
7. Marco teórico de la eficiencia y productividad
8. Metodología para medir la eficiencia
9. Metodología para medir la productividad
10. Métodos para la selección y cálculo de las variables utilizadas

Haremos especial hincapié en los apartados del 7 al 10, en los que nos dedicamos al estudio del concepto económico de eficiencia/productividad y las diferentes aproximaciones que se emplean para medirla. El análisis comienza con la descripción de la formulación básica de la metodología utilizada a lo largo de esta tesis y una aproximación a sus principales características, ofreciendo los argumentos que justifican su elección como una técnica apropiada para evaluar el nivel de eficiencia con el que actúan unidades productivas, que operan en el ámbito de la Economía de la Defensa.

Los Capítulos II, III y IV se desarrollan en un contexto totalmente práctico. El contenido de dichos artículos ha dado lugar a las siguientes contribuciones:

- *Capítulo II: Evaluación de la eficiencia de los países miembros de la OTAN desde una perspectiva de la economía de defensa¹.*
- *Capítulo III: Economía de la defensa: Evaluación del cambio en la productividad en países de la OTAN en el periodo 2010-2017².*
- *Capítulo IV: Medición de la productividad de la industria de defensa española.³*

A través de los Capítulos II, III y IV, se ha pretendido estudiar con toda la profundidad posible el cálculo de las eficiencias/productividad en países OTAN, analizando el efecto que

¹ Publicado en la revista Oficial de la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO). Boletín de Estadística e Investigación Operativa (BEIO). 2021, Vol.37, No 3, pp 183- 207

² Enviado para su publicación a la revista Applied Economics

³ Publicado en la revista Defence and Peace Economics. Taylor & Francis Online.
DOI: [10.1080/10242694.2022.2053369](https://doi.org/10.1080/10242694.2022.2053369)

tienen las variables seleccionadas a nivel conjunto y para un país concreto (España), utilizando las diferentes opciones metodológicas que pueden encontrarse en la literatura.

Teniendo en cuenta la escasa existencia de trabajos en economía de la defensa que han analizado la eficiencia y la productividad sobre países OTAN y más a nivel de defensa español, nuestro planteamiento es novedoso, pues utiliza un método para la generación de los datos que se adapta mejor a las características propias en el ámbito de la Economía de la Defensa, esto es, a un contexto multi-input multi-output. De este modo, se puede establecer inicialmente cuáles son las alternativas más apropiadas para el análisis de eficiencia/productividad y las que, por sus limitaciones metodológicas, son menos recomendables. Por otra parte, poder realizar un análisis macro-micro del mismo ámbito (Ministerios de Defensa de países OTAN) focalizado a obtener los resultados tanto a nivel conjunto como a nivel desagregado (el caso español), ha sido nuestro segundo motivo para realizar esta investigación.

1.1. Delimitación del problema de investigación

Intentando preservar el mayor acercamiento posible a la realidad, utilizando técnicas no paramétricas, como el Análisis Envolvente de Datos y siendo conscientes tanto de este hecho como de sus limitaciones, se ha optado hacer un estudio entre 27 países de la OTAN, excluyendo a Luxemburgo y a Islandia por carecer de los requisitos necesarios para el análisis de algunas de las variables utilizadas (en concreto se desconoce para Luxemburgo el valor del Índice de Paz Global de los años 2013,...,2017 y para Islandia los gastos de defensa, gastos de personal, gastos de infraestructura y otros gastos).

A pesar de los esfuerzos realizados en la búsqueda de datos en la Economía de la Defensa, decir que se refuerzan con la escasez de la información analizada, apareciendo la opacidad como factor determinante en la ansiada investigación detallada de las variables que afectan tanto directa como indirectamente al gasto militar.

Este hecho es debido al grado de confidencialidad de los documentos a analizar que impiden su difusión pública y de su posible repercusión en la inteligencia de otros ejércitos, por conocer con detalle el gasto que se está realizando y en qué conceptos. Información que, analizada adecuadamente por expertos, puede suponer saber cuáles serán los siguientes pasos a seguir por su política de defensa, y en caso de que sea un país no aliado, conocer sus debilidades o aquellos recursos que no dispone de manera suficiente y atacar por ese flanco. A modo ilustrativo, si se conociera el despliegue exacto de las tropas, podría dar lugar a una

mayor inseguridad tanto de las propias tropas como del país al que quieren proteger, del mismo modo ocurriría con las partidas económicas si se desagregaran en mayor medida.

De este modo, los problemas que durante décadas han sido denunciados por los conocedores de la materia así como la falta de datos estadísticos de los que se pueda extraer un resultado común a todos los países, más allá de datos puramente presupuestarios, provoca que el objetivo de analizar los datos estadísticos requeridos, sea una tarea ardua. Por ello, los expertos en econometría actuales a través de ofertas y demandas agregadas del gasto público pretenden encontrar alguna verificación empírica a sus modelos, entre los que destaca el efecto que posee el gasto público sobre la Economía Nacional (Rojas and Ponce, 2019).

Teniendo en cuenta lo anterior, este estudio circunscrito en un contexto muy concreto, pretende desarrollar las estrategias metodológicas, utilizando métodos de programación matemática, para evaluar la eficiencia y productividad en el sector de la Defensa constituyendo un aporte a la misma a través de métodos no paramétricos. Para ello se han utilizado diversas variables que permiten identificar los orígenes de las ineficiencias y dar puntos de partida para poder mejorarlas, buscando además determinar la evolución de la eficiencia /productividad en defensa en el periodo analizado. Y de este modo, a largo plazo, permitir encontrar variaciones interanuales e investigar el motivo por el cual fueron provocadas, como puedan ser los cambios en la tecnología o cambios en la eficiencia técnica.

1.2. Objetivos del trabajo de investigación

En un estudio de la eficiencia/productividad del sector de la Defensa, en la OTAN, debemos tener en cuenta la información facilitada por esta que dice: *“la necesidad de preocuparse tanto de los aspectos de la paz y la estabilidad como aquellos que atañen a la vulnerabilidad política, económica y financiera de los países”* (Hardy Videla, 2003). Apoyándonos en este contexto en nuestra investigación nos planteamos las siguientes preguntas:

- *¿Qué países de la OTAN pueden servir de referencia a otros para ser más eficientes?*
- *¿Cuál es el nivel relativo de eficiencia de los países de la OTAN?*
- *¿Cómo evoluciona el grado de eficiencia relativa de los países de la OTAN a lo largo del tiempo?*
- *¿Cuál fue la variación de la productividad a lo largo del tiempo en los países de la OTAN?*
- *¿Cuáles son los factores que explican los cambios experimentados en la productividad a lo largo del tiempo (cambio tecnológico, cambio en eficiencia y/o cambio de escala)*

en los países OTAN?

- *Con relación al análisis de corte más microeconómico, ¿Qué sectores de la industria de defensa española obtienen la mayor variación en los índices de productividad?*
- *Y continuando a nivel microeconómico, ¿Qué factores (cambio tecnológico, cambio de eficiencia y/o cambio de escala) explican la evolución de dicha productividad?*

Los objetivos que se prevén conseguir son los siguientes:

- *Estudiar la evolución de la eficiencia y la productividad durante el periodo 2010-2017, entre los 27 países de la OTAN y el Índice de Paz Global*
- *Estudiar los métodos utilizados para medir la eficiencia/productividad y ver las ventajas y desventajas que aportan cada uno de ellos*
- *Determinar la eficiencia/productividad de la defensa utilizando métodos no paramétricos*

Teniendo en cuenta los objetivos planteados, adoptamos un estudio de eficiencia /productividad en el contexto de la Defensa con la información del Ministerio de Defensa, Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) y el Índice de Paz Global de cada país analizado en el periodo 2010-2017. Tras una exposición simplificada de los métodos para analizar la eficiencia/productividad y para medirlas, utilizaremos métodos no paramétricos, utilizando las variables relacionadas con la defensa, estudiándolo desde un punto de vista multiperiodo hasta llegar a realizar un análisis de un país (España) en lo relativo a su industria de defensa.

1.3. Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN)

La Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) tiene sus orígenes en la firma del Tratado de Washington de 1949, tras el cual los países de la Alianza se comprometieron, en su art. 5 a “reconocer el derecho de legítima defensa, individual o colectiva, en caso de ataque armado y defenderse mutuamente”. Al objeto de prevenir posibles conflictos, los países acordaron crear la OTAN. Tras el golpe de Estado comunista en Praga, y la intimidación a los gobiernos de Noruega, Grecia, Turquía y Checoslovaquia, se firmó el tratado de Bruselas en marzo de 1948 entre Francia, Gran Bretaña, Bélgica, Luxemburgo y los Países Bajos. En 1949 con el bloqueo de Berlín y la toma comunista de Checoslovaquia por parte de la URSS, se decide aliarse militarmente con Estados Unidos, como una forma de garantizar la paz, a la que se sumaron Canadá, Dinamarca, Islandia, Italia, Noruega y Portugal.

El 4 de abril de 1949, se firma el Tratado de Washington por el que se establecían las bases

de la creación de la Organización del Tratado del Atlántico Norte y describe sus principales propósitos. Acuerdan que *“un ataque armado a cualquiera de ellos, en Europa o en América del Norte, sería considerado un ataque a todos ellos”*. El Senado americano, hace constar, que las medidas a tomar en caso de agresión a algún país miembro, fuesen el resultado de la libre elección de cada país.

En junio de 1950, tras la Guerra de Corea del Sur y Corea del Norte con apoyo soviético, los líderes de la OTAN convirtieron la Alianza en una organización militar con una estructura de mando integrado, estableciendo los mandos supremos aliados de Europa y el Atlántico Norte, (Cumbre de Lisboa, 1952), convirtiéndose en la OTAN. En ella, los países miembros mantienen su plena independencia y soberanía, y pueden tomar decisiones sobre cuestiones políticas y militares que afecten a su seguridad. Los medios que utiliza la OTAN para llevar a cabo sus políticas de seguridad, son:

- ✓ El mantenimiento de una capacidad militar suficiente para evitar la guerra y proporcionar una defensa efectiva
- ✓ La capacidad global de gestionar crisis que afecten a la seguridad de sus miembros

La sede de la OTAN se encuentra en Bruselas (Bélgica) y en la actualidad cuenta con 30, países miembros: Francia, Reino Unido, Luxemburgo, Países Bajos, Estados Unidos, Canadá, Dinamarca, Islandia, Italia, Noruega, Bélgica, Portugal, Grecia, Turquía, República Federal de Alemania, España, República Checa, Hungría, Polonia, Bulgaria, República Eslovaca, Eslovenia, Estonia, Letonia, Lituania, Rumanía, Croacia, Albania, Montenegro y Macedonia del Norte. En nuestro estudio excluimos a Macedonia del Norte al estar fuera del periodo analizado y a Luxemburgo e Islandia por falta de datos. Se ampliará en los siguientes capítulos.

En cuanto a seguridad, el principio de defensa colectiva es la piedra angular del tratado siendo sus objetivos:

- ✓ Garantizar la estabilidad en la zona euroatlántica
- ✓ Servir como centro de consultas sobre cuestiones de seguridad
- ✓ Garantizar la contención y la protección contra cualquier amenaza

Los beneficios para obtener economías de escala son:

- ✓ Mantener la cohesión de los países socios
- ✓ Única visión estratégica entre Norteamérica y Europa
- ✓ Política de ampliación de miembros de la OTAN

- ✓ Determinación de un nuevo modelo de financiación
- ✓ Evitar disparidades existentes, en el plano económico, táctico y operativo
- ✓ Entrenamiento, interoperabilidad y despliegue conjunto

La estructura orgánica de la OTAN consta de una parte civil y otra militar. En cuanto a la estructura económica, ser miembro implica adquirir compromisos económicos, para que la Alianza sea capaz de asegurar la defensa común de los países; existiendo dos mecanismos de financiación: la financiación común (destinada a intereses de todos los miembros) y las destinadas a contribuciones nacionales. Los países están obligados a realizar aportaciones económicas para la financiación (en función de su PIB) de gastos imputables a la OTAN en general y el resto de recursos resulta de las aportaciones voluntarias, derivadas del grado de implicación de cada país en la seguridad colectiva o de su capacidad económica.

Del mismo modo, la inversión en seguridad financia la infraestructura militar, teniendo en cuenta que *-el coste es soportado allí donde surge-*, existiendo una junta internacional de auditores que garantiza que los fondos comunes se utilicen adecuadamente. La OTAN se ha ido adaptando a los cambios estratégicos, estableciendo nuevas formas de cooperación política y militar para tratar los conflictos regionales y preservar la paz y la estabilidad de sus aliados. A través de un diseño amplio de la seguridad, basado en el diálogo, la cooperación y el mantenimiento de una capacidad de defensa colectiva, la OTAN con su experiencia y su capacidad permite gestionar una diversa gama de situaciones en un entorno de seguridad cada vez más complejo, utilizando un conjunto de herramientas, políticas y militares, muy variado y completo.

1.4. Índice de Paz Global

El Índice de Paz o Seguridad Global (Global Peace Index- GPI) es un indicador que mide el nivel de paz y la ausencia de violencia de un país o región, investiga hasta qué punto los países están involucrados en conflictos internos e internacionales en curso y pretende evaluar el nivel de armonía o discordia dentro de una nación, mediante una serie de indicadores que evalúan la seguridad en la sociedad (Global Peace Index, 2019).

El Índice de Paz Global lo elabora y publica el *Institute for Economics and Peace*, junto a varios expertos del Instituto para la paz y el *Centre for Peace and Conflict Studies*, de la Universidad de Sydney, con datos procesados por la Unidad de Inteligencia del semanario británico *The Economist*. La información llega a través de programas de datos sobre conflicto de la Universidad de Upsala en Suecia, de la Unidad de Inteligencia de *The Economist*, de

las encuestas de tendencias y operaciones criminales del sistema de justicia criminal de las Naciones Unidas, del Centro Internacional de Estudios Penitenciarios del King's College (Reino Unido), del Instituto Internacional de Estudios Estratégicos (base de datos de transferencia de armamento del Instituto Internacional de Estudios para la Paz de Estocolmo o SIPRI) y del Centro Internacional para la Conversión de Bonn.

El estudio incluye variables internas, como violencia y criminalidad, y externas como gasto militar y las guerras en las que participa el país. Utiliza los siguientes indicadores: número de guerras (internas y externas), nivel de conflictos, nivel de criminalidad, número de desplazados por unidad de población, inestabilidad política, nivel de respeto por los derechos humanos, posibilidad de actos terroristas, número de homicidios, nivel de criminalidad violenta, probabilidad de manifestaciones violentas, número de personas encarceladas, número de agentes de policía y cuerpos de seguridad, gasto militar en relación al PIB, número de personal militar, importaciones de las principales armas convencionales, exportaciones de las principales armas convencionales, financiación de misiones de paz de las Naciones Unidas, número de armas pesadas y disponibilidad de armamento ligero.

Este índice es útil para ver la evolución del nivel de paz en un país a lo largo del tiempo. En su cálculo se emplea el análisis estadístico para descubrir la relación de la paz con factores como la funcionalidad de los gobiernos, el nivel de integración regional, la hospitalidad hacia los extranjeros, la importancia de la región en la vida nacional y el PIB. Se examinan las relaciones entre GPI y otras medidas relativas a la democracia, la transparencia, la educación y el bienestar material. Se trata de comprender la importancia relativa de una serie de posibles factores determinantes que pueden influir en el fomento de sociedades pacíficas, tanto interna como externamente.

En concreto, se buscaron indicadores que, incluidos o excluidos del índice, tuviesen altos niveles de correlación con la puntuación total de los países. Los indicadores no expresados en una escala de 1 a 5 se convirtieron usando la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Paz Global} = \left(\frac{X - \text{Min.}(x)}{\text{Max.}X - \text{Min.}X} \right)$$

Donde Max(x) y Min(x) son los valores más altos y bajos para dicho indicador puntuado en

el índice. Las puntuaciones entre 0 y 1 se convirtieron entonces a la escala de 1 a 5. Los indicadores individuales se midieron de acuerdo con el criterio que el equipo de investigadores asignaba a su importancia. Las puntuaciones entonces se tabularon entre dos sub-índices: la paz interna equivalía al 60% de la puntuación final del país y la paz exterior representaba el 40%. Según el Institute for Economics and Peace, se estima que el impacto global de la violencia representó un 12,6% del PIB mundial en 2016; unos 1.500 euros por persona, identificando un 75% del total con gasto militar y seguridad interna. El resto son la fría y cruel traducción económica de las pérdidas humanas por la violencia.

España respecto al Índice de Paz Global tiene una tendencia alcista en los últimos años, encontrándose en la actualidad en la media entre los países de la región europea. Es necesario mencionar que, un tanto por ciento muy elevado de la población española contempla de manera positiva el ascenso del populismo, que se considera como un peligro para la paz global y alarmantes indicios de rechazo a la inmigración. La cultura de paz está basada en los derechos humanos, la igualdad de género, la participación democrática, la solidaridad tolerante, la comunicación abierta y la seguridad internacional.

1.5. Ministerio de Defensa Español

La seguridad es un fundamento esencial para el desarrollo y el progreso de una sociedad libre. Por eso, la primera obligación del Gobierno es salvaguardar la seguridad nacional de España como garantía del bienestar de los ciudadanos y de la estabilidad del propio Estado. El gobierno ha de velar por la seguridad de su país, manteniendo unas Fuerzas Armadas (FF.AA.) capacitadas y suficientemente formadas para garantizarla. Además, ha de fortalecer su posición dentro de un sistema de seguridad internacional y de seguridad colectiva. Habiendo de destacar que el gasto en defensa, además de asegurar la defensa y seguridad nacional, cumple otros objetivos, como el de reforzar notablemente el posicionamiento del país en el campo político, diplomático, económico o comercial dentro del contexto internacional (Badillo, 2014).

El gasto de defensa deberá cubrir un mínimo imprescindible para asegurar la operatividad de unas FF.AA. que atiendan a la defensa de los intereses nacionales. La eficacia y eficiencia del gasto que se realice en defensa depende de una buena organización, teniendo en cuenta que las decisiones que se tomen pueden tener importantes repercusiones políticas, económicas e industriales, y condicionar el futuro de las FF.AA. y de la industria de la defensa. De esta manera, en el periodo analizado, las cuentas públicas se han caracterizado por pretender afianzar el crecimiento económico y la creación de empleo, garantizando la

sostenibilidad de las cuentas públicas y dando continuidad a la política económica del Gobierno, buscando generar un contexto económico positivo con una evolución favorable del mercado de trabajo en España.

Por otra parte, los Presupuestos Generales del Estado se han caracterizado por promover la reducción del déficit de las Administraciones Públicas para cumplir con los objetivos de estabilidad marcados por la Unión Europea. La política de gasto en defensa pretende contribuir a los objetivos de estabilidad presupuestaria y de deuda pública, manteniendo así las capacidades mínimas e imprescindibles de las FF.AA para poder cumplir con las misiones y los compromisos adquiridos, ya sean por su pertenencia a la OTAN y otros organismos internacionales de seguridad, como por su participación en los grandes programas internacionales de armamento y material (Isar, 2017).

Por ello, los presupuestos asignados al Ministerio, el escenario estratégico mundial y el concepto de defensa han evolucionado hacia un concepto más amplio de seguridad, es decir más globalizado. El objetivo del esfuerzo presupuestario en el Ministerio de Defensa Español es dotarlo de los medios financieros suficientes para que sea capaz de obtener los recursos humanos y materiales necesarios para alcanzar las capacidades que le permitan cumplir con la finalidad establecida en la Constitución Española.

Debido al incremento del número y de la información contenida en las bases de datos y la mejora de la transparencia, junto con el avance continuo de las técnicas econométricas, se ha facilitado el estudio de los fenómenos económicos, permitiendo conocer cada vez más las Administraciones públicas y sus múltiples variables. Para llevar a cabo un análisis cuantitativo se necesita una buena base teórica y práctica, así como poder implementarla adecuadamente debido a su complejidad. Los métodos no paramétricos DEA – Índice Malmquist, son una de las técnicas más utilizadas tanto por la economía pública como la privada, ya que nos permite trabajar con varios periodos de tiempo.

Por lo tanto, en esta tesis, realizamos un análisis económico de la inversión en defensa de España en el contexto de la OTAN, teniendo que estudiar la financiación de la misma (problema de la escasez), así como la asignación económica que recibe del Estado (asignación de recursos). Para ello, nuestro análisis se centra en determinar claramente de dónde viene esa financiación y en qué se está invirtiendo. Es relevante comentar que el gasto en defensa está interrelacionado directamente con el PIB al formar parte directamente de él a través de su componente de gasto público y de la formación bruta de capital.

1.6. Industria de la Defensa española

Como se expondrá en detalle en el Capítulo IV, el objetivo de la Industria de Defensa española es apoyar y fomentar el desarrollo y la cimentación de una base tecnológica, industrial y de servicios, innovadora y competitiva, en el entorno de la seguridad nacional y la defensa (MINISDEF, 2017).

Derivado de la situación actual de cambio en la que vive la industria de la defensa (aumento de la competencia, mejora de las tecnologías...), se hacen necesarias la toma de decisiones, que definan el futuro y que supongan importantes modificaciones en la forma de actuar de los agentes implicados. Desde la Unión Europea, se está potenciando la cooperación, pilar fundamental para mejorar la industria de defensa europea en dos vertientes: la tecnológica y la industrial (EU, 2016). De este modo, la industria española está obligada a incrementar su productividad si quiere estar en cabeza a nivel industrial europeo e internacional.

En este escenario globalizado en el que predomina la contención en el gasto de defensa, la industria de defensa debe crecer hacia nuevos mercados así como la provisión de servicios públicos tan eficientes como sea posible. Además, actualmente la industria factura un 4,38% del PIB de la industria española, dando lugar a un argumento adicional de estudio de la misma.

Según la Dirección General de Armamento y Material (DGAM), en el ejercicio 2017 constan inscritas 373 empresas con ventas a defensa, de las que 124 realizan exportaciones siendo las empresas de defensa mayoritariamente Pymes. Los sectores según DGAM del Ministerio de Defensa Español son: Aeronáutico, Naval, Terrestre, Electrónico, Auxiliar, Armamento, Espacial, Misiles, RPAS, y Simulación. El factor humano es crucial en este sector, caracterizándose por su especialización y elevada formación, lo que lleva a impulsar y favorecer el desarrollo profesional de los mismos y fomentar nuestra inquietud en estudiar el efecto de las ventas en su empleo.

De este modo y teniendo en cuenta la situación actual en la que vive la industria de la defensa, se hacen necesarias la toma de decisiones, que definan el futuro y que supongan importantes modificaciones en la forma de actuar de los agentes implicados. Por lo que es necesario realizar una evaluación de su productividad, para poder dar respuesta a estas incertidumbres.

1.7. Marco Teórico de la Eficiencia y Productividad

Realizar un análisis económico para determinar la eficiencia/productividad de un sector, comparando los desempeños realizados durante un periodo de tiempo así como buscar la

máxima utilización de los recursos y optimizando su uso, es uno de los principales objetivos de cualquier unidad tomadora de decisiones (DMU, en sus siglas en inglés). Normalmente se suelen tomar casi como sinónimos los conceptos de eficacia, eficiencia y productividad.

Los economistas consideran que una asignación de recursos es *eficiente* cuando lo es en sentido de Pareto, es decir, cuando no existe otra posible asignación de los mismos que mejore la situación de alguna unidad productiva sin perjudicar a otra. Definimos *eficacia* como capacidad de obtener una serie de objetivos/metapas, independientemente de los recursos gastados para ello, mientras que *eficiencia* se refiere a lograr los inputs propuestos utilizando la menor cantidad de outputs (Drucker, 2006), (Harbour, 2017).

Productividad, por otro lado, es la relación entre los Outputs – Inputs en un período específico, pudiéndose elevar: Incrementando los outputs y reduciendo los inputs, incrementando los outputs con los mismos inputs o reduciendo los inputs pero manteniendo los mismos outputs.

Se consideran tres tipos de eficiencia: *Técnica*, forma de combinar los inputs, para producir los outputs; *Asignativa* se seleccionan los inputs para producir una cantidad de outputs, considerando los precios de producción; *Económica* medida provista por la eficiencia asignativa conjuntamente con la eficiencia técnica (Cachanosky 2012). Habitualmente se utiliza la evaluación de eficiencia técnica, dada la dificultad que supone el conocimiento de los precios de mercado de inputs y outputs.

Debemos tener presente que la productividad de un proceso está determinada por variables, como son: la tecnología empleada, el entorno en el cual se desarrolla el proceso productivo y la eficiencia de dicho proceso. Este inconveniente de las medidas de productividad se ha intentado superar a través del concepto de Productividad Total de los Factores (PTF), el cual se define como un cociente entre una suma ponderada de outputs y una suma ponderada de inputs. Desarrollamos en profundidad estos conceptos en los apartados 1.8 al 1.10.

1.8. Metodología para medir la eficiencia

La realización del análisis de la eficiencia en la economía de la defensa es novedosa, debido a que no existe un estudio dinámico del análisis de la eficiencia productiva de los países de la OTAN con respecto al Índice de Paz Global utilizando la técnica no paramétrica, Análisis Envoltante de Datos (DEA) como desarrollamos en nuestro Capítulo II. Últimamente, se han incrementado los estudios referentes a la eficacia y eficiencia por el aumento de las exigencias de los ciudadanos de requerir a los ministerios de defensa que contribuyan

eficazmente en el proceso de toma de decisiones.

De esta manera, los economistas de la defensa están dirigiendo su atención de forma progresiva al análisis de la eficiencia de los ministerios, enfrentándose a ciertas adversidades como la homogeneidad de la muestra o la conceptualización y medición de los inputs y outputs, por caracterizarse como una organización multi-inputs y multi-outputs (Vázquez, 2011).

La necesidad de medir y evaluar el rendimiento de cualquier organización de naturaleza pública o privada implica también seleccionar la mejor técnica de medición que permita conocer los procesos de transformación de inputs en outputs. Aunque existen distintas metodologías que suelen emplearse para analizar la eficiencia de una unidad productiva, su estimación puede agruparse en general en dos grandes corrientes: los métodos que utilizan una función de producción como frontera y los que no la emplean, caracterizándose según la Figura 1.

En nuestra investigación nos centraremos en los métodos frontera no paramétricos tanto de corte transversal (Capítulo II, DEA) como de corte longitudinal (Capítulos III y IV, DEA-Malmquist). La metodología comúnmente empleada para obtener las estimaciones de la eficiencia es a través de la utilización del método no paramétrico o de panel como es el DEA. Dentro de las ventajas que ofrece esta técnica, la flexibilidad es considerada la más importante, porque permite modelizar la tecnología subyacente. A diferencia de la técnica paramétrica que debe asumir una forma funcional específica para la función de producción, el DEA en cambio, permite evitar este supuesto, de tal forma que sólo es necesario asumir una serie de propiedades para el conjunto de posibilidades de producción, ofreciendo la oportunidad de solucionar la dificultad de modelizar las tecnologías de producción. Del DEA se derivan una serie de aspectos positivos como el análisis de fronteras productivas o la utilización de técnicas econométricas no paramétricas que la convierten en una metodología atractiva a la hora de llevar a cabo un análisis de eficiencia en el ámbito de la economía de la defensa. Aunque no por ello dejamos de obviar su carácter determinista y su alta sensibilidad a la presencia de atípicos o errores de medida.

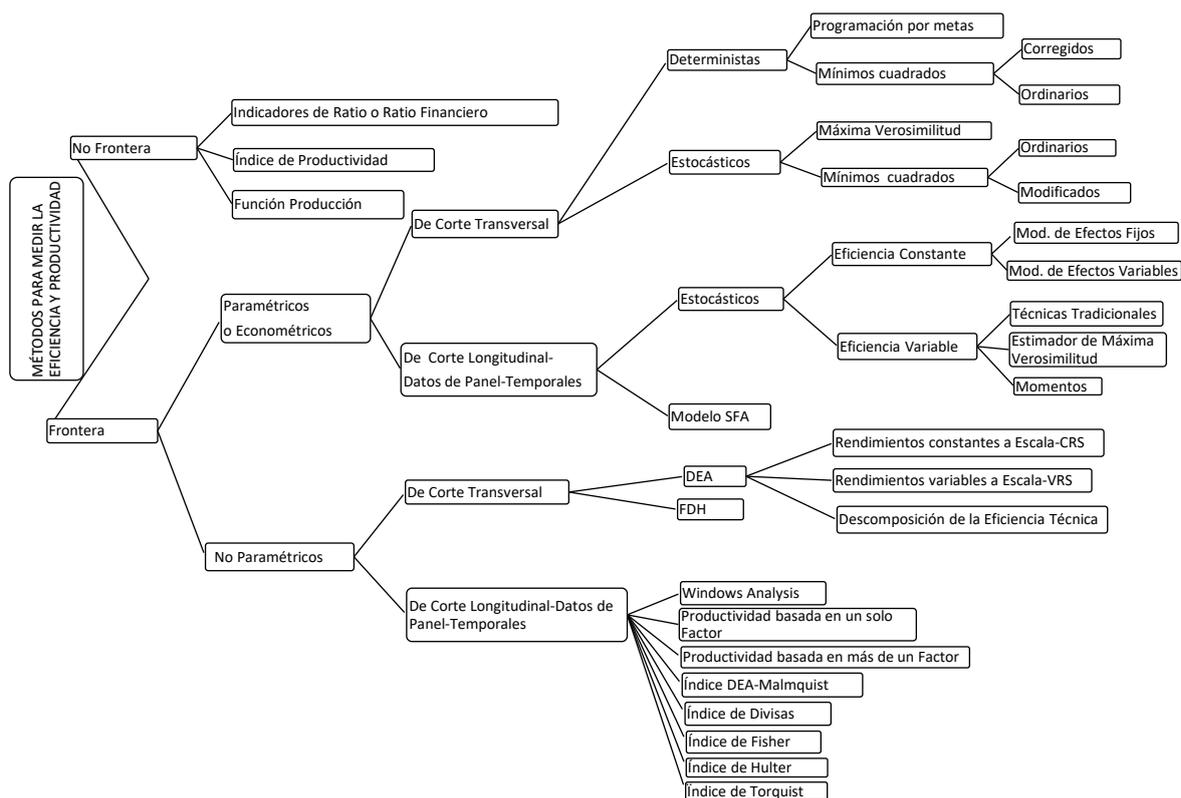


Figura 1. Metodologías para analizar la eficiencia y la productividad
Fuente: Elaboración propia

En esta investigación se ha optado por el uso del DEA, a través del software WIN4 DEAP 2.2.1.0.1 (Coelli, 1996), como metodología base para analizar la eficiencia de los 27 países de la OTAN, con respecto al Índice de Paz Global. Esta metodología, hace necesario cumplir dos condiciones: La homogeneidad de la muestra y la selección cuidadosa de inputs y outputs.

a) Métodos de Frontera no paramétricos de corte transversal

Son los que formulan las características de la tecnología mediante supuestos sobre el conjunto de producción. La frontera estimada es más flexible y está formada por las unidades que producen la mayor cantidad de outputs con la menor cantidad de inputs. En nuestro estudio utilizamos un enfoque no paramétrico ya que evita el error de especificación porque no requiere a priori supuestos acerca de la forma analítica de la función de producción ni asumir distribución de probabilidad alguna para la eficiencia. Sin embargo, adolece de un inconveniente importante, ya que no considera errores aleatorios en el problema de optimización y todas las desviaciones con respecto a la frontera se miden como ineficiencias, de este modo se exagera la ineficiencia promedio si se presenta algún ruido.

Estos métodos, a diferencia de las técnicas econométricas, no estiman la frontera de producción, sino que la construyen a partir de los datos observados. En el interior del conjunto limitado por estas fronteras están incluidas todas las unidades observadas y no se presuponen perturbaciones aleatorias. En la mayoría de los modelos, la estimación de la frontera es determinística y se utilizan técnicas de programación lineal para su estimación. Los métodos desarrollados con este enfoque, para datos de corte transversal, son Data Envelopment Analysis (DEA) y Free Disposal Hull (FDH), sin embargo DEA es el de mayor utilización (Peretto, 2016).

b) Análisis Envolvente de datos DEA

El DEA es una metodología de programación matemática no paramétrica, desarrollada específicamente para medir la eficiencia de un conjunto de unidades homogéneas (DMUs). Dicha metodología identifica unidades eficientes y permite hallar indicadores de gestión relativa para cada unidad con relación a aquellas que presentan el mejor desempeño. Además, permite identificar y cuantificar las ineficiencias con relación a los inputs y outputs, dando así pautas para la mejora de las distintas unidades analizadas. Esta metodología está basada en la Programación Lineal y ha tenido un fuerte impacto, tanto en el sector público como privado (Ferrera, 2006), (Gutiérrez, 2007).

Este enfoque nace en 1978 (Charnes *et al.*, 1978) como nueva metodología para medir la eficiencia, plantea un modelo de optimización fraccional a partir del cual se traduce, mediante un cambio de variables, en un modelo lineal equivalente y su correspondiente programa dual. Este modelo es conocido como modelos CCR y suponen retornos constantes a escala en el espacio de transformaciones posibles (Figuerola, 2017). De forma cronológica, el segundo modelo DEA es conocido como BCC (Banker *et al.*, 1984), el cual se caracteriza por admitir retornos variables a escala en el espacio de transformaciones posibles.

Por otra parte, la metodología DEA permite trabajar con unidades que tienen múltiples inputs y outputs, que pueden ser incorporados en una única medida de eficiencia, la suma ponderada de los outputs dividida por la suma ponderada de los inputs. Los programas lineales admiten tres enfoques, orientados a los inputs, orientados a los outputs y un tercer enfoque llamado GRAPH que intenta reducir los inputs y aumentar los outputs a la vez. Nos centraremos en los Capítulos II, III y IV en la orientación output. Por último, el DEA se caracteriza por el hecho de que las unidades de referencia son una combinación lineal convexa de diferentes unidades observadas en la realidad.

c) Rendimientos de Escala

Los rendimientos de escala expresan cómo varía la cantidad producida por una DMU a medida que varía el uso de todos los factores que intervienen en el proceso de producción en la misma proporción, es decir, el tamaño de una DMU medido por su producción. Estos rendimientos tienen en cuenta los cambios en la producción, que resultan de un cambio proporcional en todos los inputs, cuando estos aumentan un factor constante. De este modo tendremos en cuenta que, si el producto aumenta en el mismo cambio proporcional entonces existen rendimientos constantes de escala (CRS), si el producto aumenta en menos que el cambio proporcional, existen rendimientos decrecientes de escala y si el producto aumenta en más que el cambio proporcional, existen rendimientos crecientes de escala.

Por lo tanto, los rendimientos de escala a los que se enfrenta una DMU están impuestos exclusivamente por la tecnología y no están influidos por las decisiones económicas o por las condiciones de mercado. La función de producción puede mostrar diferentes tipos de rendimientos de escala para diferentes rangos de producción. Normalmente, puede haber rendimientos crecientes para niveles relativamente bajos de producción, rendimientos decrecientes para niveles relativamente altos de producción, y rendimientos constantes para un nivel de producción entre esos dos rangos. De este modo y teniendo en cuenta las aclaraciones expuestas anteriormente en términos de la economía de la Defensa y los distintos métodos que vamos a utilizar para medir la eficiencia, hemos elegido un método de frontera no paramétrico de corte transversal-DEA-VRS (Variable returns to scale = rendimientos variables a escala) desarrollado en el Cap. II.

1.9. Metodología para medir la productividad

Cuando se dispone de observaciones de las unidades productivas para múltiples períodos de tiempo, es decir de datos en forma de panel, se puede utilizar esta información para realizar un análisis de los cambios que se producen en la eficiencia de estas unidades a través del tiempo así como de los posibles cambios técnicos que generan desplazamientos de la frontera eficiente. En estas condiciones, es interesante no sólo comparar dichas unidades entre sí, sino también a cada una de ellas con su propio funcionamiento en otros períodos de tiempo. Últimamente, el avance de las técnicas econométricas para datos de panel se ha ido reflejando en el desarrollo de métodos de estimación de eficiencia tanto en aproximaciones paramétricas como no paramétricas (Baronio y Vianco, 2010). Debido a la relativa sencillez de las metodologías no paramétricas, éstas resultan más aplicables en la práctica y, por lo tanto, los métodos propuestos para el análisis temporal de la eficiencia con este enfoque han

tenido mayor divulgación.

a) Métodos de Frontera no paramétricos de corte longitudinal

En nuestro caso, ha sido el método elegido para el análisis. Los cambios en los niveles de eficiencia y posibles desplazamientos de la frontera de referencia en un contexto no paramétrico, ya que pueden ser analizados a través de los métodos: Windows Analysis, productividad basada en un solo factor, productividad basada en más de un factor, índice DEA-Malmquist (utilizado en esta tesis), índice de Divisa, índice de Fisher y el índice de Hulter (Gulati *et al.*, 2016), entre otros.

Los argumentos para seleccionar como método utilizado los datos de panel son los siguientes: proporciona una información de las DMUs a lo largo de un periodo de tiempo dando pie a analizar un problema de forma más completa y permitiéndonos interpretar mejor los cambios que se producen; permite trabajar con datos desagregados; Elimina el sesgo de especificación de las series temporales; proporciona un mayor número de grados de libertad en el análisis debido a la dimensión temporal y explica mejor los fenómenos más complejos debidos a cambios tecnológicos.

Aunque también tenemos en cuenta algunas de sus debilidades: Limitación del número de DMUs en la muestra al no disponer de suficientes datos para realizar su seguimiento en el tiempo y la limitación de la aleatoriedad de la muestra. De este modo y teniendo en cuenta tanto sus fortalezas como debilidades, se plantea el análisis de productividad de varias DMUs a lo largo de un periodo de tiempo basándonos en el método de datos de panel “Índice de Malmquist” aplicado en los Capítulos III y IV.

b) Índice de Malmquist

La productividad multifactorial se basa en la función de producción, que establece una relación entre un vector de factores de producción y el vector máximo de outputs que se pueden obtener. Además, el crecimiento productivo se basa en la formulación de Solow (1957), de la tasa de variación en la productividad global y de la adecuación a periodos de tiempos discretos. Decir que la sencillez de su cálculo se basa en algún caso ciertamente restrictivo, al mismo tiempo que se requiere de cierta información, que a veces es difícil de obtener.

En cuanto a las fuentes del cambio en la productividad a lo largo del tiempo, se distinguen fundamentalmente tres: cambio tecnológico, cambio en eficiencia técnica y cambio en eficiencia de escala que serán desarrolladas en detalle en los Capítulos siguientes para las

DMU seleccionadas. En particular, en esta tesis, para determinar el crecimiento productivo recurriremos al Índice de Malmquist (IM) (Malmquist, 1953).

Así mismo, para Grifell y Lovell (1995), estos índices de Malmquist tienen unas ventajas respecto a otras herramientas para medir la productividad global de los factores. En concreto, no se necesitan supuestos sobre el comportamiento de la unidad que se analiza; tales como la maximización de outputs o la minimización de inputs. Al estar basado en funciones de distancia, no se requiere el valor de los precios de inputs u outputs en su construcción y finalmente el IM se puede descomponer en elementos que explican las causas del cambio productivo.

La definición general del IM está basada en el concepto económico de función de distancia introducido por Shephard (1970), cuya inversa es igual a la medida de la eficiencia técnica enunciada por Farrell (1957). Desde la contribución inicial de Farrell al análisis de la producción, se ha desarrollado el concepto de frontera de posibilidades de producción, formada por las mejores observaciones, que define el límite de las combinaciones entre output - inputs posibles.

Se considera que una unidad es técnicamente eficiente si no es posible aumentar la cantidad obtenida de uno de sus inputs sin incrementar el uso de ningún factor o sin disminuir la cantidad obtenida de cualquier otro output. El IM propuesto por Caves *et al.* (1982), consiste en el cálculo de índices a partir de funciones de distancia, introducidas en la teoría del consumidor previamente por Malmquist (1953).

A partir de dichas funciones de distancia, se podrá establecer en qué medida una DMU es eficiente, y en caso de no serlo, cómo es de ineficiente, en relación con un cierto nivel óptimo generado a partir de las demás DMUs. La combinación de estas funciones de distancia permite definir los índices de productividad que pueden ser interpretados como variaciones en la función de productividad total, si cumplen con la propiedad de proporcionalidad. Según la cual, si la producción se ve incrementada de un periodo a otro, permaneciendo el consumo de inputs inalterado, entonces el índice debe incrementarse en igual proporción que el aumento de outputs. Si el consumo de factores productivos se reduce en una determinada proporción a lo largo de un periodo de tiempo, manteniéndose la producción inalterada, entonces el índice debe incrementarse en igual proporción.

Desde la perspectiva de los índices de Malmquist y las funciones de distancia que lo integran, esto implica que las funciones de distancia deben ser homogéneas de grado 1 en outputs y

de -1 en factores, lo cual equivale a que la tecnología de producción considerada para evaluar el rendimiento o eficiencia productiva se corresponda con rendimientos constantes a escala. Este índice permite medir el crecimiento de la productividad entre dos períodos t y $t+1$.

El procedimiento de Caves, Christensen y Diewert (1982) se basa en el cálculo de la distancia que separa a cada DMU de la tecnología de referencia en cada período, utilizando para ello la función distancia anteriormente mencionada. Estos métodos implican el cálculo de eficiencias técnicas y de escala y otro de corte longitudinal, el índice de Malmquist con datos de panel, que calcula, los índices de cambio de productividad total de los factores, cambio tecnológico, cambio de eficiencia técnica y cambio de eficiencia de escala. En cuanto a la orientación existen dos medidas: las orientadas al input y las orientadas al output (utilizada en nuestro estudio).

1.10. Métodos para la selección y cálculo de las variables utilizadas

El proceso de selección de variables en este trabajo ha sido realizado a partir del conjunto de variables disponibles, así como la realización de un análisis considerando la opinión de expertos y los antecedentes, técnicas estadísticas multivariadas o algoritmos específicos de selección de estudios encontrados en la bibliografía.

Al realizar un análisis de eficiencia/productividad, es importante disponer de información completa y precisa, obtenida con criterios homogéneos y con una enumeración detallada de variables que se deberían disponer, para realizar el análisis.

En los artículos de esta tesis, se analizan y evalúan la eficiencia/productividad de cada país, según el aporte económico que cada país hace a la OTAN, para obtener la seguridad interior/exterior de su país y los de su entorno, así como las ventas a defensa y el empleo en la industria de la defensa española. Se seleccionan un conjunto de variables relevantes, de las que posteriormente y con la ayuda de expertos en nuestro caso; Informes anuales del secretario general de la OTAN, Jens Stoltenberg e Informes anuales del Índice de paz global del Instituto para la Economía y la Paz, se han elegido las que utilizamos en los estudios. Hay que tener en cuenta no utilizar variables que no aporten información adicional relevante y evitar que, por razones de tipo estadístico, puedan conducir a una pérdida potencial de discriminación.

El objetivo es definir las variables que permitan generar información uniforme y homogénea, ya que uno de los principales problemas metodológicos al utilizar DEA es la correcta identificación y medida de los *inputs* y *outputs*.

Teniendo en cuenta lo anterior se han considerado previamente como posibles variables del estudio:

Inputs: Gastos total en defensa; Gastos en personal; Gastos de equipamiento; Gastos de infraestructura; Otros gastos (Operaciones, Mantenimiento, I+D); Población del país; Superficie del país; Km de costas del país; Ventas nacionales directas al ministerio de defensa español; Ventas internacionales de defensa; Gastos de defensa como porcentaje del PIB; PIB real; PIB per cápita y gasto en defensa per cápita; Personal militar implicado de cada país en la OTAN; Índice de Esfuerzo en Defensa.

Outputs: Participación en misiones internacionales; Índice de Seguridad o Paz exterior - interior de cada País; Empleo anual en la industria de defensa.

En este estudio en cuanto al periodo a estudiar hemos seleccionado del 2010 al 2017 por varias razones. Fundamentalmente porque es un periodo de tiempo lo suficientemente cercano al actual con variables y datos fiables de páginas Web oficiales (Ministerio de Defensa Español, OTAN, Institute For Economics and Peace y del Centre for Peace and Conflict Studies); No se han elegido valores previos ya que se encontraban aún afectados por la crisis económica de Europa y EE.UU y la búsqueda de conocer la tendencia actual de las variables sin perturbaciones económicas.

Consultado con expertos, se decide que las variables, PIB real, PIB per cápita, gasto en defensa per cápita, gasto total en defensa y el índice de esfuerzo en defensa, no sean tenidas en cuenta como inputs ya que están correlacionadas con la aportación económica que cada país hace a la OTAN. Por otra parte, las misiones internacionales no sería una variable a tener en cuenta como output ya que sería difícil de medir su beneficio individual, dado que la seguridad en la OTAN lleva consigo múltiples misiones. Así, se tendrán en cuenta finalmente para cada uno de los estudios llevados a cabo en esta tesis las siguientes variables:

➤ *Evaluación de la eficiencia de los países miembros de la OTAN desde una perspectiva de la economía de defensa*

Inputs: Gastos en personal, gastos en equipamiento, gastos de infraestructura, otros gastos (Mantenimiento, I+D) y como variables incontrolables (exógenas): Población, superficie y km de costas de cada país

Output: Índice de Seguridad o Paz de cada país

➤ *Economía de la defensa: Evaluación del cambio en la productividad en países de la*

OTAN en el periodo 2010-2017

Inputs: Gastos en personal, gastos en equipos, gastos de infraestructura, otros gastos (Mantenimiento, I+D) y como variables incontrolables (exógenas): Población, superficie y km de costas de cada país

Output: Índice de seguridad o Paz de cada país

➤ *Medición de la productividad de la industria de defensa española*

Inputs: Ventas nacionales directas al Ministerio de Defensa y Ventas internacionales de defensa

Output: Empleo anual en los sectores industriales de defensa.

CAPÍTULO II

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PAÍSES MIEMBROS DE LA OTAN DESDE UNA PERSPECTIVA DE LA ECONOMÍA DE DEFENSA⁴

1.Introducción

La prestación de servicios públicos de la forma más eficiente posible se ha convertido en un objetivo universal de central importancia en la política económica, especialmente en tiempos de crisis económica. Una de las principales preocupaciones es medir la eficiencia relativa de diferentes entidades públicas que prestan el mismo servicio público.

La literatura tradicional sobre productividad define medidas de eficiencia organizacional como la distancia de la unidad bajo escrutinio de una función de frontera, que se estima utilizando la mejor práctica observada del conjunto de otras unidades similares (Briec, 1998), (Briec y Lemaire,1999).

La esencia de nuestra investigación radica en la importancia de optimizar los inputs disponibles y aumentar los rendimientos obtenidos, vinculados al gasto público en el ámbito de la defensa nacional.

Nuestro objetivo en particular es evaluar la eficiencia relativa y su evolución en el tiempo para los 27 países pertenecientes a la OTAN, estudiando la relación entre gastos en personal, equipamiento, infraestructura y otros gastos en defensa, y como variables (exógenas): Población, superficie y km de costas de cada país, y la percepción de seguridad ciudadana.

Para ello, utilizamos un panel de datos para los años 2010-2017. En términos generales, dos países pueden ser idénticos en términos de efectividad si logran exactamente los mismos outputs, mientras que pueden diferir en términos de eficiencia si se utiliza una cantidad diferente de inputs para producir los mismos outputs. (Farrell, 1957). La mayor parte de las investigaciones centran su análisis en el PIB (Producto Interior Bruto), ya sea para medir el crecimiento económico del país, o para analizar la importancia de la inversión en defensa y su efecto en la economía nacional (Dunne y Tian, 2015), (Lee *et al.*, 2016).

Por tanto, el gasto en defensa puede ralentizar el crecimiento económico desplazando a la inversión privada históricamente más productiva. [(Lebovic e Ishaq, 1987), (Mintz y Huang, 1990), (Scheetz, 1991), (Ward y Davis, 1992)]. Autores como Lowell *et al.* (1995) analizan

⁴ Este artículo ha sido publicado como: Domínguez, Sánchez. M., Aparicio, J. and Fonfría, A., (2021) Efficiency evaluation of NATO member nations from a defense economics perspective. BEIO, Boletín de Estadística e Investigación Operativa, 37(3), 183-207.

el efecto del crecimiento económico sobre la tasa de inflación, la tasa de desempleo y la balanza comercial, pero aún no está claro que la inversión en defensa produzca un efecto significativo sobre la tasa de crecimiento del PIB, mientras que su efecto sobre la economía de un país es reconocido. En particular, Asseery (1996), Dunne y Vougas (1999), Dunne *et al.* (2002) y Kollias *et al.* (2004) proporcionan evidencia que apoya esta hipótesis en varios países.

Algunos estudios europeos señalan que existe una relación causal entre el PIB y el gasto en defensa, Dunne y Nikolaidou (2005). Así, hay variables que inciden en el gasto militar que difieren entre países, como es el caso de la OTAN. Por tanto, se reconoce que es posible agruparlos convenientemente en tres grupos: factores económicos / políticos, desigualdad de ingresos y diferentes tradiciones en defensa y seguridad entre los miembros de la Alianza (Neira y González, 2007).

La necesidad existente de análisis económico para determinar la eficiencia de una organización militar (OTAN) se basa en los fundamentos de la teoría económica. Se trata de comparar las actuaciones realizadas en un período de tiempo buscando la máxima optimización de inputs. Existe una marcada diferencia entre efectividad y eficiencia, en función de cómo se hayan cumplido estos objetivos.

Hay que tener en cuenta que son fundamentales para una mejor planificación, una distribución óptima de los recursos y una evaluación precisa del desempeño de los países de la OTAN. La eficacia se define como la capacidad de obtener los outputs en el menor tiempo posible. La eficiencia, en cambio, es la capacidad de lograr un fin deseable en cuanto a factores y resultados productivos, maximizando la producción o minimizando los recursos necesarios.

Hildebrandt (2007) analiza tres métodos para estimar la función de producción militar que relaciona los inputs militares con una medida de la eficacia militar: análisis econométrico, la producción y el análisis de la función de producción.

Otros autores como Martí y Fonfría (2018) analizan un modelo de comportamiento de agentes gubernamentales, las empresas, la innovación de productos y la imitación de los procesos productivos, entre otros.

La medición de la eficiencia es un problema asociado a la agregación de indicadores en una única variable compuesta. Al seleccionar las variables involucradas, cada país se enfrenta al problema del coste de oportunidad al redistribuir los inputs disponibles para aprovechar al

máximo los recursos invertidos en el sector público de defensa nacional. Adecuándonos a la conceptualización actual de eficiencia relativa y la estimación de su función de producción, utilizaremos la técnica de frontera econométrica denominada Análisis Envoltente de Datos –DEA-, de manera que el cálculo de la distancia de cada unidad –país- se realizará, a esta frontera, centrando nuestra atención en los 27 países de la OTAN.

Las preguntas más relevantes que se responderán en nuestra investigación son las siguientes: ¿Qué países de la OTAN pueden servir de referencia a otros, para ser más eficientes? ¿Cuál es el nivel relativo de eficiencia de los países de la OTAN? ¿Cómo evoluciona el grado de eficiencia relativa de los países de la OTAN a lo largo del tiempo?

Para dar respuesta a estas preguntas, y resolver el objetivo de este trabajo, consideramos la siguiente estructura de variables en nuestro análisis. Vamos a considerar cuatro inputs: gasto en personal, gasto en equipo, gasto en infraestructura y otros gastos (operaciones. Mantenimiento, I + D) a nivel macroeconómico.

Como output, asociada al desempeño del sector de defensa de los países de la OTAN, consideraremos el Índice de Paz Global, que desarrolla métricas para analizar la paz, cuantificar sus beneficios económicos, medir el nivel de paz negativa⁵ en un país utilizando indicadores que determinan la seguridad y protección de la sociedad.

Además, consideraremos varias variables incontrolables (variables exógenas): la población, la superficie y los kilómetros de costa del país. Adaptaremos nuestra metodología para medir la eficiencia de un país utilizando este tipo de variables exógenas.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera. En primer lugar, se presenta una revisión de la literatura existente; señalando los conceptos necesarios para realizar el análisis antes de establecer un modelo general para la función de producción.

En segundo lugar, se realizan los cálculos de eficiencia y ciertos análisis de *benchmarking* del grupo de países de la OTAN, asumiendo rendimientos variables a escala (VRS), con orientación al output, por años, para el período 2010-2017.

Finalmente, se proponen líneas de investigación que, junto con la evaluación de la eficiencia, pueden mejorar la administración militar y permitir que los medios militares ofrezcan mejores y más eficientes servicios a la ciudadanía.

⁵ Paz negativa: aquella que solo busca el cese de la guerra, es decir, detener las guerras y la violencia directa Global Peace Index (2019).

2. Revisión de la literatura

Los estudios de defensa actuales se centran en gran medida en la interacción del gasto militar en varios aspectos. En la literatura, destacamos a los siguientes autores, que analizan estos casos: Smith (1980), estudia los gastos e inversiones militares en la OCDE 1954-1973. Ward y Davis (1992), se centran en el dividendo de la paz, en relación con el crecimiento económico y el gasto militar.

Dunne *et al.* (2018) revisan el crecimiento y la defensa en los países de la OTAN. MacNair *et al.* (1995) analizan la demanda de gasto militar en Turquía 1960-1992. Chletsos y Kollias (1995) estudian las distribuciones de la carga neta aportada a la OTAN. Chen y Sherman (2004) estudian fórmulas para mejorar la eficiencia a través de DEA. Ebrahimnejad y Tavana (2014) analizan el gasto del ministerio de defensa y el crecimiento económico en Turquía.

En cuanto a la productividad en los sectores de seguridad industrial y tecnológica, destacamos el trabajo de Martínez y Rueda (2013), que da lugar a supuestos, que se apoyan en una amplia variedad de metodologías estadísticas. Así, desglosan el crecimiento de la productividad de 5 subsectores productivos y tecnológicos, en defensa y seguridad en España. Neira y González (2007) analizan los determinantes del gasto y la demanda militares en los países en desarrollo, la OTAN y la región Asia-Pacífico.

Grautoff y Miranda (2009) estudian el gasto militar en Colombia. Haerpfer y Wallace (1997) analizan la seguridad interna y externa en la Europa del Este poscomunista. Hartley (2011) estudia los resultados de la defensa desde una perspectiva económica, evaluando 12 naciones. Scalco *et al.* (2012) calculan un índice de eficiencia en la lucha contra la delincuencia en Minas Gerais (Brasil).

Duch-Brown *et al.* (2014) estudian la relación entre estructura y productividad de los mercados españoles de Defensa. Díez Nicolás y Gil Calvo (2015) analizan la percepción de la seguridad y protección ciudadana a nivel internacional. Hanson (2016) se centra en la eficiencia y la productividad en 11 distritos de las unidades operativas de la Guardia Nacional Noruega.

3. Metodología y descripción de datos

Ante la presión de la demanda y la búsqueda de la eficiencia en un entorno desafiante, es fundamental contar con estudios que evalúen el desempeño de la eficiencia técnica, enfrentando al análisis problemas como: la homogeneidad de la muestra, conceptualización

y medición de inputs / outputs, así como el secreto que afecta a la documentación clasificada. DEA⁶ se utilizó en este estudio para estimar la eficiencia de los diferentes países de la OTAN y su evolución a lo largo del período 2010-2017. DEA es una metodología no paramétrica basada en Programación Matemática, que permite el análisis de eficiencia de una muestra de unidades homogéneas que consumen el mismo conjunto de inputs, para producir el mismo conjunto de outputs (Cooper *et al.*, 2000). Frente a otras posibilidades, como las fronteras estocásticas. La DEA no requiere la especificación funcional de una frontera de producción, además de poder tratar con facilidad un contexto de múltiples productos. En DEA, existen múltiples medidas de eficiencia que utilizan diferentes métodos para calcular la distancia de la unidad evaluada a la frontera de la tecnología estimada.

3.1. Análisis envolvente de datos (DEA)

Para capturar el desempeño subyacente involucrado en los sistemas de defensa de los países de la OTAN, comenzamos midiendo la eficiencia de cada país sobre una base anual (t) en lo que respecta a su combinación de inputs y outputs. La eficiencia se calcula sobre la base de un modelo estándar de análisis envolvente de datos (DEA) (ver Charnes *et al.*, 1978 y Banker *et al.*, 1984). Durante un período t , vamos a definir un vector de entrada como $X^t = (x_1^t, \dots, x_m^t) \in R_+^m$ y un vector de output como $Y^t = (y_1^t, \dots, y_s^t) \in R_+^s$. Suponemos que para cada período t tenemos n DMUs (Decision Making Units) que usan m inputs para producir s outputs, denotadas como (X_j^t, Y_j^t) . $j = 1, \dots, n$, que proceden de una tecnología de referencia $T^t = \{(X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : X^t \text{ produce } Y^t\}$. La eficiencia relativa de cada DMU (país, en nuestro contexto) se puede determinar calculando la distancia de esa unidad a la frontera de las tecnologías de referencia T^t . Esta distancia se puede calcular siguiendo las contribuciones fundamentales de Charnes *et al.* (1978) y Banker *et al.* (1984). La formulación matemática de la primera medida DEA de eficiencia técnica publicada en la literatura explota la noción de productividad, definida como una relación de *outputs e inputs*:

⁶ Win4Deap, versión 2.2.1.0.1. (Coelli, 1996)

$$\begin{aligned}
& \max_{v^t, \mu^t} \frac{\sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t} \\
& \text{s.t.} \\
& \frac{\sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t}{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mj}^t} \leq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
& v_{ik}^t \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
& \mu_{rk}^t \geq 0, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{2.1}$$

Donde $(v_{1k}^{t*}, \dots, v_{mk}^{t*})$ y $(\mu_{1k}^{t*}, \dots, \mu_{sk}^{t*})$ denotan los pesos óptimos de inputs y outputs cuando la eficiencia relativa de la unidad (X_k^t, Y_k^t) se evalúa con respecto a todas las $j = 1, \dots, n$ unidades, incluida ella misma. El modelo (2.1) identifica las ponderaciones de inputs y outputs más favorables que dan como resultado el máximo nivel de productividad factible de (X_k^t, Y_k^t) en relación con el de las observaciones restantes. Tenga en cuenta que, dado que las ponderaciones constituyen funciones de agregación, tanto la función objetivo como el conjunto de $j = 1, \dots, n$ restricciones en (2.1) representan definiciones adecuadas de productividad: una relación entre los outputs agregada y los inputs, que normaliza la productividad máxima a través de las restricciones del modelo (2.1).

En DEA, hay dos posibles orientaciones para los modelos de eficiencia. El primero está asociado a la orientación del input, donde el objetivo es minimizar el consumo de recursos dado un cierto nivel de producción; mientras que bajo la orientación output, los modelos DEA apuntan a maximizar los outputs para un nivel fijo de inputs. Además, los modelos se pueden ejecutar bajo el supuesto de rendimientos constantes a escala (CRS) y rendimientos variables a escala (VRS). El modelo (2.1) anterior corresponde a un modelo DEA bajo CRS y asumiendo orientación input. En este artículo, aplicaremos un modelo VRS bajo orientación output. El supuesto de VRS se debe a la existencia de diferentes 'tamaños' entre los países de la OTAN analizados, mientras que el supuesto de orientación output se debe a que entendemos que los recursos (personal, equipo, infraestructura y otros gastos de defensa) son fijos y el objetivo es la maximización de la percepción de seguridad ciudadana (nuestro output seleccionado). En este sentido, el modelo análogo a (2.1) pero bajo VRS y orientación output sería el siguiente:

$$\begin{aligned}
& \min_{v^t, \mu^t, \pi} \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t + \pi}{\sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t} \\
& s.t. \\
& \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t + \pi}{\sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t} \geq 1, \quad j = 1, \dots, n \\
& v_{ik}^t \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
& \mu_{rk}^t \geq 0, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{2.2}$$

El modelo (2.2) no es lineal, pero se puede linealizar fácilmente a través del modelo (2.3):

$$\begin{aligned}
& \min_{v^t, \mu^t, \pi} \sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t + \pi \\
& s.t. \quad \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t = 1 \\
& -\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{ij}^t + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{rj}^t - \pi \leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
& v_{ik}^t \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\
& \mu_{rk}^t \geq 0, \quad r = 1, \dots, s
\end{aligned} \tag{2.3}$$

Por lo general, en la literatura, en lugar de resolver el modelo (2.3), los investigadores y los profesionales resuelven su programa lineal dual (2.4):

$$\begin{aligned}
& Max_{\lambda_k^t, \phi_k} \quad \phi_k \\
& s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t x_{ij}^t \leq x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
& \quad \quad \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t y_{rj}^t \geq \phi_k y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
& \quad \quad \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t = 1, \\
& \quad \quad \lambda_{jk}^t \geq 0, \quad j = 1, \dots, n
\end{aligned} \tag{2.4}$$

El modelo (2.4) se conoce como el modelo BBC orientación output en la literatura sobre DEA (Banker *et al.*, 1984). Se puede demostrar que ϕ_k^* , en el óptimo, es siempre mayor o igual a uno y, además, se puede interpretar como la puntuación de eficiencia para la DMU k . Además, es bien sabido que la inversa de ϕ_k^* es la estimación de la famosa función de distancia de outputs de Shephard (Shephard, 1953) bajo el supuesto de fronteras de producción lineal a trozos. En particular, cuando un país k presenta un valor de la función de distancia de outputs de Shephard igual a uno, entonces la distancia desde la unidad

evaluada a la frontera de referencia será cero (ver, por ejemplo, la unidad B en la Figura 2 con respecto a la frontera de producción). Este tipo de unidad se evaluaría como técnicamente eficiente.

Por el contrario, si la unidad evaluada funciona de manera ineficiente y presenta un valor de la función de distancia de salida de Shephard estrictamente menor que uno, entonces la distancia desde este punto a la frontera de referencia será estrictamente mayor que cero (ver, por ejemplo, la unidad D en la Figura 2 con respecto a la frontera de producción). En el ejemplo gráfico, la función lineal a trozos corresponde a la función de producción estimada por DEA, cuya parte superior envuelve a todas las observaciones.

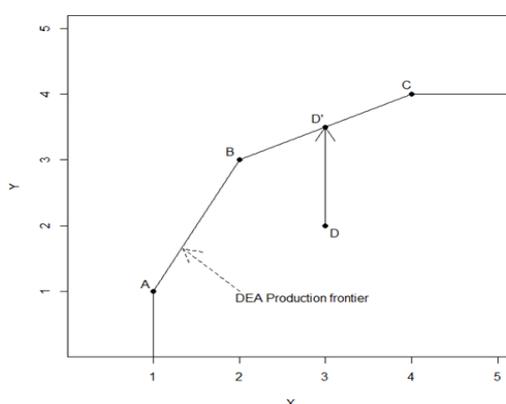


Figura 2. Ilustración de una tecnología DEA bajo Rendimientos Variables a Escala
Fuente: Elaboración propia.

El uso del modelo (2.4) tiene varias ventajas adicionales. Por ejemplo, el valor óptimo de las variables de decisión λ_{jk}^* , también llamado "variables de intensidad", da información sobre las DMUs eficientes que son clave en la evaluación de la eficiencia técnica de la unidad evaluada k . Valores estrictamente positivos para λ_{jk}^* indican que la DMU j es un par (una unidad de referencia) para la unidad evaluada k . De hecho, el punto de proyección en la frontera de producción asociado con la unidad se puede expresar como una combinación convexa de unidades pares. En la Figura 2, D' denota el punto de proyección vinculado a la unidad ineficiente D , mientras que las DMUs eficientes B y C son los pares de D . Observe que el punto D' es el punto medio entre B y C .

Por otro lado, en la mayoría de los estudios empíricos que utilizan datos sobre servicios públicos, los resultados de la medición de la eficiencia dependen de variables que escapan al control de las DMUs consideradas, comúnmente conocidas como variables contextuales, exógenas o ambientales. Estos factores no forman parte del proceso de producción, pero tienen un impacto tanto en el nivel de producción, así como en el uso de inputs.

Por tanto, deben ser consideradas en la estimación de la eficiencia y deben tratarse específicamente de acuerdo con sus características. Esta es la única manera de reflejar adecuadamente si los outputs se están desempeñando de manera eficiente o si existen factores que no les permiten alcanzar los objetivos de producción que son factibles para otros, incluso cuando están haciendo su mejor esfuerzo. La incorporación de los efectos de variables exógenas en la estimación de medidas de eficiencia ha sido uno de los temas que ha generado más discusiones controvertidas en la literatura, ya que existen múltiples enfoques que se pueden utilizar para abordarlas (Badin *et al.*, 2014).

En DEA, el modelo más conocido para incorporar el efecto de variables exógenas es probablemente el enfoque de Banker y Morey (1986), que adapta la formulación original de DEA para considerar explícitamente el carácter exógeno de este tipo de variables. En este trabajo adoptamos esta formulación por su sencillez y también debido a la existencia de un elevado número de artículos que han demostrado su fiabilidad en la práctica. De esta forma, supondremos que, durante un período de tiempo t , hemos observado adicionalmente h variables exógenas para cada DMU j , $j = 1, \dots, n$: $Z_j^t = (z_{1j}^t, \dots, z_{hj}^t) \in R_+^m$. Así, bajo el enfoque de Banker y Morey (1986), la unidad debe evaluarse resolviendo el siguiente programa de optimización lineal:

$$\begin{aligned}
 & \underset{\lambda_k^t, \phi_k}{\text{Max}} && \phi_k \\
 & \text{s.t.} && \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t x_{ij}^t \leq x_{ik}^t, \quad i = 1, \dots, m \\
 & && \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t y_{rj}^t \geq \phi_k y_{rk}^t, \quad r = 1, \dots, s \\
 & && \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t z_{lj}^t \geq z_{lk}^t, \quad l = 1, \dots, h \\
 & && \sum_{j=1}^n \lambda_{jk}^t = 1, \\
 & && \lambda_{jk}^t \geq 0, \quad j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

En el modelo (2.5), las variables exógenas se han incorporado al modelo (2.4) a través de restricciones adicionales de tal manera que se evalúa la unidad evitando su comparación con unidades que presentan un contexto productivo más favorable. En nuestro estudio empírico recurrimos a variables exógenas como, por ejemplo, kilómetros de costa. De esta forma, el modelo (2.5) no permite la comparación entre un país con una determinada cantidad de kilómetros de costa y otro con menos kilómetros a defender. En este documento, evaluamos

el desempeño de la eficiencia técnica de un panel de países de la OTAN durante los años 2010-2017 (Resumen anual 2017 del Secretario General de la OTAN). Para ello recurrimos a la resolución del programa de optimización (2.5) para cada país y año y reportaremos los principales resultados año a año.

3.2. Índice de paz global (GPI)

La paz es difícil de definir. La fórmula más simple es en términos de la armonía lograda por la ausencia de violencia o el miedo a la violencia, que se describe como paz negativa, siendo un complemento de la paz positiva, que se define como las actitudes, instituciones y estructuras que crean y sostienen sociedades pacíficas (Global Peace Index, 2019).

En este artículo, utilizamos el Índice de Paz Global como el output asociado con el desempeño del sector de defensa de los países de la OTAN. Este índice, creado por el Instituto para la Economía y la Paz, ha desarrollado métricas para analizar la paz y cuantificar sus beneficios económicos. Mide el nivel de paz negativa de un país utilizando diferentes dominios de la paz: conflicto nacional e internacional en curso, investigando en qué medida los países están involucrados en conflictos internos y externos, así como su papel y duración de la participación, evaluando el nivel de armonía, o discordia de una nación.

Mediante el uso de varios indicadores determinan la seguridad y protección de la sociedad. Otros indicadores están relacionados con la militarización y el vínculo entre el nivel de acumulación militar, el acceso a las armas y su nivel de paz, tanto a nivel nacional como internacional, el gasto militar como porcentaje del PIB y el número de oficiales armados. Los datos provienen de diversas fuentes de información.⁷ Incluye 23 indicadores de ausencia de violencia o miedo a la violencia.

3.3. Selección de variables

Como se ha señalado, la muestra está formada por 27 países del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), teniendo en cuenta que se han descartado aquellos países que no aportan datos / índices económicos completos. Todos ellos, a través de sus ministerios de defensa, aportan a la Alianza una contribución económica de un porcentaje de su PIB y de un número de efectivos militares. De esta forma, cada país es premiado con un índice de seguridad

⁷ Fuentes de información: Programa de datos sobre conflictos de Uppsala, Suecia; Unidad de Inteligencia Económica; Estudio de tendencias y operaciones delictivas del sistema de justicia penal de las Naciones Unidas; Centro Internacional de Estudios Penitenciarios de Kings College, Reino Unido; Instituto Internacional de Estudios Estratégicos, Centro Internacional de Conversión de Estocolmo y Bonn.

ciudadana. Luxemburgo e Islandia están excluidos del estudio porque no cumplen todos los requisitos necesarios para el análisis de al menos algunas de las variables utilizadas en nuestros cálculos. Basado en datos del Instituto de Economía y Paz y del Centro de Estudios de Paz y Conflictos de la Universidad de Sydney, se selecciona la variable del Índice de Seguridad y Protección o Paz de cada país como variable output.

Por otro lado, consideramos diversos inputs de cada país: gastos de personal, gastos de equipamiento, gastos de infraestructura y otros gastos (operaciones, Mantenimiento, I + D). Y, finalmente, como variables incontrolables: población, superficie y número de kilómetros de las costas del país. Tablas: I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII.

En cuanto al período en estudio, hemos seleccionado el período de 2010 a 2017, por varias razones: (1) Período lo suficientemente cercano a la realidad, con datos confiables de los sitios web oficiales de la OTAN y el Instituto para la Economía y la Paz; (2) Buscar la tendencia actual de las variables, teniendo en cuenta que la crisis de 2007 es un período de reducción / contención del gasto en defensa, aunque a partir de 2016 tiende a mejorar, pero muy poco. En este sentido es un período homogéneo.

Tabla I. Índice de Paz Global. Instituto de Economía y Paz

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	1.930	1.912	1.93	1.960	1.939	1.821	1.867	1.908
Bélgica	1.400	1.413	1.38	1.340	1.354	1.368	1.528	1.525
Bulgaria	1.785	1.413	1.700	1.660	1.637	1.607	2.000	1.631
Croacia	1.707	1.699	1.650	1.570	1.548	1.550	1.633	1.665
R. Checa	1.360	1.320	1.400	1.40	1.381	1.341	1.360	1.360
Dinamarca	1.341	1.289	1.240	1.210	1.193	1.150	1.246	1.337
Estonia	1.751	1.798	1.720	1.710	1.635	1.677	1.732	1.712
Francia	1.636	1.697	1.710	1.860	1.808	1.742	1.829	1.839
Alemania	1.398	1.416	1.420	1.430	1.423	1.379	1.486	1.500
Grecia	1.887	1.947	1.980	1.960	2.052	1.878	2.044	1.998
Hungría	1.495	1.495	1.480	1.520	1.482	1.463	1.534	1.494
Italia	1.701	1.775	1.690	1.660	1.675	1.669	1.774	1.737
Letonia	1.827	1.793	1.770	1.770	1.745	1.695	1.680	1.670
Lituania	1.713	1.760	1.740	1.780	1.797	1.674	1.735	1.732
Montenegro	2.060	2.110	2.010	1.980	1.860	1.854	1.884	1.950
Países Bajos	1.610	1.628	1.610	1.510	1.475	1.432	1.541	1.525
Noruega	1.322	1.356	1.480	1.360	1.371	1.393	1.500	1.486
Polonia	1.618	1.545	1.520	1.530	1.532	1.430	1.557	1.676
Portugal	1.366	1.453	1.470	1.470	1.425	1.344	1.356	1.241
Rumania	1.749	1.742	1.630	1.580	1.677	1.542	2.000	1.600
R. Eslovaca	1.536	1.580	1.590	1.620	1.381	1.478	1.603	1.611
Eslovenia	1.358	1.358	1.330	1.370	1.398	1.378	1.408	1.364
España	1.588	1.641	1.550	1.560	1.548	1.451	1.604	1.568
Turquía	2.420	2.410	2.340	2.440	2.402	2.363	2.710	2.777
R. Unido	1.631	1.631	1.610	1.790	1.798	1.685	1.830	1.786
Canadá	1.392	1.352	1.32	1.310	1.306	1.287	1.388	1.373
EE.UU.	2.056	2.060	2.06	2.130	2.137	2.038	2.154	2.232

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla II. Gastos de personal (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	140.73	151.828	128.745	133.193	117.046	118.788	101.395	105.71
Bélgica	3962.07	3897.9	4022.57	3863.91	3812.60	3669.77	3665.81	3589.74
Bulgaria	534.976	458.722	447.146	494.851	506.238	507.517	469.326	493.765
Croacia	658.352	639.458	607.038	576.468	559.54	509.756	497.433	494.000
R. Checa	1347.56	1270.80	1360.84	1326.20	1249.49	1281.71	1369.54	1421.61
Dinamarca	2288.48	2238.15	2168.50	2095.99	1976.46	1978.98	2014.56	2035.34
Estonia	114.573	113.626	123.463	169.676	173.404	189.492	196.209	180.886
Francia	24758.9	24891.6	24909.1	24965.0	24341.6	23712.9	24150.2	24516.3
Alemania	24357.9	23728.2	23617.5	21830.2	21891.5	21814.7	21865.3	23355.6
Grecia	5141.83	4928.26	4231.85	4026.99	4182.38	4079.47	4300.04	4219.51
Hungría	761.289	704.909	645.723	619.344	598.733	639.747	748.873	684.922
Italia	21514.9	20748.5	19919.7	18402	16909.5	16161.4	16510.3	15749.1
Letonia	140.334	131.354	130.268	132.45	136.133	147.677	185.131	197.478
Lituania	213.856	208.634	206.35	214.892	221.491	245.84	309.4	348.10
Montenegro	54.486	62.16	57.049	55.238	51.83	49.939	49.711	55.313
Países Bajos	5865.82	5832.22	5965.17	5704.92	5517.79	5434.98	5293.48	5407.92
Noruega	2774.42	2835.98	2778.43	2731.52	2734.34	2644.37	2714.36	2776.66
Polonia	4823.17	5009.53	5105.55	5141.07	5107.44	5180.38	5382.17	5698.65
Portugal	2484.37	2731.89	2473.20	2557.59	2380.39	2475.83	2405.59	2422.05
Rumania	1649.4	1724.59	1755.6	1788.33	1750.29	1740.75	1817.68	2061.05
R. Eslovaca	709.998	694.005	679.937	655.108	666.51	642.261	687.024	698.978
Eslovenia	476.247	467.93	434.794	394.548	384.388	374.969	386.232	390.676
España	9344.11	8632.04	8193.61	8544.21	8457.90	8558.13	8569.43	8583.55
Turquía	7031.66	7437.11	8004.69	8077.29	8481.37	8595.73	9468.66	9369.82
Reino de U.	21507.2	22292.6	21207.1	22054.8	21002.2	20520.0	20510.3	20142.2
Canadá	8466.57	9659.43	9111.48	8997.65	9169.63	11620.2	11207.27	11423.97
EE.UU.	336437.5	239659.5	220433.1	221672.6	216631.1	217545.2	271431	259853.3

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla III. Gastos de equipos (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	29.183	26.319	26.57	28.833	28.638	13.558	11.935	10.788
Bélgica	356.136	322.09	182.891	141.886	172.41	161.37	221.536	250.107
Bulgaria	128.211	43.107	25.429	34.216	7.159	23.908	65.423	267.042
Croacia	74.704	150.321	131.155	90.798	59.388	84.746	74.767	71.381
R. Checa	330.372	300.314	326.195	202.896	132.886	272.714	148.07	281.336
Dinamarca	635.064	414.885	399.216	456.143	423.665	437.575	556.639	503.118
Estonia	39.442	35.587	56.814	61.685	99.454	61.408	90.55	99.663
Francia	15695.24	14208.67	15510.48	12439.41	12343.65	12424.6	12311.89	12350.15
Alemania	8136.255	7446.53	7678.038	5577.954	5590.598	5219.614	5521.728	6587.488
Grecia	1420.78	379.845	431.915	651.361	442.732	588.848	790.86	904.222
Hungría	163.471	171.077	79.074	140.162	93.353	129.383	201.62	247.741
Italia	3129.235	3257.38	2293.161	3069.454	2416.596	2025.648	4452.361	4965.921
Letonia	39.206	27.597	24.244	30.225	19.404	40.12	80.391	91.266
Lituania	32.6	29.266	34.608	29.813	54.131	109.259	204.408	255.249
Montenegro	2.708	1.298	3.064	0.832	4.924	3.475	2.944	6.232
Países Bajos	1761.54	1539.681	1390.215	1225.198	1043.009	1092.676	1445.815	1782.48
Noruega	1178.269	1112.712	1164.346	1257.885	1470.68	1536.742	1751.081	1997.195
Polonia	1539.781	1397.987	1349.846	1238.49	1870.247	4098.872	2467.923	2632.889
Portugal	467.28	421.122	294.677	277.06	246.915	263.001	294.122	320.022
Rumania	183.568	165.026	86.526	242.474	387.942	540.375	571.223	1251.64
R. Eslovaca	111.638	71.429	97.703	69.023	107.197	208.758	179.244	261.989
Eslovenia	138.96	35.739	6.612	6.223	3.082	8.436	5.182	20.772
España	1783.903	897.701	3275.152	1548.6	1694.344	1945.866	784.833	2695.097
Turquía	3954.693	3446.434	3030.697	3979.451	3739.679	3801.666	4200.087	5346.144
R. Unido	14762.51	13066.9	10652.62	12755.08	13098.45	12128.02	12769.34	13031.85
Canadá	2581.089	1982.737	1542.087	1914.833	2347.355	2263.091	2238.922	4705.272
EE.UU.	173045.6	195953.1	185089.7	166544.6	158699.8	150868.6	151063	175603.3

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla IV. Gastos de infraestructura (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	3.367	1.537	1.178	2.071	1.479	2.128	2.041	1.426
Bélgica	91.788	86.815	81.456	113.909	88.654	43.626	45.163	61.819
Bulgaria	19.885	10.419	5.252	3.558	4.379	8.75	4.505	4.52
Croacia	13.064	6.759	5.079	10.249	13.17	20.986	12.597	24.318
R. Checa	154.014	56.676	35.533	58.154	47.619	76.991	86.411	101.2
Dinamarca	48.193	62.147	54.82	46.992	37.394	41.475	87.89	115.177
Estonia	45.58	47.77	36.73	49.16	36.82	40.48	61.60	58.43
Francia	1626.69	1351.77	1734.66	1120.71	1167.24	1389.33	1360.15	1471.59
Alemania	2386.76	1874.11	1647.63	1554.30	1620.15	1575.07	1533.06	1873.24
Grecia	60.06	81.67	45.68	34.03	59.61	36.80	34.10	21.63
Hungría	27.97	18.24	28.57	29.35	12.87	16.06	17.04	26.49
Italia	401.18	363.47	263.70	385.22	309.82	270.92	163.26	305.92
Letonia	14.51	23.78	9.65	15.65	22.85	19.59	54.14	93.07
Lituania	6.42	4.27	4.54	6.59	8.36	10.95	24.41	42.69
Montenegro	4.34	1.88	0.02	0.06	0.63	1.58	1.59	1.24
Países Bajos	389.33	402.26	383.58	267.07	465.84	312.33	398.78	354.37
Noruega	340.55	275.57	318.62	375.57	416.82	382.65	506.76	594.78
Polonia	336.32	416.02	423.83	500.74	543.01	585.20	527.37	561.30
Portugal	15.22	0.35	1.26	1.28	3.22	7.56	1.77	0.31
Rumania	37.76	32.05	24.87	26.26	26.81	34.93	77.45	78.79
R. Eslovaca	48.02	10.09	3.78	2.71	5.50	22.73	43.88	50.68
Eslovenia	20.61	16.37	11.13	6.52	3.04	2.78	5.79	2.33
España	184.29	250.40	121.78	83.88	82.90	127.36	114.48	127.01
Turquía	401.41	408.19	528.69	402.53	413.04	387.28	397.20	351.72
R. Unido	977.33	973.64	1041.28	1188.69	1119.28	908.90	1160.85	1153.52
Canadá	768.16	1123.62	1015.07	706.91	686.37	784.63	639.39	874.67
EE.UU.	6988.10	22797.06	16333.46	13411.26	10449.62	8609.19	7357.16	7473.80

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla V. Otros gastos (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	12.70	17.32	27.51	12.92	24.84	17.53	33.63	37.08
Bélgica	835.53	829.63	835.56	875.80	824.33	816.23	821.49	817.33
Bulgaria	149.01	168.75	213.17	224.38	177.30	148.82	175.68	138.76
Croacia	173.97	155.46	147.73	169.49	175.98	185.51	156.20	197.22
R. Checa	828.06	630.21	484.44	550.54	605.01	687.58	606.20	725.86
Dinamarca	1532.26	1570.82	1798.46	1451.88	1417.87	1346.97	1409.91	1504.36
Estonia	132.44	155.02	198.00	145.44	139.33	187.67	158.69	179.07
Francia	10030.40	9986.92	8566.78	12185.85	12238.45	12092.15	12553.70	12758.92
Alemania	11369.48	12329.20	13731.79	14816.17	14097.47	15142.57	16302.89	16087.84
Grecia	1279.33	1091.57	1072.56	688.63	734.28	956.88	754.99	699.65
Hungría	398.14	497.78	600.50	476.15	498.04	541.81	540.47	656.01
Italia	3610.66	3376.69	3376.40	2681.79	2494.05	2379.93	2197.03	2696.40
Letonia	56.95	73.27	67.81	71.70	78.62	87.59	102.34	148.19
Lituania	73.12	69.86	63.53	71.71	101.02	140.90	141.78	174.96
Montenegro	12.46	9.67	8.87	6.87	8.62	9.01	11.75	13.22
Países Bajos	3203.31	2895.84	2627.00	2549.82	2739.36	2951.01	3087.95	3066.29
Noruega	2205.11	2305.74	2294.60	2294.03	2324.47	2269.24	2308.81	2457.36
Polonia	1793.72	1843.47	2023.88	2029.70	2406.31	2482.78	3037.53	2997.97
Portugal	573.13	335.64	385.54	367.06	298.47	276.61	254.51	361.62
Rumania	215.28	258.33	223.21	206.70	294.71	433.95	329.65	378.51
R. Eslovaca	268.34	223.58	240.68	207.26	184.70	268.26	259.97	271.36
Eslovenia	136.10	106.90	98.46	82.71	76.50	69.81	110.74	104.22
España	3429.22	3540.19	2737.89	2342.31	2323.60	2498.64	2334.44	2551.34
Turquía	2746.24	2733.86	2724.91	2338.24	2276.91	2343.33	2347.06	2516.56
R. Unido	23081.88	23034.78	21610.54	22270.41	22173.23	22204.03	24786.50	24827.35
Canadá	6872.31	7740.26	6888.36	5538.60	5811.64	6947.06	7016.42	7225.09
EE.UU.	203879.71	267611.34	264423.68	243208.00	225308.51	216773.38	173255.12	174738.56

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla VI. PIB (1.000 millones de dólares a precios constantes y tasa de 2010)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	0.012	0.012	0.012	0.013	0.013	0.013	0.013	0.014
Bélgica	0.484	0.492	0.493	0.494	0.501	0.508	0.516	0.525
Bulgaria	0.051	0.052	0.052	0.052	0.053	0.055	0.057	0.059
Croacia	0.060	0.059	0.058	0.058	0.057	0.059	0.060	0.062
R. Checa	0.207	0.211	0.209	0.208	0.214	0.225	0.231	0.241
Dinamarca	0.322	0.326	0.327	0.330	0.335	0.341	0.348	0.355
Estonia	0.019	0.021	0.022	0.022	0.023	0.023	0.024	0.025
Francia	2.647	2.702	2.707	2.722	2.748	2.778	2.811	2.861
Alemania	3.417	3.542	3.560	3.577	3.646	3.710	3.782	3.878
Grecia	0.299	0.272	0.252	0.244	0.246	0.245	0.244	0.248
Hungría	0.131	0.133	0.131	0.134	0.139	0.144	0.147	0.153
Italia	2.125	2.137	2.077	2.041	2.043	2.064	2.083	2.116
Letonia	0.024	0.025	0.026	0.027	0.027	0.028	0.029	0.030
Lituania	0.037	0.039	0.041	0.042	0.044	0.045	0.046	0.047
Montenegro	0.004	0.043	0.004	0.004	0.004	0.005	0.005	0.005
Países Bajos	0.836	0.850	0.841	0.840	0.852	0.871	0.890	0.919
Noruega	0.429	0.433	0.445	0.450	0.459	0.468	0.473	0.483
Polonia	0.479	0.503	0.511	0.519	0.536	0.556	0.572	0.597
Portugal	0.238	0.234	0.225	0.222	0.224	0.228	0.232	0.238
Rumania	0.168	0.170	0.171	0.177	0.182	0.190	0.198	0.210
R. Eslovaca	0.090	0.092	0.094	0.095	0.098	0.101	0.105	0.108
Eslovenia	0.048	0.048	0.047	0.047	0.048	0.049	0.051	0.053
España	1.432	1.417	1.376	1.352	1.371	1.418	1.464	1.510
Turquía	0.772	0.858	0.899	0.975	1.025	1.088	1.123	1.191
R. Unido	2.441	2.476	2.513	2.564	2.643	2.705	2.753	2.795
Canadá	1.613	1.664	1.693	1.735	1.780	1.796	1.823	1.878
EE.UU.	14.964	15.204	15.542	15.803	16.209	16.673	16.920	17.300

Fuente: OTAN. Elaboración propia

Tabla VII. Población (millones)

País / Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	2.92	2.880	2.881	2.883	2.890	2.897	2.904	2.911
Bélgica	10.839	11.000	11.094	11.161	11.180	11.237	11.311	11.351
Bulgaria	7.421	7.369	7.327	7.284	7.245	7.202	7.153	7.101
Croacia	4.302	4.289	4.275	4.262	4.246	4.225	4.190	4.154
R. Checa	10.462	10.486	10.505	10.516	10.512	10.538	10.553	10.578
Dinamarca	5.534	5.560	5.580	5.602	5.627	5.659	5.707	5.748
Estonia	1.333	1.329	1.325	1.320	1.315	1.314	1.315	1.315
Francia	64.658	64.978	65.276	65.600	65.942	66.488	66.759	66.989
Alemania	81.802	80.222	80.327	80.523	80.767	81.197	82.175	82.521
Grecia	11.119	11.123	11.086	11.003	10.926	10.858	10.783	10.768
Hungría	10.014	9.985	9.931	9.908	9.877	9.855	9.830	9.797
Italia	59.190	59.364	59.394	59.685	60.782	60.795	60.665	60.589
Letonia	2.121	2.070	2.045	2.024	2.001	1.986	1.969	1.950
Lituania	3.141	3.052	3.003	2.971	2.943	2.921	2.888	2.847
Montenegro	0.631	0.632	0.620	0.621	0.621	0.622	0.622	0.622
Países Bajos	16.574	16.655	16.730	16.779	16.829	16.900	16.979	17.081
Noruega	4.858	4.920	4.986	5.051	5.108	5.166	5.211	5.258
Polonia	38.022	38.062	38.063	38.062	38.017	38.005	37.967	37.972
Portugal	10.573	10.572	10.542	10.487	10.427	10.374	10.341	10.309
Rumania	20.294	20.199	20.095	20.020	19.947	19.870	19.760	19.644
R. Eslovaca	5.390	5.392	5.404	5.410	5.415	5.421	5.426	5.435
Eslovenia	2.046	2.050	2.055	2.058	2.061	2.062	2.064	2.065
España	46.486	46.667	46.818	46.727	46.512	46.449	46.445	46.528
Turquía	72.560	73.720	74.720	75.630	76.670	77.700	78.740	79.810
R. Unido	62.510	63.022	63.495	63.905	64.351	64.875	65.382	65.808
Canadá	34.000	33.480	34.710	35.080	35.440	35.700	35.150	36.540
EE.UU.	309.300	311.600	314.000	316.200	318.600	321.000	323.400	325.700

Fuente: OTAN. Elaboración propia.

Tabla VIII. Extensión de fronteras y costas

País / Años	Extensión (miles de km ²)	Costas (km)
Albania	28.748	362
Bélgica	30.52	66.5
Bulgaria	111.91	354
Croacia	56.594	5835
R. Checa	78.866	0
Dinamarca	43.098	7314
Estonia	45.226	3794
Francia	675.417	5500
Alemania	357.021	2389
Grecia	131.94	15021
Hungría	93.03	0
Italia	301.338	7600
Letonia	64.589	498
Lituania	65.3	90
Montenegro	13.812	293
Países Bajos	41.526	797.8
Noruega	323.802	25148
Polonia	312.679	25148
Portugal	92.072	1793
Rumania	237.5	225
R. Eslovaca	48.845	0
Eslovenia	20.253	46.6
España	504.645	4964.4
Turquía	783.562	7200
R. Unido	244.82	12429
Canadá	9984.67	243042
EE.UU.	9147.593	19924

Fuente: OTAN. Elaboración propia

4. Resultados

En este apartado describiremos los resultados obtenidos tras aplicar la metodología descrita anteriormente a los países de la OTAN⁸.

En primer lugar, cabe señalar que en la primera etapa de cálculo (Tabla IX) y asumiendo rendimientos variables a escala (VRS), con orientación al output⁹, el conjunto de países eficientes se determinó, por años, para el período 2010-2017. Se calculó la eficiencia técnica para cada año (Figura 3), así como los promedios de cada país tanto en el período de estudio como anualmente. Una vez realizado el cálculo al respecto, se observó que ningún país fue eficiente durante el periodo de estudio, resaltando a Albania con una eficiencia del 0,999 y Bélgica con un 0,990. El resto de países aparecen como eficientes en algunos de los años analizados, con unas eficiencias entre el 80% y el 99%, destacando el menos eficiente Eslovenia con un 0,870.

⁸ Albania, Bélgica, Bulgaria, Croacia, República Checa, Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Italia, Letonia, Lituania, Montenegro, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, República Eslovaca, Eslovenia, España, Turquía, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos.

⁹ Orientación output bajo VRS: se pide a los países que aumenten sus outputs con los mismos inputs.

Tabla IX Eficiencia técnica bajo el supuesto de VRS

País / año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Media
Albania	1.000	1.000	1.000	0.996	1.000	1.000	1.000	1.000	0.999
Bélgica	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.925	1.000	1.000	0.990
Bulgaria	1.000	0.927	0.886	1.000	1.000	0.883	1.000	1.000	0.961
Croacia	1.000	1.000	0.920	1.000	1.000	0.869	1.000	1.000	0.972
R. Checa	1.000	0.986	0.931	1.000	1.000	0.875	0.990	1.000	0.972
Dinamarca	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.876	0.994	1.000	0.983
Estonia	1.000	1.000	0.973	1.000	1.000	0.818	1.000	1.000	0.972
Francia	1.000	1.000	0.939	0.931	1.000	0.890	1.000	1.000	0.969
Alemania	1.000	1.000	0.985	0.972	1.000	0.958	1.000	1.000	0.989
Grecia	0.985	1.000	0.989	0.925	1.000	0.845	1.000	1.000	0.967
Hungría	1.000	0.965	0.845	0.909	1.000	1.000	1.000	1.000	0.963
Italia	1.000	0.982	0.856	0.917	0.978	1.000	1.000	1.000	0.965
Letonia	0.983	0.971	0.859	0.914	0.763	1.000	1.000	1.000	0.933
Lituania	1.000	1.000	0.865	0.971	0.772	0.980	1.000	1.000	0.945
Montenegro	1.000	1.000	0.861	0.951	0.763	0.868	0.799	1.000	0.901
Países Bajos	1.000	1.000	0.834	1.000	0.716	1.000	0.901	1.000	0.925
Noruega	0.897	1.000	0.899	1.000	0.699	1.000	0.831	0.912	0.899
Polonia	0.720	1.000	0.907	1.000	0.679	1.000	0.873	1.000	0.888
Portugal	0.883	1.000	0.920	1.000	0.730	1.000	0.867	0.935	0.913
Rumania	0.852	1.000	0.976	1.000	0.723	1.000	0.774	0.740	0.875
R. Eslovaca	1.000	1.000	1.000	1.000	0.627	1.000	0.895	0.742	0.896
Eslovenia	0.837	1.000	1.000	1.000	0.643	0.985	0.836	0.742	0.870
España	1.000	1.000	1.000	1.000	0.701	0.885	1.000	0.767	0.911
Turquía	0.821	1.000	0.953	0.964	0.645	0.946	1.000	0.770	0.878
R. Unido	0.865	1.000	1.000	1.000	0.650	0.919	1.000	0.734	0.886
Canadá	0.861	1.000	1.000	1.000	0.660	1.000	1.000	0.776	0.903
EE.UU.	0.836	1.000	1.000	1.000	0.711	1.000	1.000	0.804	0.912
Medias	0.946	0.994	0.941	0.980	0.832	0.945	0.954	0.923	0.938

Fuente: Elaboración propia

Los valores medios de los índices de eficiencia son bastante elevados en la mayoría de los países, en torno a 0,938. Estos resultados de eficiencia están respaldados por una tendencia decreciente durante el período analizado del 2,49%.

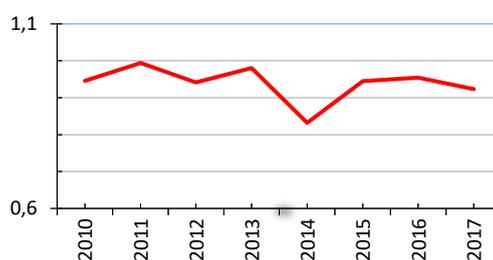


Figura 3. Eficiencia técnica.

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se realizó un “ranking” con los promedios de las eficiencias del período de los diferentes países (Tabla X).

Tabla X. Ranking de la eficiencia de los países de la OTAN 2010-2017

País	Índice	País	Índice
1. Albania	0.999	13. P. Bajos	0.925
2. Bélgica	0.990	14. Portugal	0.913
3. Alemania	0.989	15. EE.UU.	0.912
4. Dinamarca	0.983	16. España	0.911
5. Estonia	0.972	17. Canada	0.903
5. R. Checa	0.972	18. Montenegro	0.901
5. Croacia	0.972	19. Noruega	0.899
6. Francia	0.969	20. R Eslovaca	0.896
7. Grecia	0.967	21. Polonia	0.888
8. Italia	0.965	22. R. Unido	0.886
9. Hungría	0.963	23. Turquía	0.818
10. Bulgaria	0.961	24. Rumanía	0.875
11. Lituania	0.945	25. Eslovenia	0.870
12. Letonia	0.933		

Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se realiza un estudio de eficiencia (Tabla XI), asumiendo rendimientos variables a escala (VRS) y orientación al output. Nos apoyamos en una de las ventajas de la metodología DEA: su uso como técnica para realizar “benchmarking”¹⁰, asociar a cada país con su par de referencia y posteriormente favorecer la aplicación de las mejores prácticas de gestión de recursos en los países más ineficientes.

Tabla XI. Variables de intensidad de las eficiencias técnicas y país que lo toman como referencia

País / año	nº de veces	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	10	3	1	3	3	3	3	3
Bélgica	69	1	13	17	18	18	1	1
Bulgaria	54	16	1	1	1	1	18	16
Croacia	1	1						
Dinamarca	1	1						
Alemania	1	1						
Grecia	1	1						
Hungría	2	1						1
Letonia	1	1						
Lituania	7	1	1	1	1	1	1	1
Montenegro	6	1		1	1	1	1	1
Países Bajos	6	1		1	1	1	1	1
Noruega	6	1		1	1	1	1	1
Rumanía	86	15	12	2	18	18	18	3
R. Eslovaca	36	3	1	17				15
Eslovenia	1		1					
R. Unido	1	1						
Canadá	1	1						
EE.UU.	2	2						
		43	39	44	44	44	44	43

Fuente: Elaboración propia

¹⁰ Técnica de Benchmarking: proceso sistemático y continuo para evaluar los productos, servicios y procesos de trabajo de las organizaciones que son reconocidas como representativas de las mejores prácticas, con el propósito de realizar mejoras organizacionales (Spendolini, 1994).

Para ello, se calcularon las medidas de las variables de intensidad de eficiencia en el período 2010-2017, analizándolas por años. Así, se obtuvo el número de veces que un país es tomado como referencia de eficiencia - modelo - por otros países.

El estudio muestra que los siguientes países se toman como referencia en algún momento del período analizado: Albania, Bélgica, Bulgaria, Croacia, Dinamarca, Alemania, Grecia, Hungría, Letonia, Lituania, Montenegro, Países Bajos, Noruega, Rumanía, República Eslovaca, Eslovenia, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos. Destacamos que Rumanía es el país que la mayoría de países toma como referencia - 86 veces en el período - para lograr la máxima eficiencia. Así, se alcanzan máximos desde 2013 al 2016 (44 países cada año) y un mínimo en 2012 (39 países). La Figura 4 representa el número de veces que se toma un país como referencia en cada par de años de estudio.

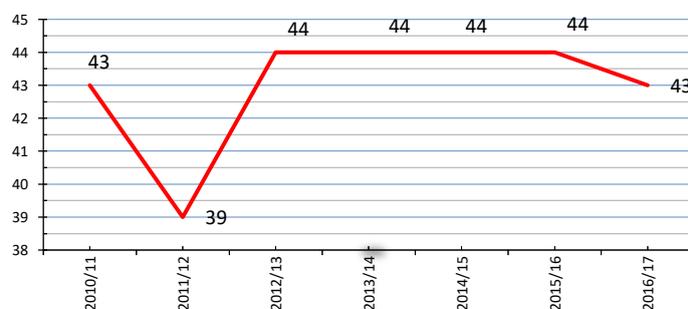


Figura 4. Variables de intensidad de eficiencias técnicas (veces que un país lo toman como referencia).
Fuente: Elaboración propia

En tercer lugar, se calcularon las variables de intensidad para el año 2010, como ejemplo del potencial de esta técnica en el contexto de la Economía de la Defensa. Realizando un estudio asumiendo rendimientos variables a escala (VRS) y con orientación output. En el Tabla XII se muestran los valores de las variables de intensidad para cada país y el país de referencia –modelo- del que pudieron aprender.

De ello se desprende que los siguientes países se toman como referencia en algún momento durante 2010 de los 27 países y se presentan como “modelos a seguir”: Albania, Bélgica, Bulgaria, Hungría, Lituania, Montenegro, Países Bajos, Noruega, Rumanía y República Eslovaca, que representan el 40,7% de los países del estudio. Destacamos: Bulgaria y Rumanía, que fueron tomadas como referencia 14-15 veces en el año. A modo de ejemplo y con el uso de técnicas de benchmarking, analizamos las “variables de intensidad” tomadas del análisis DEA VRS año 2010, de un país ineficiente: España; con una eficiencia técnica del 91,1%. Vemos que se puede comparar con sus referencias por pares - Variables de

intensidad - a: Bulgaria (0.700) y a Rumania (0.300) que podrían considerarse como posibles estrategias de referencia, para incrementar su eficiencia técnica.

Tabla XII. País de referencia y variables de intensidad de eficiencias técnicas. Año 2010

	Albania	Bélgica	Bulgaria	Hungría	Lituania	Montenegro	P.Bajos	Noruega	Rumania	R.Eslovaca
Albania	1.000									
Bélgica		1.000								
Bulgaria			1.000							
Croacia			0.964						0.036	
R. Checa			0.964						0.036	
Dinamarca			0.941						0.059	
Estonia			0.940						0.060	
Francia			0.979						0.021	
Alemania			0.979						0.021	
Grecia			0.967						0.033	
Hungría				1.000						
Italia	0.335	0.665								
Letonia	0.335	0.665								
Lituania					1.000					
Montenegro						1.000				
Países Bajos							1.000			
Noruega								1.000		
Polonia			0.544						0.417	0.039
Portugal			0.740							0.260
Rumania									1.000	
R. Eslovaca										1.000
Eslovenia			0.700						0.300	
España			0.700						0.300	
Turquía			0.536						0.464	
R. Unido			0.543						0.457	
Canadá									1.000	
EE.UU.									1.000	

Fuente: Elaboración propia

La Figura 5 muestra los resultados de las eficiencias promedio, asumiendo retornos VRS con orientación output de los países analizados en el período 2010-2017.

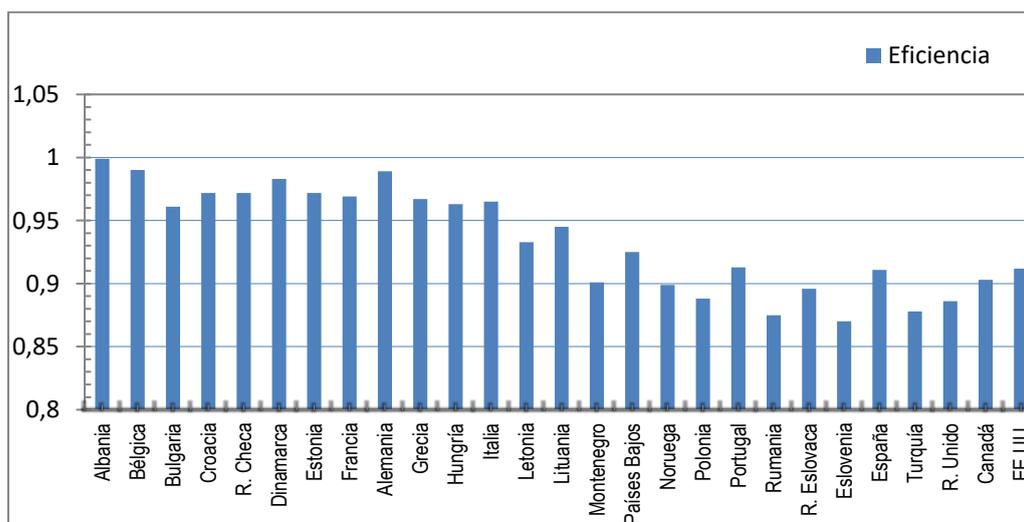


Figura 5. Eficiencia técnica media en el periodo 2010-2017 por países.

Fuente: Elaboración propia

Como vemos, países como Albania, Bélgica, Alemania y Dinamarca entre otros, destacan del resto de países en cuanto al índice de eficiencia. Teniendo en cuenta lo presentado en nuestra revisión de la literatura y habiendo calculado el grado de eficiencia técnica de los países de la OTAN año a año (Tabla IX), en cuanto a los índices de eficiencia se puede resaltar que el Albania es el país más próximo a la eficiencia promedio con un 99,9% y Eslovenia el más alejado con un 87%, siendo el resto de países eficientes en algún año durante el periodo. Así, el 51,85% de los países se mostraron estables, el 18,52% crecieron y el 29,63 % empeoraron sus eficiencias. Mencionamos que los índices de eficiencia promedio son bastante altos, rondando el 90%. Sin embargo, la tendencia durante el período muestra un decrecimiento en la eficiencia técnica promedio bajo VRS del 2,49%, en promedio en la mayoría de los países en los últimos años, con la excepción de Grecia, Letonia, Noruega, Polonia y Portugal, que muestran una preocupación por mejorar su eficiencia. El índice creció timidamente hasta 2011, disminuyendo en 2012, volviendo a crecer hasta llegar a 2013, obteniendo su mínimo absoluto en 2014 para recuperarse finalmente en 2017.

De los resultados se desprende que la eficiencia técnica fue del 93,8%, deduciendo que los países podrían conseguir un 6,2% más de percepción de paz sin modificar el nivel de inputs utilizados. En este sentido, observamos que los países que menos aportan recursos son los más eficientes, destacando Albania, Bulgaria y Lituania.

5. *Discusión*

En cuanto a las preguntas planteadas inicialmente, podemos decir que, derivado de nuestra investigación, se observa que los ministerios de defensa de cada país pueden tomar como referencia a ciertos países para incrementar los índices de eficiencia. Es decir, con los mismos inputs de sus aportaciones producir más outputs y, por lo tanto pueden reducir sus holguras en los índices de eficiencia. También observamos que un aumento del gasto en defensa repercute indirectamente en un puesto superior en el índice de eficiencia. En general, se puede deducir que el país que más aporta económicamente está ofreciendo una mayor seguridad colectiva, es decir, ayudando a los países vecinos menos seguros. Esto implica que, al tener más estabilidad en los países vecinos, el entorno es más estable y se obtiene más seguridad en su conjunto. Sin embargo, es necesario considerar qué aspectos se encuentran detrás de los resultados obtenidos pudiéndose derivar diversos argumentos que pueden arrojar luz sobre determinados factores que inciden en estos resultados.

Teniendo en cuenta las consideraciones de Driver (2016) sobre el reparto de la carga y el futuro de la OTAN, el reparto de la carga es una pieza clave dentro de la OTAN que implica importantes debates a lo largo del tiempo. Por lo tanto, citando a Eisenhower, el fondo estadounidense se habría agotado, y solo a través de la unidad los europeos podrían ser capaces de asumir una mayor parte de la carga de la defensa para que Estados Unidos pudiera relajarse un poco económicamente hablando. Asimismo, la firma del acuerdo de Newport de 2014 según el cual los países se comprometieron a incrementar su gasto en defensa al 2% del PIB¹¹, implica que un mayor gasto generará mayores niveles de seguridad colectiva, no solo seguridad individual, como los resultados que se desprende de este análisis.

Igual de necesario es tener en cuenta las distintas culturas y estrategias de defensa de los países, ya que ellas determinan tanto el gasto que se realiza como la forma en que se realiza, lo que a su vez determina los diferentes niveles de eficiencia. En este sentido, tanto la evolución histórica en el ámbito de la seguridad, como la situación geopolítica, las prioridades de los distintos gobiernos, su situación económica y los compromisos internacionales asumidos, configuran un conjunto de aspectos que inciden en la forma en que el gasto en defensa se lleva a cabo y qué nivel de seguridad se alcanza (Ghazalian y Hammoud, 2020). Por tanto, es lógico que los principales países Estados Unidos, Reino Unido, Canadá tiendan a alcanzar mayores niveles de eficiencia, como muestra el análisis. Algo similar, pero con limitaciones, ocurre con el índice de seguridad que se da con países que tienen que enfrentar mayores riesgos, ya sea por su posición geográfica cercana a conflictos o países no amigos o porque tienen sistemas de defensa menos desarrollados que necesitan impulsar. La composición del gasto en defensa es igualmente importante ya que determina el tipo de sistemas que brindan seguridad ciudadana. En este sentido, se puede enfrentar una misma amenaza, utilizando diferentes tipos de estrategias que darán lugar a diferentes capacidades de los sistemas de armas, lo que, a su vez, condicionará que el gasto en defensa se oriente de una forma u otra (Davis, 2011). Así, su expresión en el nivel de seguridad del país será igualmente diferente, pudiendo ser mayor o menor según hacia dónde se dirija dicho gasto. En relación a las políticas de defensa que se llevan a cabo a través de la OTAN, es importante subrayar la necesidad de perseguir una mayor eficiencia en el gasto, junto con sistemas que brinden mayores niveles de seguridad, muchos de ellos alejados de los sistemas de armamento más tradicionales y mucho más vinculados a la tipología de

¹¹ Sin embargo, la cifra del 2% del PIB es arbitraria, pero supone la necesidad de tender a mayores esfuerzos en la defensa del país.

nuevos conflictos guerra híbrida y zona gris, lo que conduce a cambios sustanciales en el concepto de seguridad, ampliando su alcance a áreas como la seguridad económica o la ciberseguridad (Hunter and Pernik, 2015).

6. Conclusiones

La mayoría de los estudios en el campo de la economía de la defensa se basan en un análisis centrado en los efectos del gasto público en defensa en la economía nacional. Es necesario reconocer que la existencia de trabajos que analicen la eficiencia son escasos hasta la fecha. Es importante resaltar los problemas actuales en la obtención de información sobre inputs y outputs adecuados en el entorno militar de la OTAN, que nos ha llevado a utilizar los siguientes inputs en el estudio: gasto de personal, gasto en equipo, gasto en infraestructura y otros gastos (operaciones, Mantenimiento I + D) a nivel macroeconómico. Y como output, el índice de paz global y considerando como variables incontrolables (variables exógenas): la población del país, la superficie y los kilómetros de costa. Por ello hemos adaptado nuestra metodología, Análisis Envolvente de Datos –DEA- a la medición de la eficiencia de los países con este tipo de variables exógenas.

Por tanto, este trabajo aporta información sobre un área poco estudiada, donde se ha podido observar niveles de eficiencia técnica. Podemos decir que se alcanzan tasas bastante elevadas y con una tendencia decreciente en el período. Esta tendencia de eficiencia podría explicarse de la siguiente manera. Año tras año, varios de los países que integran el grupo de cierto peso relativo dentro de la OTAN se encuentran en la frontera de producción. Se aprecia que, a su vez, estos países tienden a mantener generalmente sin grandes cambios sus inputs, pero sí aumentan mucho sus outputs; esto tendería a producir un desplazamiento hacia arriba en la frontera, lo que a su vez significa que los países menos eficientes se posicionan gradualmente más lejos de esa frontera. Esto, al final, implica una evolución negativa de su eficiencia técnica relativa.

Además, el estudio permite la comparación de variables de intensidad (países que pueden ser utilizados como referencia por otros menos eficientes). De esta forma, se puede reducir la brecha de eficiencia, tomándolos como modelos para aplicar medidas que potencien su eficiencia y permitan realizar cambios más efectivos dentro de los ministerios de defensa de cada país. Por lo tanto, el estudio muestra que ciertos países podrían supuestamente mejorar su índice de paz global manteniendo constantes sus inputs. Es decir, manteniendo el gasto en personal, equipo, infraestructura y otros gastos (operaciones, mantenimiento, I + D) a nivel macroeconómico -hasta un techo- para seguir obteniendo mayores índices de

seguridad, sin olvidar que, si bien la seguridad es un bien intangible, la sociedad actual la da por sentada y un mayor gasto no suele ser aceptado socialmente.

Finalmente, mencionamos que la ineficiencia de los países puede deberse a lo que Leibenstein (1966) denominó X-ineficiencia, donde la fuente de la ineficiencia se atribuye a causas no tecnológicas y que están ligadas al comportamiento de los individuos.

Como futuras líneas de trabajo, podríamos señalar que los países intentaron limitar sus esfuerzos, maximizando su utilidad, en lugar de minimizar costos, utilizando más factores de producción de los necesarios para lograr un cierto nivel de producción. Y así, los países menos eficientes podrían mejorar su situación adoptando decisiones estratégicas adecuadas, como una combinación diferente de inputs o composición de sistemas, para obtener la mejor combinación de outputs, reduciendo sus brechas de eficiencia, es decir generar más outputs con los mismos inputs.

Además, trabajar con datos de panel nos permitiría estimar los cambios en la productividad, así como su descomposición en cambios tanto en la eficiencia como en los derivados de la tecnología. La investigación está abierta a su ampliación y a realizar un análisis más exhaustivo con datos que, por ser clasificados y confidenciales, no han sido utilizados. Según Nayar *et al.*, (2013), DEA es una herramienta prometedora para evaluar la eficiencia junto con la efectividad y la productividad, esto podría aplicarse a los países de la OTAN. Así, en el futuro, las medidas de eficiencia global pueden basarse en el uso de los niveles de eficiencia otorgados por organizaciones reconocidas como la Fundación Europea para la Gestión de la Calidad, la Comisión Conjunta u otras. Sin embargo, lo que parece claro es la necesidad de seguir trabajando en la medición de ambos aspectos (eficiencia y productividad) en la economía de la defensa.

CAPÍTULO III

ECONOMÍA DE LA DEFENSA: EVALUACIÓN DEL CAMBIO DE PRODUCTIVIDAD EN PAÍSES DE LA OTAN EN EL PERIODO 2010-2017¹²

1. Introducción

La provisión de servicios públicos tan eficientes como sea posible se ha convertido en un objetivo de gran relevancia en la política económica de los países del mundo desarrollado, siendo una de las preocupaciones la de medir la productividad de las entidades públicas (Maeschalck, 2004), (Devettere, 2002).

Según los trabajos de Swan (1956) y Solow (1957) sobre contabilidad del crecimiento económico, ha sido habitual medir los cambios en la productividad total de los factores a nivel macro-económico a través de la diferencia entre las tasas de crecimiento de la producción y la tasa de los factores productivos. De esta forma, la contabilidad del crecimiento asumía postulados de la teoría neoclásica, como el de equilibrio, la asignación óptima de recursos o retornos constantes a escala. Dichos postulados, resultaban bastantes restrictivos ya que se asumía que cada economía se consideraba como si fuera una unidad aislada del resto.

Además, la metodología del crecimiento económico clásica impone que la producción observada se mantiene en estado de eficiencia y debido a ello, no resulta posible distinguir en este caso, entre progreso tecnológico y cambios en la eficiencia, ya que todas las modificaciones que ocurren en la productividad se asocian al cambio tecnológico. Posteriormente, Arrow (1980) creó un modelo que sustituyó la variable de crecimiento exógeno por otras que estaban explicadas en el modelo una vez omitido el cambio tecnológico.

Además, en contraste con los métodos tradicionales basados en la regresión, los métodos basados en la eficiencia a nivel de fronteras de producción identifican patrones basados en las mejores prácticas. El concepto de eficiencia no es igual a la noción de productividad pero sus definiciones se encuentran relacionadas. De hecho, el cambio en la eficiencia de una empresa u organización a lo largo del tiempo es una de las componentes que pueden explicar

¹² Este artículo ha sido enviado como: Domínguez, Sánchez, M., Aparicio, J. and Fonfría, A., 2021” *ECONOMÍA DE LA DEFENSA: EVALUACIÓN DEL CAMBIO EN LA PRODUCTIVIDAD EN PAISES DE LA OTAN EN EL PERIODO 2010-2017*, a la revista *Applied Economics* de Taylor & Francis.

el cambio en la productividad. El concepto de productividad es muy sencillo de definir en el caso de tratar en un contexto productivo simplificado con un único recurso (input) que da lugar a un único tipo de producto o servicio proporcionado (output). En ese caso, la productividad se suele medir como la ratio del output entre el input. En el contexto de múltiples inputs y outputs, esta definición no resulta tan sencilla y suele hacerse uso de agregaciones de las variables consideradas. En cualquier caso, y cuando se dispone de un panel de datos, es mucho más común en la literatura estudiar cómo varía la productividad a lo largo del tiempo.

Adicionalmente, el cambio en la productividad se puede descomponer en diferentes fuentes, (Orea, 2002), (Zofio, 2007), lo que proporciona un valor adicional al análisis del mismo, descomponiéndose en primer lugar en cambio en eficiencia técnica; que se define como una medida de cómo la distancia desde la unidad evaluada a la frontera de su tecnología contemporánea ha cambiado con el tiempo, cambio en la eficiencia de escala; que se define como la relación entre el índice de eficiencia cuando se asume rendimientos constantes a escala (CRS) y el índice de eficiencia bajo rendimientos variables a escala (VRS); y, finalmente, el cambio tecnológico; que se asocia con un desplazamiento de la frontera de posibilidades de producción.

Esta investigación viene motivada por la importancia a nivel mundial de optimizar los recursos disponibles y aumentar los outputs obtenidos ligados al gasto público y en particular, en el ámbito de la defensa; donde es esencial señalar que las instituciones deben someterse a evaluaciones para medir su desempeño, eficiencia y productividad (Kennedy, 2017), (Kim, 2015). Existen distintas definiciones relacionadas con la noción de eficiencia y productividad. Sin embargo, ambas nociones están orientadas en una misma dirección debido a que en Economía hay que realizar elecciones sobre cómo emplear los recursos y tratar de satisfacer necesidades con los recursos disponibles buscando que los resultados que se obtengan sean los mejores. De este modo, se tienen que aprovechar las posibilidades existentes para producir las mayores cantidades posibles de bienes y servicios (Christense y Laegreid, 2011).

Por este motivo, y siendo originales, ya que este trabajo es el único hasta el momento que analiza la variación de la productividad en países de la OTAN, en nuestro artículo el objetivo principal es utilizar una metodología que permita descomponer los cambios en la productividad total de los factores en cambios debidos al progreso tecnológico y en cambios atribuibles a la eficiencia técnica y de escala. A tal efecto, se emplea una metodología basada

en técnicas no paramétricas, en situaciones dinámicas, dependientes del tiempo, por lo que no requiere especificar una forma funcional concreta para la función de producción. Esta técnica es conocida en la literatura como Análisis Envolvente de Datos (DEA).

De este modo, y utilizando las funciones distancia de Shephard (1953) como herramienta básica, calcularemos los Índices de Malmquist (IM) (Malmquist, 1953, Caves *et al.*, 1982), para la determinación del cambio en la productividad y su evolución en el tiempo para 27 países del Tratado del Atlántico Norte (OTAN), en el periodo 2010-2017. En este artículo, se pretende contestar a las siguientes preguntas: ¿Cuál fue la variación de la productividad a lo largo del tiempo en los países de la OTAN? ¿Cuáles son los factores que explican los cambios experimentados en la productividad a lo largo del tiempo (cambio tecnológico, cambio en eficiencia y/o cambio de escala)?.

Así, el trabajo aporta a la literatura de la Economía de la Defensa sobre los países de la OTAN respuestas a varias cuestiones de interés. En primer lugar, resalta la importancia de aplicar el IM como medida válida para evaluar el desempeño de la productividad. En segundo lugar, aporta nuevas evidencias sobre los procesos de productividad, cambio técnico y efectos de escala en la actividad de defensa. Finalmente, identifica grupos de países cuya productividad sirve de patrón a otros. En este contexto, como inputs utilizaremos el gasto en personal, el gasto en equipos, el gasto en infraestructura y otros gastos (operaciones, mantenimiento, I+D), OTAN (2010-2017) y como output el Índice de Paz Global (Global Peace Index, 2019).

El resto del capítulo se estructura de la manera siguiente. En la Sección 2, se muestra una revisión breve de la literatura. La Sección 3 presenta los detalles metodológicos relacionados con el Índice de Malmquist y los indicadores utilizados para evaluar la productividad. En la Sección 4 se analiza el Índice de Paz Global (GPI). En la Sección 5 se analiza la selección de variables. En la Sección 6, se detallan los resultados obtenidos. En la Sección 7, se realiza una discusión de los principales hallazgos del documento. Finalmente se presentan algunas conclusiones en la Sección 8, finalizando con unas propuestas y unas líneas futuras de investigación.

2. Revisión de la Literatura

En contraposición al sector empresarial, el sector no lucrativo de defensa en la OTAN cuenta con escasos estudios relativos al análisis de la eficiencia y de la productividad. Por lo que este estudio intenta rellenar este vacío, fundamentalmente analizando la variación de la

eficiencia y productividad entre el gasto en defensa y el Índice de Paz Global (GPI) en países de la OTAN.

Con respecto a artículos relacionados con el tema tratado en este artículo, Smith (1980) estudió los gastos e inversiones militares en la OCDE 1954-1973, Ward y Davis (1992) se centran en el dividendo de la paz en relación con el crecimiento económico y el gasto militar, MacNair *et al.* (1995) analizan la demanda de gasto militar en Turquía en el periodo 1960–1992, Chletsos and Kollias (1995) analizan la carga neta aportada a la OTAN, Haerpfper y Wallace (1997) analizan la seguridad interna y externa en la Europa del Este poscomunista, Neira y González (2007) analizan los determinantes del gasto y la demanda militar en los países en desarrollo, la OTAN y la región Asia-Pacífico.

Neira and González (2008) estudian el crecimiento económico y determinantes del gasto militar, Grautoff y Miranda (2009) estudian el gasto militar en Colombia, Hartley (2011) estudia los resultados de la defensa desde una perspectiva económica, evaluando 12 naciones, Scalco *et al.* (2012) calcularon un índice de eficiencia en la lucha contra la delincuencia en Minas Gerais (Brasil), Pulido y Estrella (2013) analizó los efectos del gasto militar de defensa, Ebrahimnejad y Tavana (2014) analizaron el gasto militar y el crecimiento económico en Turquía, u otros artículos más recientes, como Dunne *et al.* (2018), que han revisado el crecimiento económico y la defensa en países de la OTAN.

Con respecto a la medición, en concreto, del cambio en la productividad en defensa, destacamos los estudios realizados por investigadores como: Más y Alonso (1998); que analizan el crecimiento de la productividad a nivel sectorial y regional descomponiendo la misma en progreso técnico y eficiencia técnica, Martínez y Rueda (2013); quienes analizan la variación de la productividad de cinco subsectores de la industria de la defensa española en el periodo 1996-2009 mediante técnicas DEA, Duch - Brown, *et al.* (2014); quienes estudian la relación entre la estructura y la productividad de la defensa española en los mercados.

Hanson (2016) estudia la eficiencia y productividad en 11 distritos de las unidades operativas de la Guardia Nacional Noruega, Kim (2015) evalúa la eficiencia y productividad de 45 empresas relacionadas con el armamento de defensa a nivel internacional en el periodo 2010-2014, y finalmente, Bastida y Peñalver (2019) utilizan un modelo para evaluar la eficiencia y la productividad de los principales sectores industriales en defensa. Pero, de este modo y hasta el momento, ninguno se ha centrado en la variación de la productividad en Países de la OTAN, sino más bien en sus productividades nacionales.

Reflexionando sobre la línea seguida en la literatura por los investigadores académicos, sobre la interacción de los gastos en defensa y el crecimiento económico, hay que decir que la existencia de un número reducido de investigaciones puede ser debida a la falta de datos disponibles y al secretismo de la documentación en el seno militar, ya que la medición y evolución del desempeño a través de los resultados económicos pierde su sentido por su carácter no lucrativo.

Este escenario pone de manifiesto la necesidad de trabajos que analicen otros métodos alternativos encaminados a la evaluación y medición de la productividad. Por ello y teniendo en cuenta que la mayoría de los estudios que miden productividad utilizan DEA junto con cross-sectorial data, que pueden dar lugar a engaños debido a que las configuraciones dinámicas pueden producir un uso aparentemente excesivo de inputs para producir outputs en períodos futuros, hemos optado por utilizar los modelos no paramétricos en situaciones dinámicas, para analizar la productividad de los países de la OTAN a lo largo del tiempo. En concreto, aplicaremos el Índice de Malmquist (Malmquist, 1953, Caves *et al.*, 1982), con el fin de obtener una comprensión a través del tiempo de la evolución de la productividad.

3. Metodología

La medición del cambio de productividad a lo largo del tiempo utilizando métodos de frontera ha recibido una atención considerable en la literatura que se centra en la evaluación del desempeño económico de las DMUs. El enfoque más común para medir el cambio de productividad es el Índice de Malmquist (IM), introducido por Malmquist (1953) y Caves *et al.* (1982). Este índice fue popularizado por Färe y Grosskopf (1992), quienes lo hicieron empíricamente manejable en DEA, al permitir descomponer la productividad en cambio de eficiencia, cambio tecnológico y eficiencia de escala (véase también Ray y Desli, 1997; Zofio, 2007; y Zabala-Iturriagoitia *et al.*, 2021).

El IM es un índice que utiliza las funciones de distancia de Shephard (1953) para representar la tecnología, reduciendo los inputs para mantener el mismo nivel de outputs o manteniendo los inputs y aumentando los outputs, dependiendo de la orientación seleccionada. En este trabajo se hace uso de la técnica no paramétrica DEA, utilizando el software Win4Deap2.2.1.0.1 (Coelli, 1996), (CEPA, 2019) para su implementación en la práctica. Esta metodología no paramétrica está basada en la programación matemática y nos permite el análisis de productividad de unidades homogéneas que consumen el mismo tipo de inputs, para producir el mismo tipo de outputs (Cooper *et al.*, 2000).

Su objetivo es definir una frontera de producción, obtenida a partir de los datos, de forma que las unidades que no se encuentren en dicha frontera son consideradas como técnicamente ineficientes. Se ha elegido el IM por no ser necesario el conocimiento de los precios de mercado de los inputs y outputs, entre otros motivos, que lo convierten en un instrumento ideal para el análisis de los cambios de productividad en la economía de la defensa. Una ventaja adicional del IM es que permite la descomposición de la productividad en componentes que capturan los cambios en la eficiencia técnica (*catching-up*) y los cambios debidos al progreso tecnológico y cambio de escala. A continuación introduciremos las definiciones, modelos y notación que serán utilizados a lo largo del artículo. Supongamos que, para cada periodo de tiempo, tenemos n DMUs que usan m inputs para producir s outputs, denotadas por $(X_j^t, Y_j^t), j=1, \dots, n$, $X^t = (x_1^t, \dots, x_m^t) \in R_+^m$ y $Y^t = (y_1^t, \dots, y_s^t) \in R_+^s$, que provienen de una tecnología de referencia $T^t = \{(X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : X^t \text{ produce } Y^t\}$ por periodo (año) t . T^t es estimada como:

$$T_c^t = \{(X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j^t \leq X^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^t \geq Y^t, \lambda_j \geq 0\}$$

bajo rendimientos constantes a escala (CRS) (Charnes *et al.*, 1978), y como

$$T_v^t = \{(X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j^t \leq X^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^t \geq Y^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0\}$$

bajo rendimientos variables a escala (VRS), Banker *et al.*, (1984). La eficiencia de cada DMU se puede determinar calculando la distancia de esa unidad a la frontera de la tecnología de referencia T_c^t y T_v^t , bajo CRS y VRS, respectivamente. En particular, bajo CRS, esta distancia se puede calcular siguiendo a Charnes *et al.* (1978) como:

$$\begin{aligned} \min_{v^t, \mu^t} &= \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t}{\sum_{k=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t} \\ \text{s.a. :} & \\ \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{ij}^t}{\sum_{k=1}^s \mu_{rk}^t y_{rj}^t} &\geq 1, \quad j=1, \dots, n \quad (3.1) \\ v_{ik}^t &\geq 0, \quad i=1, \dots, m \\ \mu_{rk}^t &\geq 0, \quad r=1, \dots, s \end{aligned}$$

Donde $(v_{1k}^{t*}, \dots, v_{mk}^{t*})$ y $(\mu_{1k}^{t*}, \dots, \mu_{sk}^{t*})$ denotan los pesos óptimos asociados a los inputs y outputs cuando se evalúa la eficiencia relativa de la unidad (X_k^t, Y_k^t) respecto a todas las DMUs de la

muestra (países en nuestro contexto) en el periodo t . El modelo (3.1) identifica a las ponderaciones de inputs y outputs más favorables que dan como resultado el máximo nivel posible de productividad [es decir, la inversa de la función objetivo en (3.1)] de (X_k^t, Y_k^t) relativo al de las observaciones restantes. Téngase en cuenta que tanto la función objetivo como el conjunto $j = 1, \dots, n$ de restricciones en (3.1) representan definiciones adecuadas de productividad, como ratio del output agregado entre el input agregado, normalizando la productividad máxima a uno. Esta normalización permite la interpretación del valor óptimo del modelo (3.1) como eficiencia técnica. En particular, cuando un país k presenta una eficiencia técnica igual a uno, entonces la distancia de la unidad evaluada a la frontera de referencia será cero.

Sin embargo, el modelo anterior es no lineal. Un modelo matemáticamente equivalente, y lineal, puede obtenerse como sigue:

$$\begin{aligned}
 \min_{v^t, \mu^t} \quad & \sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t \\
 \text{s.a:} \quad & \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{rj}^t - \sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{ij}^t \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t = 1 \\
 & v_{ik}^t \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \mu_{rk}^t \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s
 \end{aligned} \tag{3.2}$$

El valor óptimo del modelo (3.2) da lugar a la medida CCR orientación output de Charnes *et al.* (1978). Bajo este modelo, se asume rendimientos constantes a escala (posteriormente mostraremos el modelo bajo rendimientos variables a escala) y orientación output, lo que significa que la eficiencia se medirá manteniendo constantes los recursos (personal, equipos, infraestructura y otros gastos en defensa de un país en nuestro contexto) e intentando incrementar equiproporcionalmente los outputs (en nuestro caso un único output; la percepción de seguridad ciudadana). Mencionar aquí que el valor óptimo de los modelos (3.1) y (3.2) coincide con el inverso de la distancia de Shephard orientación output (Shephard, 1953).

Una vez que hemos evaluado la eficiencia técnica de todos los países para todos los años entre 2010 y 2017 de acuerdo con las tecnologías de referencia anteriores, donde t toma valores $t = 2010, \dots, 2017$, es posible determinar el cambio de productividad en el tiempo, e incluso, encontrar sus fuentes. Para hacerlo, es necesario calcular un índice del cambio en la

productividad. Entre los existentes, el Índice de Malmquist (IM) (Malmquist, 1953, Caves *et al.*, 1982) es el más habitual cuando no es posible obtener información acerca de los precios de los inputs y outputs, además de no exigir grandes supuestos.

Para calcular el IM, la función de distancia de Shephard (1953) debe calcularse también para períodos de tiempo mixtos, es decir, para las unidades observadas en el período t_1 relativo a la tecnología del período t_2 , $D_o^{T^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})$, así como la distancia de las unidades observadas en el período de tiempo t_2 en relación con la tecnología del período t_1 , $D_o^{T^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})$, donde $t_1, t_2 = 2010, \dots, 2017$, con $t_1 < t_2$. Para determinar todas estas distancias es necesario resolver cuatro modelos que dependen adicionalmente del tipo de rendimientos a escala asumidos. En este sentido, los modelos (3.3) y (3.4) asumen CRS, mientras que los modelos (3.5) y (3.6) asumen VRS.

$$\begin{aligned} \left[1 / D_o^{T^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) \right] &= \min_{v^{t_1, t_2}, \mu^{t_1, t_2}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{mk}^{t_1} \\ \text{s.t.} \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{sk}^{t_1} &= 1 \\ -\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{ij}^{t_2} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{rj}^{t_2} &\leq 0, j = 1, \dots, n \\ v_{ik}^{t_1, t_2} &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ \mu_{rk}^{t_1, t_2} &\geq 0, \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \left[1 / D_o^{T^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) \right] &= \min_{v^{t_2, t_1}, \mu^{t_2, t_1}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2, t_1} x_{mk}^{t_2} \\ \text{s.t.} \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2, t_1} y_{sk}^{t_2} &= 1 \\ -\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2, t_1} x_{ij}^{t_1} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2, t_1} y_{rj}^{t_1} &\leq 0, j = 1, \dots, n \\ v_{ik}^{t_2, t_1} &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ \mu_{rk}^{t_2, t_1} &\geq 0, \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \left[1 / D_o^{T^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) \right] &= \min_{v^{t_1, t_2}, \mu^{t_1, t_2}, \alpha_k^{t_1, t_2}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{mk}^{t_1} + \alpha_k^{t_1, t_2} \\ \text{s.t.} \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{sk}^{t_1} &= 1 \\ -\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{ij}^{t_2} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{rj}^{t_2} - \alpha_k^{t_1, t_2} &\leq 0, j = 1, \dots, n \\ v_{ik}^{t_1, t_2} &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\ \mu_{rk}^{t_1, t_2} &\geq 0, \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (3.5)$$

$$\begin{aligned}
\left[1 / D_0^{T_1} (X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) \right] &= \min_{v^{t_2, t_1}, \mu^{t_2, t_1}, \alpha^{t_2, t_1}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2, t_1} x_{mk}^{t_2} + \alpha_k^{t_2, t_1} \\
s.t \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2, t_1} y_{sk}^{t_2} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2, t_1} x_{ij}^{t_1} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2, t_1} y_{rj}^{t_1} - \alpha_k^{t_2, t_1} &\leq 0, j=1, \dots, n \quad (3.6) \\
v_{ik}^{t_2, t_1} &\geq 0 \quad i=1, \dots, m \\
\mu_{rk}^{t_2, t_1} &\geq 0, \quad r=1, \dots, s
\end{aligned}$$

A partir de estas funciones de distancia, el IM orientado al output y referido a la tecnología del período t_1 queda definido como:

$$M_0^{t_1} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \frac{D_0^{T_1} (X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_1} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \quad (3.7)$$

Y de manera semejante, orientado al output y referido a la tecnología t_2 , el IM se define como:

$$M_0^{t_2} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \frac{D_0^{T_2} (X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_2} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \quad (3.8)$$

La medida que proporcionan ambos índices no tiene por qué coincidir al estar condicionada por la tecnología que se utiliza como referencia. Para solucionar este problema, Fare *et al.* (1994), sugieren aproximar el cambio de la productividad a partir de la media geométrica de ambos IM anteriores. Por tanto, el índice se calcula definitivamente como:

$$M_0^{t_1, t_2} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \sqrt{\frac{D_0^{T_1} (X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_1} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \cdot \frac{D_0^{T_2} (X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_2} (X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})}} \quad (3.9)$$

Un valor de este índice superior a la unidad es indicativo de crecimiento de la productividad entre los dos periodos (mejoras de productividad), mientras que si toma valores inferiores a la unidad, implica un descenso de la productividad entre los dos periodos. Dicho índice, como propusieron Ray y Desli (1997), se puede descomponer en tres componentes: Cambio en eficiencia (EC), Cambio Tecnológico (TC) y Cambio en eficiencia de escala (SC); como sigue.

$$M_0^{t_1, t_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \frac{D_0^{T_2}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_1}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \left[\frac{D_0^{T_1}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) D_0^{T_2}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) D_0^{T_1}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})} \right]^{1/2}$$

$$\left[\frac{SC^{t_1}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) \cdot SC^{t_2}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{SC^{t_1}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) \cdot SC^{t_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \right]^{1/2}, \text{ donde } SC^h(X_k^l, Y_k^l) = \frac{D_0^h(X_k^l, Y_k^l)}{D_0^{T_h}(X_k^l, Y_k^l)}, \text{ para todo } h, l = t_1, t_2$$

(3.10)

El primer término (EC) mide el cambio de la eficiencia técnica o el efecto (*catching up*), esto es, el grado de convergencia a la frontera de posibilidades de producción que experimenta la observación analizada en el periodo de estudio. Si el valor de este componente es mayor que uno, la unidad evaluada tiende aproximarse a la frontera de producción. Si es igual a uno, la distancia respecto a la frontera es la misma. Si es menor que uno, su valor se corresponde con un empeoramiento en el grado de eficiencia técnica de la unidad evaluada. El segundo término (TC) representa el cambio técnico o el efecto de innovación tecnológica concretizado en el desplazamiento de la frontera de producción (*shift frontier*). Dicho cambio cuantifica la distancia media entre las funciones de producción de los dos periodos a estudio. Si han existido mejoras tecnológicas este componente registra valores superiores a la unidad, lo que indica la existencia de progreso técnico. Finalmente, SC representa la evolución en el tiempo de la eficiencia de escala.

4. Índice de Paz Global (GPI)

El Índice de Paz Global (GPI) es un indicador que mide el nivel de paz y la ausencia de violencia de un país. Creado por el Instituto de Economía y Paz, *Institute for Economics and Peace* con sede en Sydney ha desarrollado métricas para analizar la paz y cuantificar sus beneficios económicos. Mide el nivel de paz negativa de un país, utilizando distintos dominios de paz, a nivel nacional y conflicto internacional, investigando hasta donde los países están involucrados en conflictos internos/externos, así como su papel y duración de la participación, evaluando el nivel de armonía/discordia de una nación. Mediante 23 indicadores se determina la seguridad y protección de la sociedad. Para su construcción, los datos provienen de diversas fuentes de información.¹³ El Índice de Paz Global será el output agregado del estudio.

¹³ Fuentes de Información: Uppsala Conflict Data Program, Sweden; Economist Intelligence Unit; Survey of Trends and Criminal Operations of the United Nations Criminal Justice System; International Center for Prison Studies at Kings College, UK; International Institute for Strategic Studies.

5. Selección de Variables

En nuestro estudio, se tomó una muestra de 27 países de la OTAN¹⁴, descartados aquellos que no han aportado los datos económicos/índices en el periodo a estudio. Así, una vez seleccionadas las variables se tomó como output el Índice de Paz Global de cada país, con datos oficiales del Institute For Economics and Peace (2019) y como inputs, cuatro en total: los gastos en defensa por los diferentes países; gastos en personal; gastos en equipos; gastos en infraestructura; y otros gastos en operaciones, mantenimiento e I+D, con datos oficiales de la Web de la OTAN (2019), en el periodo 2010-2017, por ser un periodo reciente (Tabla XIII).

Tabla XIII. Índice de Paz Global y Gastos en Defensa en los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

País/Años	Índice de Paz Global.								Gastos en personal							
	(Fuente: Institute For Economics and Peace)								(millones de dólares EE.UU. constantes 2010 y tipo de cambio). Fuente: OTAN							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	1.925	1.912	1.93	1.96	1.939	1.821	1.867	1.908	140.728	151.828	128.745	133.193	117.046	118.788	101.395	105.71
Bélgica	1.4	1.413	1.38	1.34	1.354	1.368	1.528	1.525	3962.073	3897.956	4022.58	3863.906	3812.603	3669.769	3665.809	3589.743
Bulgaria	1.785	1.413	1.7	1.66	1.637	1.607	2	1.631	534.976	458.722	447.146	494.851	506.238	507.517	469.326	493.765
Croacia	1.707	1.699	1.65	1.57	1.548	1.55	1.633	1.665	658.352	639.458	607.038	576.468	559.54	509.756	497.433	494.000
R. Checa	1.36	1.32	1.4	1.4	1.381	1.341	1.36	1.36	1347.556	1270.802	1360.836	1326.201	1249.49	1281.711	1369.537	1421.607
Dinamarca	1.341	1.289	1.24	1.21	1.193	1.15	1.246	1.337	2288.482	2238.149	2168.501	2095.987	1976.459	1978.981	2014.562	2035.341
Estonia	1.751	1.798	1.72	1.71	1.635	1.677	1.732	1.712	114.573	113.626	123.463	169.676	173.404	189.492	196.209	180.886
Francia	1.636	1.697	1.71	1.86	1.808	1.742	1.829	1.839	24758.98	24891.65	24909.08	24965.03	24341.65	23712.92	24150.25	24516.34
Alemania	1.398	1.416	1.42	1.43	1.423	1.379	1.486	1.5	24357.88	23728.16	23617.55	21830.2	21891.47	21814.75	21865.32	23355.64
Grecia	1.887	1.947	1.98	1.96	2.052	1.878	2.044	1.998	5141.831	4928.265	4231.846	4026.986	4182.384	4079.471	4300.044	4219.506
Hungría	1.495	1.495	1.48	1.52	1.482	1.463	1.534	1.494	761.289	704.909	645.723	619.344	598.733	639.747	748.873	684.922
Italia	1.701	1.775	1.69	1.66	1.675	1.669	1.774	1.737	21514.93	20748.46	19919.74	18402	16909.53	16161.42	16510.35	15749.13
Latvia	1.827	1.793	1.77	1.77	1.745	1.695	1.68	1.67	140.334	131.354	130.268	132.45	136.133	147.677	185.131	197.478
Lituania	1.713	1.76	1.74	1.78	1.797	1.674	1.735	1.732	213.856	208.634	206.35	214.892	221.491	245.844	309.4	348.104
Montenegro	2.06	2.11	2.01	1.98	1.86	1.854	1.884	1.95	54.486	62.16	57.049	55.238	51.83	49.939	49.711	55.313
P. Bajos	1.61	1.628	1.61	1.51	1.475	1.432	1.541	1.525	5865.816	5832.222	5965.172	5704.919	5517.79	5434.984	5293.483	5407.917
Noruega	1.322	1.356	1.48	1.36	1.371	1.393	1.5	1.486	2774.423	2835.979	2778.433	2731.522	2734.339	2644.371	2714.357	2776.665
Polonia	1.618	1.545	1.52	1.53	1.532	1.43	1.557	1.676	4823.175	5009.526	5105.554	5141.07	5107.442	5180.382	5382.173	5698.646
Portugal	1.366	1.453	1.47	1.47	1.425	1.344	1.356	1.241	2484.372	2731.887	2473.205	2557.596	2380.398	2475.837	2405.593	2422.051
Rumania	1.749	1.742	1.63	1.58	1.677	1.542	2	1.6	1649.4	1724.598	1755.6	1788.334	1750.29	1740.75	1817.68	2061.059
R. Eslovaca	1.536	1.58	1.59	1.62	1.381	1.478	1.603	1.611	709.998	694.005	679.937	655.108	666.51	642.261	687.024	698.978
Eslovenia	1.358	1.358	1.33	1.37	1.398	1.378	1.408	1.364	476.247	467.93	434.794	394.548	384.388	374.969	386.232	390.676
España	1.588	1.641	1.55	1.56	1.548	1.451	1.604	1.568	9344.113	8632.044	8193.611	8544.218	8457.904	8558.134	8569.432	8583.555
Turquía	2.42	2.41	2.34	2.44	2.402	2.363	2.71	2.777	7031.665	7437.115	8004.698	8077.294	8481.377	8595.73	9468.66	9369.821
R. Unido	1.631	1.631	1.61	1.79	1.798	1.685	1.83	1.786	21507.29	22292.68	21207.11	22054.82	21002.29	20520.05	20510.31	20142.28
Canadá	1.392	1.352	1.32	1.31	1.306	1.287	1.388	1.373	8466.57	9659.434	9111.487	8997.655	9169.635	11620.22	11207.27	11423.97
EE.UU.	2.056	2.06	2.06	2.13	2.137	2.038	2.154	2.232	336437.5	239659.5	220433.1	221672.6	216631.1	217545.2	271431	259853.3

País/Años	Gastos en Equipo								Gastos en Infraestructura							
	(millones de dólares EE.UU. constantes 2010 y tipo de cambio). Fuente: OTAN								(millones de dólares EE.UU. constantes 2010 y tipo de cambio). Fuente: OTAN							
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	29.183	26.319	26.57	28.833	28.638	13.558	11.935	10.788	3.367	1.537	1.178	2.071	1.479	2.128	2.041	1.426
Bélgica	356.136	322.09	182.891	141.886	172.41	161.37	221.536	250.107	91.788	86.815	81.456	113.909	88.654	43.626	45.163	61.819
Bulgaria	128.211	43.107	25.429	34.216	7.159	23.908	65.423	267.042	19.885	10.419	5.252	3.558	4.379	8.75	4.505	4.52
Croacia	74.704	150.321	131.155	90.798	59.388	84.746	74.767	71.381	13.064	6.759	5.079	10.249	13.17	20.986	12.597	24.318
R. Checa	330.372	300.314	326.195	202.896	132.886	272.714	148.07	281.336	154.014	56.676	35.533	58.154	47.619	76.991	86.411	101.2
Dinamarca	635.064	414.885	399.216	456.143	423.665	437.575	556.639	503.118	48.193	62.147	54.82	46.992	37.394	41.475	87.89	115.177
Estonia	39.442	35.587	56.814	61.685	99.454	61.408	90.55	99.663	45.58	47.77	36.73	49.16	36.82	40.48	61.60	58.43
Francia	15695.24	14208.67	15510.48	12439.41	12343.65	12424.6	12311.89	12350.15	1626.69	1351.77	1734.66	1120.71	1167.24	1389.33	1360.15	1471.59
Alemania	8136.255	7446.53	7678.038	5577.954	5590.598	5219.614	5521.728	6587.488	2386.76	1874.11	1647.63	1554.30	1620.15	1575.07	1533.06	1873.24

¹⁴ Países OTAN: Albania, Bélgica, Bulgaria, Croacia, República Checa, Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Italia, Letonia, Lituania, Montenegro, Países Bajos, Noruega, Polonia, Portugal, Rumania, República Eslovaca, Eslovenia, España, Turquía, Reino Unido, Canadá y Estados Unidos.

Grecia	1420.78	379.845	431.915	651.361	442.732	588.848	790.86	904.222	60.06	81.67	45.68	34.03	59.61	36.80	34.10	21.63
Hungría	163.471	171.077	79.074	140.162	93.353	129.383	201.62	247.741	27.97	18.24	28.57	29.35	12.87	16.06	17.04	26.49
Italia	3129.235	3257.38	2293.161	3069.454	2416.596	2025.648	4452.361	4965.921	401.18	363.47	263.70	385.22	309.82	270.92	163.26	305.92
Latvia	39.206	27.597	24.244	30.225	19.404	40.12	80.391	91.266	14.51	23.78	9.65	15.65	22.85	19.59	54.14	93.07
Lituania	32.6	29.266	34.608	29.813	54.131	109.259	204.408	255.249	6.42	4.27	4.54	6.59	8.36	10.95	24.41	42.69
Montenegro	2.708	1.298	3.064	0.832	4.924	3.475	2.944	6.232	4.34	1.88	0.02	0.06	0.63	1.58	1.59	1.24
P. Bajos	1761.54	1539.681	1390.215	1225.198	1043.009	1092.676	1445.815	1782.48	389.33	402.26	383.58	267.07	465.84	312.33	398.78	354.37
Noruega	1178.269	1112.712	1164.346	1257.885	1470.68	1536.742	1751.081	1997.195	340.55	275.57	318.62	375.57	416.82	382.65	506.76	594.78
Polonia	1539.781	1397.987	1349.846	1238.49	1870.247	4098.872	2467.923	2632.889	336.32	416.02	423.83	500.74	543.01	585.20	527.37	561.30
Portugal	467.28	421.122	294.677	277.06	246.915	263.001	294.122	320.022	15.22	0.35	1.26	1.28	3.22	7.56	1.77	0.31
Rumania	183.568	165.026	86.526	242.474	387.942	540.375	571.223	1251.64	37.76	32.05	24.87	26.26	26.81	34.93	77.45	78.79
R. Eslovaca	111.638	71.429	97.703	69.023	107.197	208.758	179.244	261.989	48.02	10.09	3.78	2.71	5.50	22.73	43.88	50.68
Eslovenia	138.96	35.739	6.612	6.223	3.082	8.436	5.182	20.772	20.61	16.37	11.13	6.52	3.04	2.78	5.79	2.33
España	1783.903	897.701	3275.152	1548.6	1694.344	1945.866	784.833	2695.097	184.29	250.40	121.78	83.88	82.90	127.36	114.48	127.01
Turquía	3954.693	3446.434	3030.697	3979.451	3739.679	3801.666	4200.087	5346.144	401.41	408.19	528.69	402.53	413.04	387.28	397.20	351.72
R. Unido	14762.51	13066.9	10652.62	12755.08	13098.45	12128.02	12769.34	13031.85	977.33	973.64	1041.28	1188.69	1119.28	908.90	1160.85	1153.52
Canadá	2581.089	1982.737	1542.087	1914.833	2347.355	2263.091	2238.922	4705.272	768.16	1123.62	1015.07	706.91	686.37	784.63	639.39	874.67
EE.UU.	173045.6	195953.1	185089.7	166544.6	158699.8	150868.6	151063	175603.3	6988.10	22797.06	16333.46	13411.26	10449.62	8609.19	7357.16	7473.80

Otros Gastos

(millones de dólares EE.UU. precios constantes 2010 y tipo de cambio). Fuente: OTAN

País/Años	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Albania	12.70	17.32	27.51	12.92	24.84	17.53	33.63	37.08
Bélgica	835.53	829.63	835.56	875.80	824.33	816.23	821.49	817.33
Bulgaria	149.01	168.75	213.17	224.38	177.30	148.82	175.68	138.76
Croacia	173.97	155.46	147.73	169.49	175.98	185.51	156.20	197.22
R. Checa	828.06	630.21	484.44	550.54	605.01	687.58	606.20	725.86
Dinamarca	1532.26	1570.82	1798.46	1451.88	1417.87	1346.97	1409.91	1504.36
Estonia	132.44	155.02	198.00	145.44	139.33	187.67	158.69	179.07
Francia	10030.40	9986.92	8566.78	12185.85	12238.45	12092.15	12553.70	12758.92
Alemania	11369.48	12329.20	13731.79	14816.17	14097.47	15142.57	16302.89	16087.84
Grecia	1279.33	1091.57	1072.56	688.63	734.28	956.88	754.99	699.65
Hungría	398.14	497.78	600.50	476.15	498.04	541.81	540.47	656.01
Italia	3610.66	3376.69	3376.40	2681.79	2494.05	2379.93	2197.03	2696.40
Latvia	56.95	73.27	67.81	71.70	78.62	87.59	102.34	148.19
Lituania	73.12	69.86	63.53	71.71	101.02	140.90	141.78	174.96
Montenegro	12.46	9.67	8.87	6.87	8.62	9.01	11.75	13.22
P. Bajos	3203.31	2895.84	2627.00	2549.82	2739.36	2951.01	3087.95	3066.29
Noruega	2205.11	2305.74	2294.60	2294.03	2324.47	2269.24	2308.81	2457.36
Polonia	1793.72	1843.47	2023.88	2029.70	2406.31	2482.78	3037.53	2997.97
Portugal	573.13	335.64	385.54	367.06	298.47	276.61	254.51	361.62
Rumania	215.28	258.33	223.21	206.70	294.71	433.95	329.65	378.51
R. Eslovaca	268.34	223.58	240.68	207.26	184.70	268.26	259.97	271.36
Eslovenia	136.10	106.90	98.46	82.71	76.50	69.81	110.74	104.22
España	3429.22	3540.19	2737.89	2342.31	2323.60	2498.64	2334.44	2551.34
Turquía	2746.24	2733.86	2724.91	2338.24	2276.91	2343.33	2347.06	2516.56
R. Unido	23081.88	23034.78	21610.54	22270.41	22173.23	22204.03	24786.50	24827.35
Canadá	6872.31	7740.26	6888.36	5538.60	5811.64	6947.06	7016.42	7225.09
EE.UU.	203879.71	267611.34	264423.68	243208.00	225308.51	216773.38	173255.12	174738.56

Fuente: Elaboración propia

6. Resultados

Las tablas siguientes presentan las variaciones de los índices de productividad, así como los porcentajes de variación de cada país, las medias del país y las medias de cada par de años analizados, junto con una gráfica que representa la variación del índice de productividad de los países de la OTAN para los años 2010,...,2017. De esta forma, en lo que sigue, mostramos el IM (Tabla XIV- Figura 6) y su descomposición en: Eficiencia Técnica -EC- (Tabla XV- Figura 7), Cambio Tecnológico TC- (Tabla XVI- Figura 8) y Eficiencia de Escala -SC- (Tabla XVII- Figura 9).

De los cálculos para los 27 países de la OTAN en relación con el GPI del 2010,...,2017 por pares de años se desprende (Tabla XIV-Figura 6), que los países en general variaron sus productividades en un 2 %; los países con mayores incrementos fueron: Albania (1,147), Grecia (1,142), Croacia (1,137), Eslovenia (1,106), Italia (1,080), Bélgica (1,056), Montenegro (1,051), República Eslovaca (1,049), República Checa (1,037) y Francia (1,031). Además, la productividad relativa disminuyó en 11 países con un IM promedio <1: Dinamarca, Estonia, Latvia, Lituania, Polonia, Portugal, Rumania, España, Turquía, Canadá y EE.UU.

Tabla XIV. Índice de Productividad de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

País/Años	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Media
Albania	1.770	1.071	1.407	0.759	0.825	1.069	1.461	1.147
Bélgica	1.068	1.083	1.125	0.927	1.400	1.079	0.803	1.056
Bulgaria	1.356	1.709	0.882	1.880	0.341	2.417	0.812	1.000
Croacia	1.801	1.143	1.002	1.016	0.948	1.357	0.913	1.137
R. Checa	1.331	1.060	1.026	1.047	0.947	0.949	0.944	1.037
Dinamarca	0.769	1.038	1.010	1.046	0.915	0.701	1.062	0.924
Estonia	1.035	0.880	0.723	0.936	0.939	0.997	1.072	0.934
Francia	1.123	1.007	1.085	0.997	0.989	1.031	0.990	1.031
Alemania	1.044	1.008	1.089	0.992	0.972	1.075	0.945	1.017
Grecia	0.816	1.446	1.040	0.838	1.373	1.175	1.531	1.142
Hungría	1.336	1.005	1.071	1.009	0.855	0.988	0.898	1.014
Italia	1.138	1.134	1.098	1.092	1.091	1.764	0.576	1.080
Latvia	1.048	0.995	0.984	0.959	0.895	0.791	0.932	0.940
Lituania	1.495	0.967	0.982	0.979	0.839	0.824	0.887	0.977
Montenegro	1.458	4.976	1.147	0.291	0.749	0.967	0.806	1.051
Países Bajos	1.000	0.967	0.981	1.010	0.986	1.105	0.969	1.002
Noruega	1.003	1.114	0.935	1.007	1.051	1.049	0.968	1.017
Polonia	0.865	0.965	1.000	1.008	0.920	1.048	1.017	0.973
Portugal	0.704	0.504	1.016	0.441	0.402	4.298	3.563	0.997
Rumania	1.159	1.149	1.035	0.871	0.808	0.737	0.845	0.931
R. Eslovaca	2.992	1.598	1.057	0.593	0.465	1.014	0.988	1.049
Eslovenia	1.151	2.321	1.115	1.921	0.453	1.106	0.704	1.106
España	0.816	1.355	0.965	1.003	0.673	1.230	0.880	0.965
Turquía	0.958	0.902	1.033	0.938	0.971	1.041	1.036	0.981
R. Unido	0.981	1.038	1.069	1.055	0.959	1.087	0.994	1.025
Canadá	0.851	1.035	1.005	0.978	0.778	1.118	0.970	0.956
EE.UU.	0.662	1.087	1.028	1.027	0.950	0.995	1.051	0.961
Medias	1.111	1.161	1.028	0.933	0.829	1.125	0.994	1.020

Fuente: Elaboración propia

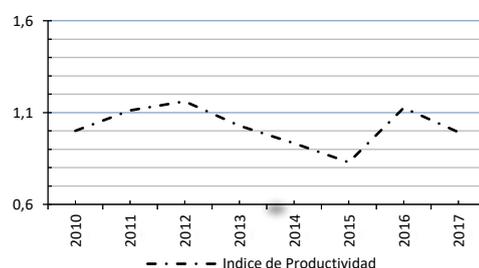


Figura 6. Índice de Productividad de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia

La productividad a lo largo del tiempo creció en el 71,5 % de los países durante los tres primeros periodos, decreciendo en un 68,5 % de los países en los dos siguientes periodos a

estudio y aumentando un 66,6% en los dos últimos periodos. Así, países como Francia, Alemania y República Eslovaca crecieron, registrando un máximo en 2013 y un mínimo en 2015. Otros registraron máximos como: Dinamarca y EE.UU en 2010, 2014 y 2017; Latvia y Lituania en 2011; Estonia y España en 2011 y 2017; Portugal y Turquía en 2011, 2013 y 2017; Montenegro y Rumania en 2013; Albania y Bélgica en 2013 y 2017; R. Checa y Hungría en 2014; Croacia y Eslovenia en 2014 y 2016. Y países como Noruega, Italia, Grecia, Polonia y R. Unido mejoraron su productividad.

Por otra parte, en cuanto a la eficiencia técnica de los cálculos para los 27 países de la OTAN en relación con el GPI del 2010,...,2017 por pares de años se desprende (Tabla XV-Figura 7), que los países en general variaron su eficiencia técnica en un 0,2 %; los países con mayores incrementos fueron: Portugal (1,061), Bélgica (1,020), Grecia (1,016), Noruega (1,015), R. Eslovaca (1,012), Eslovenia (1,009), Lituania (1,008), República Checa (1,007), Hungría (1,006), Dinamarca (1,005), Estonia (1,004) y Croacia (1,004). Además, la eficiencia técnica disminuyó en 13 países: Albania, Bulgaria, Francia, Alemania, Italia, Latvia, P. Bajos, Polonia, Rumania, España, R. Unido, Canadá y EE. UU.

Tabla XV. Eficiencia Técnica de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

País/Años	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Media
Albania	1.000	0.960	1.031	1.011	0.982	1.002	0.995	0.997
Bélgica	0.988	1.029	0.987	1.020	1.066	1.033	1.018	1.020
Bulgaria	0.776	1.264	0.991	1.048	0.987	1.155	0.833	0.995
Croacia	0.973	1.020	0.962	1.008	1.046	0.989	1.033	1.004
R. Checa	0.950	1.115	1.014	1.004	1.011	0.952	1.011	1.007
Dinamarca	0.941	1.010	0.981	1.003	1.010	0.991	1.103	1.005
Estonia	1.003	1.004	1.007	0.978	1.070	0.999	0.970	1.004
Francia	1.042	1.038	1.043	0.987	0.079	0.916	0.981	0.696
Alemania	1.017	1.033	0.966	1.011	0.985	0.940	0.985	0.991
Grecia	1.016	1.069	1.000	1.030	0.988	1.007	1.005	1.016
Hungría	0.978	1.041	1.038	0.996	1.031	0.970	0.991	1.006
Italia	1.029	1.041	0.915	1.042	1.060	0.988	0.839	0.985
Latvia	0.959	1.036	1.015	1.025	0.997	0.959	0.973	0.994
Lituania	1.003	1.037	1.038	1.030	0.970	0.989	0.988	1.008
Montenegro	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Países Bajos	1.000	1.027	0.955	0.980	1.027	0.962	0.995	0.992
Noruega	1.007	1.135	0.918	1.028	1.054	0.993	0.984	1.015
Polonia	0.941	1.018	1.023	0.973	0.944	0.985	1.090	0.995
Portugal	1.515	0.731	1.015	0.989	0.984	0.993	1.395	1.061
Rumania	0.974	0.984	0.975	1.074	0.961	0.990	0.961	0.988
R. Eslovaca	1.006	1.058	1.034	0.868	1.107	1.012	1.019	1.012
Eslovenia	0.981	1.029	1.046	1.446	0.743	1.004	0.937	1.009
España	1.050	0.991	1.011	0.993	0.963	1.052	0.924	0.997
Turquía	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Reino Unido	1.004	1.017	1.066	1.020	0.953	0.947	0.952	0.993
Canadá	0.977	1.023	0.982	0.974	1.030	0.980	0.877	0.703
EE.UU.	1.006	1.030	0.992	1.019	0.969	0.922	1.011	0.992
Medias	1.000	1.024	1.000	1.017	0.995	0.989	0.991	1.002

Fuente: Elaboración propia

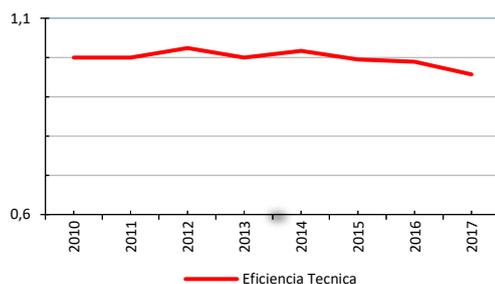


Figura 7. Eficiencia Técnica de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.
Fuente: Elaboración propia

La eficiencia técnica a lo largo del tiempo creció en el 58 % de los países durante los cuatro primeros periodos, decreciendo en el 58,8 % de los países en los tres siguientes periodos. Así, obtuvieron máximos países como: Lituania, y Reino Unido en 2014; Italia y Noruega en 2012 y 2015; Croacia, Dinamarca y España en 2010, 2012, 2014 y 2017; Bélgica y Bulgaria en 2010, 2012 y 2017. Otros como Albania, República Checa, Estonia, Grecia, Países Bajos, República Eslovaca, Eslovenia, Canadá y EE. UU., siguieron una línea ascendente con altibajos. Y el resto siguió una línea descendente a excepción de Montenegro y Turquía que terminaron con el mismo valor de cambio de eficiencia con el que comenzaron el periodo de estudio.

En cuanto al cambio técnico de los cálculos para los 27 países de la OTAN en relación con el GPI del 2010,...,2017 por pares de años se desprende (Tabla XVI-Figura 8), que los países en general variaron su cambio técnico en un 5,2%; los países con mayores incrementos fueron: Croacia (1,300), Albania (1,174), Lituania (1,173), Italia (1,168), Grecia (1,136), Bélgica (1,121), Bulgaria (1,100), Rumania (1,092), Hungría (1,089), EE.UU. (1,069), Reino Unido (1,066), España (1,060), Dinamarca (1,059), Montenegro (1,051), Eslovaca (1,051), Turquía (1,036), República Checa (1,034), Francia (1,027) y Países Bajos (1,011). Además, el cambio técnico disminuyó en 8 países: Estonia, Alemania, Latvia, Noruega, Polonia, Portugal, Eslovenia y Canadá.

El cambio técnico a lo largo del tiempo creció en el 73,4 % de los países durante los cuatro primeros periodos y un 60 % de los países en los tres siguientes periodos. Así, obtuvieron máximos países como: Albania, Grecia, Hungría, Rumania y España en 2013 y 2017; Bélgica y Bulgaria en 2013 y 2017; Croacia y Hungría en 2014 y 2017; República Checa, Francia, Lituania, Países Bajos, Turquía y Reino Unido en 2016; Alemania, Latvia, Noruega y Polonia en 2010 y 2016; Montenegro y República Eslovaca en 2013. Otros como Estonia, Portugal, Eslovenia y Canadá siguieron una línea ascendente con oscilaciones.

Tabla XVI. Cambio Técnico de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

País/Años	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Media
Albania	1.770	2.517	1.137	0.866	0.522	1.010	1.332	1.174
Bélgica	2.233	1.337	1.337	0.440	1.066	1.010	1.177	1.121
Bulgaria	1.969	1.876	1.017	0.321	1.193	1.010	1.345	1.100
Croacia	2.160	3.011	1.017	1.001	0.892	1.015	1.046	1.300
R. Checa	1.161	1.111	1.017	1.001	1.035	1.021	0.911	1.034
Dinamarca	2.039	1.173	1.017	1.001	0.651	1.015	0.930	1.059
Estonia	0.898	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.990
Francia	1.163	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	1.027
Alemania	0.902	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.991
Grecia	2.170	2.249	1.017	0.832	0.431	1.010	1.358	1.136
Hungría	1.890	1.116	1.017	1.001	0.759	1.010	1.103	1.089
Italia	2.058	1.968	1.051	0.883	0.646	1.010	1.210	1.168
Latvia	0.898	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.990
Lithuania	2.115	1.442	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	1.173
Montenegro	1.458	4.976	1.147	0.291	0.749	0.967	0.806	1.051
Países Bajos	1.042	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	1.011
Noruega	0.898	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.990
Polonia	0.954	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.999
Portugal	4.019	1.030	0.519	0.097	0.400	1.010	2.300	0.791
Rumania	2.174	1.674	1.257	0.866	0.573	0.889	0.920	1.092
R. Eslovaca	1.486	3.218	1.017	0.478	0.643	1.021	0.930	1.051
Eslovenia	1.741	0.647	3.528	0.186	1.072	1.101	0.800	0.950
España	2.115	1.467	1.017	0.803	0.441	1.010	1.334	1.060
Turquía	1.233	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	1.036
Reino Unido	1.502	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	1.066
Canadá	0.898	1.038	1.017	1.001	1.035	1.021	0.930	0.990
EE.UU.	1.345	1.038	1.017	1.001	1.035	1.015	1.066	1.069
Medias	1.522	1.388	1.068	0.723	0.831	1.013	1.038	1.052

Fuente: Elaboración propia

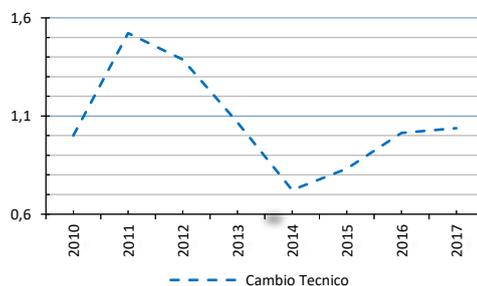


Figura 8. Cambio Técnico de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en cuanto a la eficiencia de escala de los cálculos para los 27 países de la OTAN en relación con el GPI del 2010,...,2017 por pares de años se desprende (Tabla XVII-Figura 9), que los países en general empeoraron su eficiencia de escala en un 3,3 %, los países con mayores incrementos fueron: Portugal (1,227), Eslovenia (1,151), Alemania (1,036), Noruega (1,011) y Francia (1,006). Además, la eficiencia de escala disminuyó en 20 países: Albania, Bélgica, Croacia, República Checa, Dinamarca, Estonia, Grecia, Hungría, Italia, Latvia, Lithuania, Países Bajos, Polonia, Rumania, República Eslovaca, España, Turquía, Reino Unido, Canadá y EE.UU.

La eficiencia de escala a lo largo del tiempo creció en el 23,12% de los países durante los cuatro primeros periodos y un 54,2% de los países en los tres siguientes periodos. Así, obtuvieron máximos países como: Bélgica, Croacia, Hungría, España y Turquía en 2010 y 2016; Estonia y Latvia en 2011 y 2017; Francia, Países Bajos y Canadá en 2010, 2014 y 2017; Alemania y Noruega en 2011, 2013 y 2017; Polonia y Reino Unido en 2010, 2014 y 2017. Otros como Albania, Bulgaria, República Checa, Dinamarca, Grecia, Italia, Lituania, Montenegro, Portugal, Rumania, República Eslovaca, Eslovenia, Turquía y EE. UU. siguieron tendencias oscilantes.

Tabla XVII. Eficiencias de Escala de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017

País/Años	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Media
Albania	1.000	0.443	1.201	0.867	1.610	1.057	1.102	0.980
Bélgica	0.484	0.788	0.852	2.065	1.231	1.034	0.670	0.923
Bulgaria	0.888	0.721	0.876	5.583	0.290	2.072	0.725	1.045
Croacia	0.857	0.372	1.023	1.007	1.016	1.351	0.845	0.871
R. Checa	1.207	0.856	0.994	1.041	0.905	0.977	1.025	0.995
Dinamarca	0.401	0.876	1.011	1.041	1.392	0.696	1.035	0.868
Estonia	1.150	0.845	0.706	0.955	0.848	0.978	1.188	0.939
Francia	0.926	0.935	1.023	1.008	0.976	1.103	1.085	1.006
Alemania	1.139	0.940	1.109	0.981	0.954	1.121	1.031	1.036
Grecia	0.370	0.601	1.023	0.978	3.221	1.155	1.122	0.989
Hungría	0.723	0.865	1.014	1.011	1.093	1.009	0.821	0.925
Italia	0.537	0.554	1.142	1.187	1.592	1.769	0.567	0.939
Latvia	1.218	0.925	0.953	0.935	0.868	0.808	1.029	0.955
Lituania	0.705	0.646	0.930	0.949	0.836	0.816	0.965	0.827
Montenegro	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Países Bajos	0.959	0.907	1.009	1.030	0.928	1.125	1.047	0.998
Noruega	1.110	0.946	1.001	0.978	0.963	1.034	1.058	1.011
Polonia	0.963	0.914	0.961	1.035	0.942	1.042	1.002	0.979
Portugal	4.205	0.023	1.930	4.615	1.022	4.286	1.111	1.227
Rumania	0.547	0.697	0.845	0.936	1.068	0.837	0.956	0.824
R. Eslovaca	2.001	0.469	1.005	1.430	0.653	0.982	1.042	0.985
Eslovenia	0.674	3.484	0.302	7.140	0.568	1.002	0.929	1.151
España	0.367	0.933	0.938	1.259	1.585	1.158	0.714	0.913
Turquía	0.777	0.869	1.016	0.936	0.938	1.020	1.113	0.947
Reino Unido	0.651	0.983	0.986	1.033	0.973	1.124	1.120	0.969
Canadá	0.971	0.974	1.006	1.004	0.730	1.118	1.190	0.989
EE.UU.	0.489	1.017	1.019	1.006	0.947	1.063	0.975	0.906
Medias	0.834	0.721	0.963	1.268	0.992	1.123	0.966	0.967

Fuente: Elaboración propia

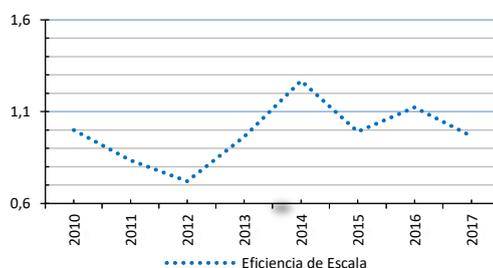


Figura 9. Eficiencias de Escala de los países de la OTAN. Periodo 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia

La Figura 10 representa la variación de los índices de productividad para el periodo.

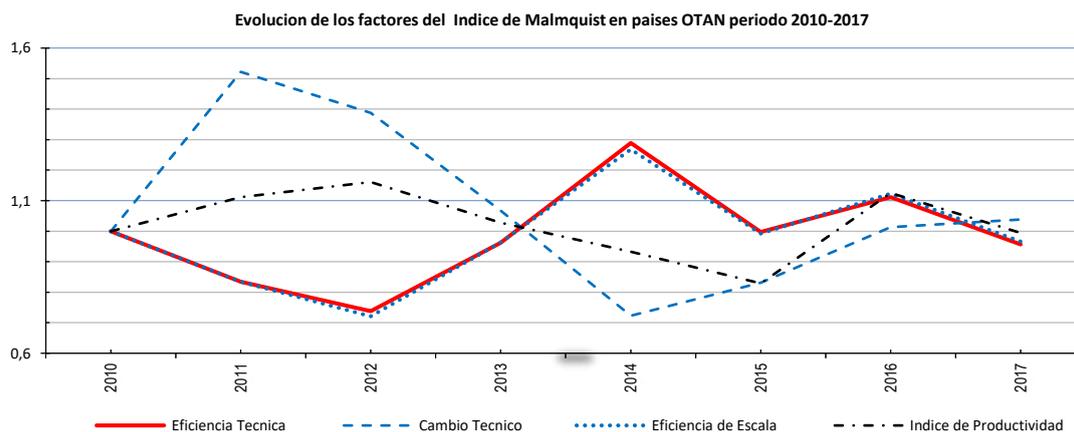


Figura 10. Evolución de los factores del Índice de Malmquist países OTAN. 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la Figura 11 se representa la media del índice de productividad de cada país de la OTAN, positivos/negativos por pares de años.

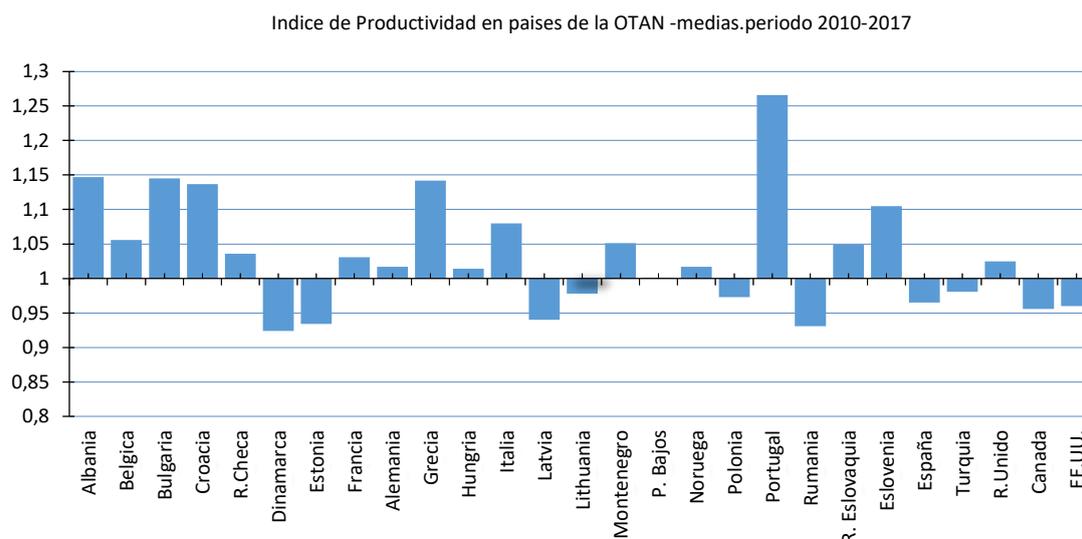


Figura 11. Índice de productividad en países OTAN.2010-2017

Fuente: Elaboración propia

Si tenemos en cuenta el conjunto de gráficas y tablas mostradas se puede deducir que la evolución del cambio en la productividad parece explicarse por el cambio tecnológico y no tanto por el cambio en la eficiencia técnica o el cambio en la eficiencia de escala.

7. Discusión

Los resultados anteriores sugieren que el aumento de la productividad respecto al GPI de los gastos en defensa de los países de la OTAN se está incrementando. Se evidencia por el aumento de la media del Índice de productividad (Tabla XIV), lo que tiene serias

implicaciones para la formulación de políticas de seguridad en la OTAN. Esto cuestiona la asignación actual de recursos en la OTAN y exige que se diseñen nuevas políticas de seguridad, en relación a buscar una óptima y eficiente asignación de recursos. Además hay que tener en cuenta que el Índice de productividad calculado emana de la relación de las puntuaciones de eficiencia logradas por cada país en cada año, obtenidas de la distancia del país a la frontera de la tecnología de las mejores prácticas.

Identificar estas puntuaciones de eficiencia anualmente es relevante para los propósitos de este documento, ya que puede identificar los puntos de referencia que definen la frontera tecnológica, señalando qué países logran los mayores outputs con los inputs dados y saber a qué distancia se encuentran de la frontera el resto de los países. En relación a la existencia de economías de escala (SC), no es posible llegar a una conclusión sólida, ya que el valor del índice de cambio de eficiencia de escala varía anualmente para la mayoría de los países. Desde nuestro punto de vista, estos resultados pueden deberse a que cada país posee diferentes posibilidades de obtener economías de escala, lo cual lleva a que la distinta especialización sectorial en los sectores de defensa posea un claro efecto en las fronteras de producción – (Fonfría y Duch-Brown, 2014) - tecnológicas con conjuntos de referencia que se cruzan.

Por lo tanto, este hecho requeriría el uso de metodologías alternativas en futuros esfuerzos de investigación. La mayoría de los países muestran una evolución en forma de onda, lo que sugiere que los rendimientos a escala de sus actividades de seguridad varían de un período a otro, lo cual conduce a resultados no concluyentes. El segundo conglomerado más grande incluye aquellos países cuyo patrón dinámico evoluciona alrededor de eficiencia de escala $SC = 1$. Esto sugiere que sus actividades de seguridad muestran retornos constantes a escala.

Resumiendo, y teniendo en cuenta la revisión de la literatura efectuada y no habiéndose encontrado estudios en este campo con las variables seleccionadas, en cuanto a las hipótesis planteadas, se desprende que cada país puede tomar como referencia a los países que se encuentran más cercanos a la frontera para incrementar los índices de productividad. Es decir, con los mismos inputs producir más outputs y así poder reducir sus holguras en los índices de eficiencia. Por ello, es importante considerar las distintas culturas estratégicas, la situación económica, los compromisos internacionales y las estrategias de defensa de los países, ya que marcan, tanto el gasto que se realiza, como la forma de llevarlo a cabo (Ghazalian y Hammoud, 2020).

Esto muestra que los países, como indica adecuadamente Nelson (2004), tienen distintas formas de hacer las cosas y por ello hay que tenerlo en cuenta a la hora de realizar estudios sobre productividad. Finalmente, vemos que existe un amplio margen para mejorar la práctica del gasto en defensa y con ello mejorar la seguridad. Teniendo en cuenta la disparidad de los resultados en el estudio, las políticas de seguridad deben seguir distintos caminos. Así, si un país está configurando su frontera, intentaría mejorar el cambio tecnológico y desplazar la frontera tecnológica más allá. O si un país necesita reducir su distancia a la frontera de producción, se le ayudaría a conseguirlo (Hayes y Feldman, 2004).

8. Conclusiones y futuras líneas de investigación

El análisis realizado aporta a la literatura información sobre un área poco estudiada, donde se ha podido observar la aplicación del análisis microeconómico a la evaluación y control de la productividad en el sector público. La mayoría de los estudios de la economía de la defensa se basan en análisis enfocados a los efectos que produce el gasto de defensa en la economía nacional, aplicando metodologías basadas en la eficiencia para evaluar la eficiencia / productividad. Normalmente, utilizan una perspectiva estática y analizan la eficiencia del gasto en defensa en un periodo anual, pero sin vincular los rendimientos a lo largo del tiempo.

Así, la teoría de la producción y la teoría de la productividad pública conforman la base de esta investigación, utilizando una aproximación frontera, con un enfoque no paramétrico (Data Envelopment Analysis) y el índice de Malmquist (IM), al objeto de considerar a la eficiencia como una fuente distinta de crecimiento de la productividad (Liu *et al.*, 2014). Este enfoque presenta la ventaja de que sus resultados no están sesgados en presencia de ineficiencias y permite descomponer, para cada país, la parte de crecimiento de la productividad total debida al cambio técnico y a cambios de eficiencia, con lo que no resulta necesario suponer ninguna forma funcional explícita para la función de producción, ni establecer supuestos distribucionales para el término de ineficiencia.

Es importante destacar que, en el caso de los gastos en defensa no se ha proporcionado ninguna evidencia exhaustiva sobre el grado en que el gasto en defensa está relacionado con el Global Peace Index (GPI), es decir el cambio de la frontera entre t y $t+1$ y los procesos de recuperación para ver los movimientos de las unidades ineficientes hacia una frontera de producción. Para afrontar este vacío y con el fin de captar la dinámica que está actuando en el cambio de productividad, por primera vez, se aplica el IM a los datos de 27 países de la

OTAN entre 2010-2017, tomando como output el GPI y como inputs: gastos en personal, gastos en equipos, gastos en infraestructura, otros gastos (operaciones, mantenimiento, I+D), utilizando el software Win4 Deap2 -2.1.0.1.

Adicionalmente, el IM ha sido descompuesto en tres componentes: cambio tecnológico (CT), cambio de eficiencia (EC) y cambio de eficiencia de escala (SC). De nuestros análisis se concluye que, en el periodo a estudio (2010-2017), y en términos globales, la productividad de los países OTAN mejoró, fundamentalmente como resultado de la mejora en cambio tecnológico y en cambio en la eficiencia técnica a lo largo del tiempo. A futuro, este trabajo podría llegar a extenderse a través de diferentes líneas de investigación. En primer lugar, se podría profundizar en la identificación de las observaciones de referencia (peers) más adecuados por país; de modo que cada país cuente con una lista de pares de los que aprender.

En segundo lugar, el DEA es una técnica determinista y no dispone de un criterio estadístico que permita valorar la bondad de los resultados, por tanto, éstos pueden ser muy sensibles a errores de medida. En este sentido, el uso de *bootstrapping* (Simar y Wilson, 2000) o de técnicas basadas en *machine learning*, como en Esteve *et al.* (2020) o Valero-Carreras *et al.* (2021), podría resultar de interés. En tercer lugar, podrían aplicarse diferentes modificaciones del índice de Malmquist, con el objetivo de tener en consideración, por ejemplo, la posible existencia de *slacks* en la evaluación de la eficiencia (Zofio y Lovell, 2001; Aparicio *et al.*, 2017, 2019).

Finalmente, los resultados del análisis contribuyen a orientar a los países para que implanten mecanismos de planificación y control que les orienten a la asignación de recursos hacia actividades que aporten, en mayor medida, al cumplimiento de sus objetivos. La investigación queda abierta a su ampliación y a la realización de análisis más exhaustivos con datos, que por estar clasificados o ser confidenciales, no se han podido utilizar en este trabajo.

CAPÍTULO IV

MEDICIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD DE LA INDUSTRIA DE DEFENSA ESPAÑOLA¹⁵

1. Introducción

El aumento de la competencia internacional en la industria de defensa impone la necesidad de aumentar la productividad de las empresas y, por tanto, de la industria en su conjunto. En consecuencia, a partir del carácter dual de la industria de defensa, ésta debe adaptarse para servir de catalizador y detonante del desarrollo tecnológico en los principales sectores productivos militares y civiles. Derivado de la situación actual de rápidos cambios (aumento de la competencia, mejora de las tecnologías), el proceso de toma de decisiones incide en la definición actual y en las características futuras de la forma de actuar de los agentes implicados (Martí y Fonfría, 2018).

Así mismo, desde la UE se está reforzando la cooperación, pilar fundamental para mejorar la industria de defensa europea, ya que se pretende impulsar de forma sistemática la cooperación en defensa desde dos perspectivas: La tecnológica y la industrial (EU Global Strategy, 2016). De esta forma, la industria española, como la más pequeña de las cuatro grandes, se ve obligada a aumentar su productividad si quiere estar a la cabeza del plano industrial y poder mantenerse en esa posición a lo largo del tiempo.

Además, hay que tener en cuenta que la industria de defensa española es un sector estratégico de la economía española y uno de los motores del fortalecimiento de la base industrial y tecnológica del país (Peñalver, 2013), (Martí Sempere, 2011). Por tanto, esta industria no sólo tiene una gran importancia desde el punto de vista de su productividad como generadora de negocios y empleo directo o indirecto, sino también por su alta complejidad industrial y tecnológica y como garantía de la soberanía y seguridad ciudadana (MINISDEF, 2017). En el escenario general de disminución del gasto en defensa, este sector busca nuevos mercados internacionales donde crecer, así como mejorar la prestación de los servicios públicos de la forma más eficiente posible. Este último hecho se convirtió en un objetivo de central importancia en el desarrollo de la política económica y una de las principales preocupaciones

¹⁵ Publicado en la Revista *Defence and Peace Economics*. Taylor & Francis Online, como Mónica Domínguez Sánchez & Antonio Fonfría, *Measuring Productivity of the Spanish Defence Industry*, 1-19. DOI:10.1080/10242694.2022.2053369

en torno a este tema es medir la eficiencia de las entidades públicas y de las empresas públicas y privadas (López, 2011).

Según los trabajos de Swan (1956) y Solow (1957) sobre contabilidad del crecimiento económico, ha sido habitual medir los cambios en la productividad total de los factores a nivel macroeconómico a través de la diferencia entre las tasas de crecimiento del producto y la tasa de los factores productivos. De esta forma, la contabilidad del crecimiento asumía postulados de la teoría neoclásica, como el de equilibrio, la asignación óptima de recursos o retornos constantes a escala. Dichos postulados, resultaban bastantes restrictivos ya que se asumía que cada economía se consideraba como si fuera una unidad aislada del resto.

Además, la metodología del crecimiento económico requiere que la producción observada se mantenga en un estado de eficiencia y debido a esto, no es posible distinguir en este caso entre progreso tecnológico y cambios en la eficiencia, ya que se asimilan todos los cambios que ocurren en la productividad y el cambio tecnológico. Además, a diferencia de los métodos tradicionales basados en la regresión, los métodos basados en la eficiencia a nivel de fronteras de producción identifican patrones basados en las mejores prácticas. Adicionalmente, el cambio en la productividad puede descomponerse en diferentes fuentes (Orea, 2002), (Zofio, 2007), lo que aporta valor adicional a su análisis, descomponiéndose en cambio en eficiencia técnica; cambio en la eficiencia de escala y cambio tecnológico.

Existen diferentes definiciones relacionadas con la noción de eficiencia y productividad, sin embargo, ambas nociones van en la misma dirección ya que, en Economía, hay que tomar decisiones sobre cómo utilizar los recursos y tratar de satisfacer necesidades con los recursos disponibles, buscando que los resultados lleguen a ser los mejores. De esta forma, se deben aprovechar las posibilidades existentes para producir la mayor cantidad posible de bienes y servicios (Christense y Laegreid, 2011). Este artículo pretende dar respuesta a las siguientes preguntas: ¿Qué sectores de la industria de defensa española obtienen una mayor variación en los índices de productividad? ¿Qué factores (cambio tecnológico, cambio de eficiencia y/o cambio de escala) explican la evolución de dicha productividad?.

Así, el trabajo proporciona respuestas a varias preguntas de interés para la literatura de Economía de la Defensa sobre los sectores industriales de defensa. En primer lugar, destaca la importancia de aplicar IM como una medida válida para evaluar el desempeño de la productividad. En segundo lugar, proporciona una nueva evidencia sobre los procesos de

productividad, el cambio técnico y los efectos de escala en la actividad de la Industria de defensa. Finalmente, identifica sectores industriales cuya productividad sirve de referencia para otros. En este contexto, utilizaremos como inputs: Las ventas directas al Ministerio de Defensa español y las Ventas internacionales de defensa, y como outputs el número de empleados, utilizando un panel de datos para el período 2010-2017.

El resto del artículo está estructurado de la siguiente manera. En la Sección 2 se muestra una breve revisión de la literatura. En la Sección 3 se detalla la metodología utilizada para medir la productividad. En la Sección 4 se analiza una selección de variables. En la Sección 5 se exponen los resultados obtenidos. En la Sección 6 se discuten los resultados obtenidos en el documento, finalizando con unas conclusiones, unas propuestas y unas líneas de investigación futuras.

2. Revisión de la literatura

Según la revisión de la literatura, existen muy pocos estudios empíricos sobre el crecimiento de la Productividad Total de los Factores relacionados con la industria de defensa española. Por tanto, este trabajo trata de llenar este vacío, analizando la capacidad tecnológica y productiva de los sectores que conforman la industria de defensa, en base a la eficiencia y productividad con la que estos sectores industriales llevan a cabo su producción.

En la literatura la mayoría de los estudios son extranjeros, (Kennedy, 2010), (Brown, 2015) y muy pocos analizan el caso español. (Kin, 2015) evalúa la eficiencia y productividad de 45 empresas productoras de armas para la defensa a nivel internacional durante el período 2010-2014, analizando tres áreas: (1) Efectos en el gasto militar y el crecimiento económico; (2) Los determinantes del gasto militar; (3) Medición de los efectos económicos de la industria de defensa en los sectores de alta tecnología. Otros trabajos en este sentido son los de Cappelen, *et al.*, (1984) , que analiza 17 países de la OCDE, dando como resultado que el crecimiento económico del gasto militar tiene un efecto global negativo, (Hagedoorn y Clodt., 2003) y (Odehnal y Neubauer, 2020).

En cuanto a la función de producción y la industria española, los análisis se centran principalmente en estudios de datos de panel y tablas input-output (Palma *et al.*, 1995, Fonfría 2011), viendo cómo afectan a los presupuestos de defensa, que producen un impacto no solo incremental sino que pone en riesgo la continuidad del sector industrial. Martínez y Rueda (2013) analizan la variación de la productividad de cinco subsectores de la industria

de defensa en el período 1996-2009, a través de DEA, mostrando una mejora en la productividad en el conjunto de la Base tecnológica e industrial de seguridad y defensa (SDTIB), debido a los avances tecnológicos y en menor medida a la eficiencia técnica.

Otros, se enfocan en las interacciones macroeconomía-defensa, política industrial sectorial, eficiencia en la composición de fuerzas y asignación de recursos (García-Estevéz y Trujillo-Baute 2014). La mayoría de los estudios utilizan diferentes enfoques utilizando los efectos de la I+D sobre la productividad (Fonfría y Correa-Burrows, 2010), viendo que los contratos de defensa tienen un efecto positivo en las ganancias, así como en las recompensas y la innovación; Por otro lado, García-Estevéz y Trujillo-Baute (2014), estudian la función de distancia estocástica orientada al output para calcular la eficiencia técnica de los contratistas de defensa como medida de desempeño.

Como resultado, para las empresas que operan dentro de la industria de defensa, tanto la decisión estratégica de participar en I+D y la decisión a corto plazo de invertir en I+D fueron impulsadas por la intensidad de su participación en la contratación con el Ministerio de Defensa, y desde una visión más orientada a la política en general, en este caso en su desempeño (Arteaga, 2014).

Por otro lado, Duch-Brown. *et al.* (2014), estudia la estructura de mercado y la eficiencia técnica de los contratistas del Ministerio de Defensa español, revisando 380 empresas, en el periodo 2003 a 2008, utilizan una función de distancia estocástica orientada al output para calcular la eficiencia técnica de los contratistas de defensa como rendimiento de medida, con una estructura de mercado y una ecuación de comportamiento en la frontera. Identifican los factores a nivel de la empresa y de la industria que afectan a los grados de ineficiencia. Los resultados confirman que existen correlaciones multidireccionales entre la estructura del mercado, el comportamiento y los contratistas de defensa.

De la misma manera, Bastida y Peñalver (2019), estudian un modelo para evaluar la eficiencia y productividad de los principales sectores industriales de defensa españoles con orientación input, mediante el software Toolbox, calculando el principal índice de productividad del modelo, llegando a la conclusión de la existencia de un capital humano desaprovechado. Guzmán-Raja, (2009) analiza la eficiencia y los cambios tecnológicos en una muestra de 74 DMU, agrupadas en dos sectores -secundario y terciario- que abastecen al Ministerio de Defensa español, utilizando los costes de personal y de activos fijos como

inputs y los ingresos operativos como output. El análisis se realiza para el período comprendido entre 2003 y 2007, y utiliza la base de datos SABI (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos) para obtener datos de estas variables.

3. Metodología

Según Lui *et al.*, (2013), destaca la versatilidad del DEA y su capacidad para evaluar la eficiencia relativa de las DMU dentro de un grupo que comparte los mismos intereses y objetivos. Otros, como Chen y Sherman (2004), estudian fórmulas para mejorar la eficiencia a través del DEA de supereficiencia radial, mejorando el desempeño de discriminación de las DMU que evalúan la distribución de la carga compartida en los países de la OTAN. La mayoría de los estudios que utilizan DEA son estáticos.

Por ello, y siendo original, dado que este trabajo es el único hasta el momento que analiza la variación de la productividad en los sectores industriales de defensa en España, en nuestro artículo el objetivo principal es utilizar una metodología que permita descomponer los cambios en la Productividad Total de los Factores, en los cambios debidos al progreso tecnológico y en los cambios atribuibles a la eficiencia técnica y de escala. Para ello, se utiliza una metodología basada en técnicas no paramétricas, en situaciones dinámicas, dependientes del tiempo, por lo que no requiere especificar una forma funcional específica para la función de producción. Esta técnica es conocida en la literatura como Análisis Envoltente de Datos (DEA).

De esta forma y utilizando como herramienta básica las funciones de distancia de Shephard (1953), calcularemos los Índices de Malmquist (IM) (Malmquist, 1953), (Caves *et al.*, 1982), para determinar el cambio en la productividad y su evolución en el tiempo, para los Sectores Industriales de Defensa en España, durante el periodo 2010-2017. Estudiaremos el cambio de productividad a lo largo del tiempo, utilizando métodos de frontera que han recibido una atención considerable en la literatura, ya que se enfoca en evaluar el desempeño económico de las DMU ¹⁶.

El enfoque más común para medir el cambio de productividad es el Índice de Malmquist (IM), presentado por Malmquist (1953) y Caves *et al.*, (1982). Este índice fue popularizado por Färe and Grosskopf (1992), quienes lo hicieron empíricamente manejable en DEA,

¹⁶Unidad de Toma de Decisiones, que pueden ser empresas u organismos públicos. En el caso de estudio, son los sectores industriales.

permitiendo la descomposición del cambio de productividad en cambio de eficiencia, cambio tecnológico y eficiencia de escala (ver también Ray y Desli, 1997). El Índice de Malmquist es un índice que utiliza las funciones de distancia de Shephard (1953) para representar la tecnología, reduciendo los inputs para mantener el mismo nivel de outputs o manteniendo los inputs y aumentando los outputs, dependiendo de la orientación seleccionada.

En este trabajo se utiliza la técnica DEA no paramétrica, utilizando el software Win4 Deap2.2.1.0.1, (Coelli, 1996), para su implementación en la práctica. Esta metodología no paramétrica se basa en Programación Matemática y nos permite analizar la productividad de unidades homogéneas que consumen el mismo tipo de inputs, para producir el mismo tipo de outputs (Cooper *et al.*, 2000). Su objetivo es definir una frontera de producción, obtenida a partir de los datos, de modo que las unidades que no se encuentren en dicha frontera sean consideradas técnicamente ineficientes. Se ha elegido el IM porque no es necesario conocer los precios de mercado de inputs y outputs, entre otras razones, lo que lo convierte en un instrumento ideal para analizar los cambios de productividad en la Economía de la Defensa. Una ventaja adicional de IM es que permite la descomposición de la productividad en componentes que capturan los cambios en la eficiencia técnica (*catching-up*) y los cambios debido al progreso tecnológico y el cambio de escala.

A continuación introduciremos las definiciones, modelos y notación que serán utilizados a lo largo del artículo. Supongamos que, para cada periodo de tiempo, tenemos n DMUs que usan m inputs para producir s outputs, denotadas por:

$(X_j^t, Y_j^t), j=1, \dots, n, X^t = (x_1^t, \dots, x_m^t) \in R_+^m$ y $Y^t = (y_1^t, \dots, y_s^t) \in R_+^s$, que provienen de una tecnología de referencia $T^t = \{(X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : X^t \text{ produce } Y^t\}$ por periodo (año). T^t es estimada como:

$$T_c^t = \left\{ (X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j^t \leq X^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^t \geq Y^t, \lambda_j \geq 0 \right\}$$

bajo rendimientos constantes a escala (CRS) (Charnes *et al.*, 1978), y como

$$T_v^t = \left\{ (X^t, Y^t) \in R_+^m \times R_+^s : \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j^t \leq X^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j^t \geq Y^t, \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \right\}$$

bajo rendimientos variables a escala (VRS), Banker *et al.* (1984).

La eficiencia de cada DMU se puede determinar calculando la distancia de esa unidad a la frontera de la tecnología de referencia T_c^t y T_v^t , bajo CRS y VRS, respectivamente. En particular, bajo CRS, esta distancia se puede calcular siguiendo a Charnes *et al.* (1978) como:

$$\begin{aligned} \min_{v^t, \mu^t} &= \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t}{\sum_{k=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t} \\ \text{s.a. :} & \\ & \frac{\sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{ij}^t}{\sum_{k=1}^s \mu_{rk}^t y_{rj}^t} \geq 1, \quad j = 1, \dots, n \\ & v_{ik}^t \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \\ & \mu_{rk}^t \geq 0, \quad r = 1, \dots, s \end{aligned} \quad (4.1)$$

Donde $(v_{1k}^{t*}, \dots, v_{mk}^{t*})$ y $(\mu_{1k}^{t*}, \dots, \mu_{sk}^{t*})$ denotan los pesos óptimos asociados a los inputs y outputs cuando se evalúa la eficiencia relativa de la unidad (X_k^t, Y_k^t) respecto a todas las DMUs de la muestra (sectores industriales en nuestro contexto) en el periodo t. El modelo (4.1) identifica a las ponderaciones de inputs y outputs más favorables que dan como resultado el máximo nivel posible de productividad [es decir, la inversa de la función objetivo en (4.1)] de (X_k^t, Y_k^t) relativo al de las observaciones restantes. Téngase en cuenta que tanto la función objetivo como el conjunto $j = 1, \dots, n$ de restricciones en (4.1) representan definiciones adecuadas de productividad, como el ratio del output agregado entre el input agregado, normalizando la productividad máxima a uno. Esta normalización permite la interpretación del valor óptimo del modelo (4.1) como eficiencia técnica. En particular, cuando un sector k presenta una eficiencia técnica igual a uno, entonces la distancia de la unidad evaluada a la frontera de referencia será cero.

Sin embargo, el modelo anterior es no lineal. Un modelo matemáticamente equivalente, y lineal, puede obtenerse como sigue:

$$\begin{aligned} \min_{v^t, \mu^t} & \sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{mk}^t \\ \text{s.a. :} & \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{rj}^t - \sum_{i=1}^m v_{ik}^t x_{ij}^t \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\ & \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^t y_{sk}^t \\ & v_{ik}^t \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m \\ & \mu_{rk}^t \geq 0 \quad r = 1, 2, \dots, s \end{aligned} \quad (4.2)$$

El valor óptimo del modelo (4.2) da lugar a la medida CCR orientación output de Charnes *et al.*, (1978). Bajo este modelo, se asume rendimientos constantes a escala (posteriormente mostraremos el modelo bajo rendimientos variables a escala) y orientación output, lo que significa que la eficiencia se medirá manteniendo constantes los recursos (ventas directas al Ministerio de Defensa español y ventas internacionales de defensa, de cada sector en nuestro caso) y tratando de aumentar los rendimientos de forma equiproporcional (en nuestro caso, un solo rendimiento; el número de empleados). Mencionar aquí que el valor óptimo de los modelos (4.1) y (4.2) coincide con el inverso de la distancia de Shephard orientación output (Shephard, 1953).

Una vez que hemos evaluado la eficiencia técnica de todos los sectores para todos los años entre 2010 y 2017 de acuerdo con las tecnologías de referencia anteriores, donde t toma valores $t = 2010, \dots, 2017$, es posible determinar el cambio de productividad en el tiempo, e incluso, encontrar sus fuentes. Para hacerlo, es necesario calcular un índice del cambio en la productividad. Entre los existentes, el Índice de Malmquist (IM) (Malmquist, 1953, Caves *et al.*, 1982) es el más habitual cuando no es posible obtener información acerca de los precios de los inputs y outputs, además de no exigir grandes supuestos.

Para calcular el IM, la función de distancia de Shephard (1953) debe calcularse también para períodos de tiempo mixtos, es decir, para las unidades observadas en el período t_1 relativo a la tecnología del período t_2 , $D_o^{T^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})$, así como la distancia de las unidades observadas en el período de tiempo t_2 en relación con la tecnología del período t_1 , $D_o^{T^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})$, donde $t_1, t_2 = 2010, \dots, 2017$, con $t_1 < t_2$. Para determinar todas estas distancias es necesario resolver cuatro modelos que dependen adicionalmente del tipo de rendimientos a escala asumidos. En este sentido, los modelos (4.3) y (4.4) asumen CRS, mientras que los modelos (4.5) y (4.6) asumen VRS.

$$\begin{aligned}
 \left[1 / D_o^{T^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}) \right] &= \min_{v^{t_1, t_2}, \mu^{t_1, t_2}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{mk}^{t_1} \\
 \text{s.t. } \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{sk}^{t_1} &= 1 \\
 -\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1, t_2} x_{ij}^{t_2} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1, t_2} y_{rj}^{t_2} &\leq 0, \quad j = 1, \dots, n \\
 v_{ik}^{t_1, t_2} &\geq 0 \quad i = 1, \dots, m \\
 \mu_{rk}^{t_1, t_2} &\geq 0, \quad r = 1, \dots, s
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

$$\begin{aligned}
\left[1/D_o^{T_o^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})\right] &= \min_{v^{t_2 t_1}, \mu^{t_2 t_1}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2 t_1} x_{mk}^{t_2} \\
s.t \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2 t_1} y_{sk}^{t_2} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2 t_1} x_{ij}^{t_1} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2 t_1} y_{rj}^{t_1} &\leq 0, j=1, \dots, n \\
v_{ik}^{t_2 t_1} &\geq 0 \quad i=1, \dots, m \\
\mu_{rk}^{t_2 t_1} &\geq 0, \quad r=1, \dots, s
\end{aligned} \tag{4.4}$$

$$\begin{aligned}
\left[1/D_o^{T_v^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})\right] &= \min_{v^{t_1 t_2}, \mu^{t_1 t_2}, \alpha^{t_1 t_2}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1 t_2} x_{mk}^{t_1} + \alpha_k^{t_1 t_2} \\
s.t \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1 t_2} y_{sk}^{t_1} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_1 t_2} x_{ij}^{t_2} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_1 t_2} y_{rj}^{t_2} - \alpha_k^{t_1 t_2} &\leq 0, j=1, \dots, n \\
v_{ik}^{t_1 t_2} &\geq 0 \quad i=1, \dots, m \\
\mu_{rk}^{t_1 t_2} &\geq 0, \quad r=1, \dots, s
\end{aligned} \tag{4.5}$$

$$\begin{aligned}
\left[1/D_o^{T_v^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})\right] &= \min_{v^{t_2 t_1}, \mu^{t_2 t_1}, \alpha^{t_2 t_1}} \sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2 t_1} x_{mk}^{t_2} + \alpha_k^{t_2 t_1} \\
s.t \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2 t_1} y_{sk}^{t_2} &= 1 \\
-\sum_{i=1}^m v_{ik}^{t_2 t_1} x_{ij}^{t_1} + \sum_{r=1}^s \mu_{rk}^{t_2 t_1} y_{rj}^{t_1} - \alpha_k^{t_2 t_1} &\leq 0, j=1, \dots, n \\
v_{ik}^{t_2 t_1} &\geq 0 \quad i=1, \dots, m \\
\mu_{rk}^{t_2 t_1} &\geq 0, \quad r=1, \dots, s
\end{aligned} \tag{4.6}$$

A partir de estas funciones de distancia, el IM orientado al output y referido a la tecnología del período t_1 queda definido como:

$$M_0^{t_1}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \frac{D_0^{T_o^{t_1}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_o^{t_1}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \tag{4.7}$$

Y de manera semejante, orientado al output y referido a la tecnología t_2 , el IM se define como:

$$M_0^{t_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \frac{D_0^{T_o^{t_2}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_o^{t_2}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \tag{4.8}$$

La medida que proporcionan ambos índices no tiene por qué coincidir al estar condicionada por la tecnología que se utiliza como referencia. Para solucionar este problema, Fare *et al.*

(1994) sugieren aproximar el cambio de la productividad a partir de la media geométrica de ambos IM anteriores. Por tanto, el índice se calcula definitivamente como:

$$M_0^{t_1, t_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \sqrt{\frac{D_0^{T_c^{t_2}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_c^{t_1}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})} \cdot \frac{D_0^{T_v^{t_2}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_v^{t_1}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})}} \quad (4.9)$$

Un valor de este índice superior a la unidad es indicativo de crecimiento de la productividad entre los dos periodos (mejoras de productividad), mientras que si toma valores inferiores a la unidad, implica un descenso de la productividad entre los dos periodos. Dicho índice, como propusieron Ray y Desli (1997), se puede descomponer en tres componentes: Cambio en eficiencia (EC), Cambio Tecnológico (TC) y Cambio en eficiencia de escala (SC), como sigue.

$$M_0^{t_1, t_2}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1}, X_k^{t_2}, Y_k^{t_2}) = \underbrace{\frac{D_0^{T_v^{t_2}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}{D_0^{T_v^{t_1}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})}}_{(EC)} \left[\underbrace{\frac{D_0^{T_c^{t_1}}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})}{D_0^{T_c^{t_2}}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})}}_{(TC)} \right]^{1/2} \underbrace{\left[\frac{SC^{t_1}(X_k^{t_1}, Y_k^{t_1})}{SC^{t_2}(X_k^{t_2}, Y_k^{t_2})} \right]}_{SC}^{1/2}, \text{ donde } SC^h(X_k^l, Y_k^l) = \frac{D_0^{T_c^h}(X_k^l, Y_k^l)}{D_0^{T_v^h}(X_k^l, Y_k^l)}, \text{ para todo } h, l = t_1, t_2 \quad (4.10)$$

El primer término (EC) mide el cambio de la eficiencia técnica o el efecto (*catching up*), esto es, el grado de convergencia a la frontera de posibilidades de producción que experimenta la observación analizada en el periodo de estudio. Si el valor de este componente es mayor que uno, la unidad evaluada tiende aproximarse a la frontera de producción. Si es igual a uno, la distancia respecto a la frontera es la misma. Si es menor que uno, su valor se corresponde con un empeoramiento en el grado de eficiencia técnica de la unidad evaluada.

El segundo término (TC) representa el cambio técnico o el efecto de innovación tecnológica concretizado en el desplazamiento de la frontera de producción (*shift frontier*). Dicho cambio cuantifica la distancia media entre las funciones de producción de los dos periodos a estudio. Si han existido mejoras tecnológicas este componente registra valores superiores a la unidad, lo que indica la existencia de progreso técnico. Finalmente, SC representa la evolución en el tiempo de la eficiencia de escala.

4. Selección de variables

A la hora de realizar un análisis de productividad es importante contar con información completa y precisa, obtenida con criterios homogéneos, y un número exhaustivo y detallado de las variables necesarias en cada sector. Por ello, se selecciona un conjunto de variables de los sectores analizados para evitar posteriormente la posible pérdida de precisión o poder de discriminación. Como se ha señalado, el estudio utiliza un panel de datos para el período 2010-2017, por ser lo suficientemente cercano a la realidad y un período homogéneo referido a ocho sectores de la industria de defensa española: Aeronáutica, Armamento, Auxiliar, Informática Electrónica, Espacial, Misiles, Vehículos Navales y Terrestres.

Las variables seleccionadas para representar el lado de los inputs son las ventas anuales que realizan estos sectores de la industria de defensa: Ventas nacionales directas al Ministerio de Defensa¹⁷ y Ventas internacionales de defensa¹⁸. Para medir el lado de los outputs se toma el empleo anual¹⁹ -miles de personas-, como variable representativa de los sectores industriales de defensa. Las variables monetarias están expresadas en millones de euros constantes de 2010. El estudio excluye Materias primas, Simulación y RPAS²⁰ porque estos sectores no han aportado datos económicos o los datos aportados son incompletos.

Los datos han sido extraídos de los informes anuales publicados por el Ministerio de Defensa de España, -Dirección General de Armamento y Material (DGAM)²¹ -, que están representados en la Tabla XVIII.

¹⁷ Las ventas indirectas al Ministerio de Defensa (subcontratación) no se tienen en cuenta en las cifras e incluso en las estadísticas de defensa para evitar volver a computar cifras que ya se han tenido en cuenta en las ventas al Ministerio de Defensa.

¹⁸ Las exportaciones de defensa se canalizan fundamentalmente a través de grandes consorcios internacionales dado que existe una importante participación industrial en estos programas que se realiza fuera del circuito general vendiéndola a un organismo público extranjero, es decir, una empresa española vende a una empresa extranjera y este último lo hace al consorcio.

¹⁹ A la hora de ofrecer datos de empleo por sector de actividad hay que tener en cuenta que, por un lado, el dato por sector se calcula respecto a las ventas de defensa declaradas por las DMUs, y por otro, la asociación de estas ventas con productos que, a su vez, están asociados a diferentes actividades sectoriales. Esto implica que la suma del empleo de defensa por sector presenta cifras inferiores al recuento global de empleo de defensa declarado por las DMUs. Fuente: Tablas de entrada-salida del INE.

²⁰ Este sector incluye todos los elementos individuales de la plataforma aérea, naval o terrestre, tripulada a distancia, la estación de control en tierra y cualquier otro elemento necesario para permitir su funcionamiento, como el enlace de comunicaciones o el sistema de lanzamiento y recuperación.

²¹ Ministerio de Defensa de España. Dirección General de Armamento y Material. Informes anuales. https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/l/a/la_industria_de_defensa_en_espa_a_informe_2015.pdf

Tabla XVIII. Ventas nacionales-internacionales/empleo nacional 2010-2017

EMPLEO - VENTAS DE LOS SECTORES INDUSTRIALES DE DEFENSA EN ESPAÑA					
	Sector industrial	Empleo (Miles)	Ventas (miles de euros constantes de 2010)		Ventas totales
			Nacionales MINIDEF	Exportaciones	
2010	Aeronáutico	6395	304	3078	3382
	Armamento	3052	176.8	11	187.89
	Auxiliar	3880	379.4	59	438.41
	Electrónica / Informático	3038	205.4	233	438.41
	Espacial	630	37.63	25	62.63
	Misiles	353	32.63	30	62.63
	Naval	5973	864.1	639	1503.11
	Vehículos Terrestres	1009	165.8	22	187.89
	TOTAL	24330	2165.9	4097	6262.9
2011	Aeronáutico	8185	316	2890	3206
	Armamento	231	65	8	73
	Auxiliar	3186	261	50	311
	Electrónica / Informático	2884	154	225	379
	Espacial	209	57	46	103
	Misiles	62	38	21	59
	Naval	6516	616	553	1169
	Vehículos Terrestres	2015	288	147	435
	TOTAL	2328	1795	3940	5735
2012	Aeronáutico	8168	413	2530	2943
	Armamento	681	69	27	96
	Asistente	2532	255	148	403
	Electrónica / Informático	2520	108	206	314
	Espacio	343	57	61	118
	Misiles	93	20	16	36
	Naval	5824	413	414	827
	Vehículos terrestres	1857	187	93	280
	TOTAL	2201	1522	3495	5017
2013	Aeronáutico	8241	138.6	3435	3573.6
	Armamento	725	38.25	16	54.25
	Auxiliar	2449	245.2	63	308.21
	Electrónica / Informático	2232	156.0	120	276.01
	Espacial	368	58.99	34	92.99
	Misiles	225	14.93	51	65.93
	Naval	5777	213.7	385	598.72
	Vehículos Terrestres	1247	141.7	121	262.79
	TOTAL	2126	1007.5	4225	5232.5
2014	Aeronáutico	8417	170.3	3844.17	4014.5
	Armamento	682	35.91	30.46	66.37
	Auxiliar	2082	108.6	47.26	155.87
	Electrónica / Informático	2174	142.6	136.38	279.07
	Espacial	364	61.57	42.9	104.47
	Misiles	139	6.89	45.58	52.47
	Naval	4908	183.2	263.84	447.05
	Vehículos Terrestres	1276	137.1	189.52	326.65
	TOTAL	2004	846.3	4600.1	5446.4
2015	Aeronáutico	8562	267.0	3823.9	4090.9
	Armamento	1012	37.23	130.93	168.16
	Auxiliar	2197	122.1	195.4	317.55
	Electrónica / Informático	2181	151.8	123.67	275.5
	Espacial	202	41.21	51.78	92.99
	Misiles	333	2.94	58.06	61
	Naval	3655	206.7	252.39	459.09
	Vehículos Terrestres	2212	145.5	278.16	423.74
	TOTAL	2035	974.6	4914.2	5888.9
2016	Aeronáutico	9417	267.8	3543.0	3807.7
	Armamento	862	18.94	149.26	67.69
	Auxiliar	1649	111.8	281.15	391.08
	Electrónica / Informático	2126	142.8	175.39	312.84
	Espacial	176	44.29	38.12	81.67
	Misiles	368	1.63	64.25	54.99
	Naval	4197	260.7	383.44	545.05
	Vehículos Terrestres	1728	129.3	298.71	427
	TOTAL	2052	977.4	4933.3	5688.1
2017	Aeronáutico	9574	387.07	3944.3	4331.3
	Armamento	622	25.87	65.08	90.95
	Auxiliar	1855	147.9	82.28	230.18
	Electrónica / Informático	2741	142.19	172.27	314.46
	Espacial	390	50	19.66	69.66
	Misiles	199	2.47	45.8	48.27
	Naval	3902	277.88	286.21	564.09
	Vehículos Terrestres	1809	114.9	411.06	526
	TOTAL	2109	1148.3	5026.6	6174.9

Fuente: Dirección General de Armamento y Material (DGAM). MINISDEF y elaboración propia.

En la Figura 12 se muestra la evolución del empleo directo -total nacional e internacional- en los sectores industriales de defensa en España, durante el período 2010-2017. Considerando datos del Instituto Nacional de Estadística Español, por cada empleo directo generado por la industria de defensa se generan 1,03 empleos indirectos y 0,4 empleos inducidos. La figura muestra que el empleo disminuyó paulatinamente hasta 2014, año en el que se recupera tímidamente sin alcanzar los niveles perdidos mostrados al inicio de la serie.



Figura 12. Empleo directo nacional-internacional de los sectores industriales MINISDEF 2010-2017
Fuente: Dirección General de Armamento y Material (DGAM). MINISDEF. Elaboración propia.

La figura 13 muestra la evolución de las ventas totales de defensa, así como las ventas y exportaciones nacionales de la industria de defensa española, durante el período 2010-2017. Las exportaciones y las ventas totales muestran cierta estabilidad con crecimientos moderados en contraste con las ventas nacionales que disminuyen progresivamente a favor de las exportaciones.

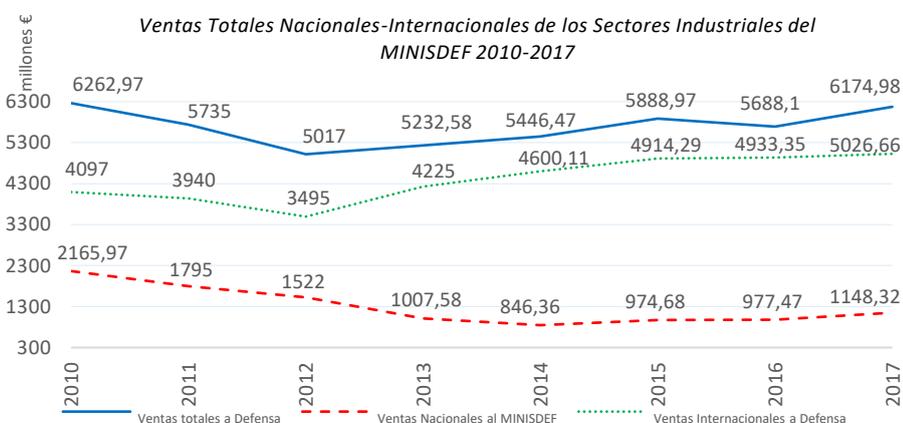


Figura 13. Ventas nacionales-internacionales de los sectores industriales MINISDEF 2010-2017
Fuente: Dirección General de Armamento y Material (DGAM). MINISDEF. Elaboración propia.

5. Resultados

En este apartado, las siguientes tablas muestran las variaciones de los índices de productividad, así como los porcentajes de variación para cada sector, los promedios del sector y los promedios de cada par de años, junto con un gráfico que representa la variación del índice de productividad de cada sector para los años 2010,..., 2017. De esta forma, a continuación, mostramos el Índice de Productividad (Tabla XIX) en el cual observamos un punto máximo en 2013 tras tener un mínimo en 2011, Eficiencia Técnica -EC- (Tabla XX) en la que podemos observar un máximo en 2015; El Cambio Técnico-TC- (Tabla XXI) también observó un máximo en 2013; y finalmente, la Eficiencia de Escala -SC- (Tabla XXII) donde se observa un máximo en 2012 con ondulaciones en los años siguientes.

Tabla XIX. Índice de Productividad de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017

sector/Años	Índice de Productividad							Media	%
	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17		
Aeronáutico	1.242	0.809	2.244	0.854	0.825	1.176	0.869	1.072	7.2
Armamento	0.146	1.199	1.835	0.856	0.884	0.921	1.082	0.817	-18.3
Auxiliar	1.075	0.488	1.756	1.153	0.495	0.646	2.127	0.955	-4.5
Electrónico	1.204	1.123	0.926	1.006	1.003	0.760	1.306	1.033	3.3
Espacial	0.213	1.453	1.294	0.911	0.628	1.072	3.859	0.992	-0.8
Misiles	0.161	2.497	2.096	1.178	2.971	1.436	0.510	1.116	11.6
Naval	1.488	1.271	1.441	1.040	0.703	0.839	1.072	1.087	8.7
V. Terrestres	0.895	1.430	0.740	0.911	1.498	0.794	0.934	0.994	-0.6
Medias	0.567	1.170	1.448	0.982	0.958	0.927	1.227	1.004	0.4

Fuente: Elaboración propia

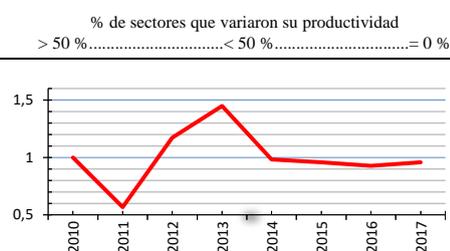


Tabla XX. Eficiencia Técnica de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017

sector/Años	Eficiencia Técnica							Media	%
	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17		
Aeronáutico	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-
Armamento	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-
Auxiliar	1.000	0.998	1.002	1.000	0.939	0.794	1.341	1.000	-
Electrónico	1.109	1.000	0.876	0.765	1.493	1.000	1.000	1.015	1.5
Espacial	0.444	0.928	0.857	0.844	3.356	1.000	1.000	1.000	-
Misiles	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-
Naval	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	-
V. Terrestres	1.604	1.769	0.504	0.708	2.231	0.885	1.061	1.113	11.13
Medias	0.971	1.064	0.886	0.907	1.341	0.957	1.045	1.015	1.5

Fuente: Elaboración propia



Tabla XXI. Cambio Técnico de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017

sector/Años	Cambio Técnico							Media	%
	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17		
Aeronáutico	1.242	0.954	1.902	0.854	2.195	1.021	0.778	1.189	18.9
Armamento	0.323	0.543	1.835	1.005	0.817	0.962	0.954	0.817	-18.3
Auxiliar	0.636	0.567	1.759	0.989	0.540	0.883	1.426	0.885	-11.5
Electrónico	1.008	1.123	1.360	1.040	0.661	0.760	1.306	1.007	0.7
Espacial	0.857	0.916	1.576	1.023	0.639	0.772	1.671	1.006	0.6
Misiles	0.855	0.841	1.404	0.971	1.854	1.436	0.510	1.042	4.2
Naval	0.879	0.921	1.329	1.040	0.703	0.846	1.318	0.981	-1.9
V. Terrestres	0.623	0.787	1.662	1.055	0.739	0.887	1.055	0.928	-7.2
Medias	0.753	0.809	1.590	0.995	0.890	0.928	1.064	0.977	-2.3

Fuente: Elaboración propia



Tabla XXII. Eficiencia de Escala de los sectores industriales de defensa en España 2010-2017

Sector/Años	Eficiencia de Escala								%
	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	Media	
Aeronáutico	1.000	0.848	1.180	1.000	0.376	1.152	1.117	0.902	-9.8
Armamento	0.453	2.207	1.000	0.852	1.081	0.958	1.134	1.000	-
Auxiliar	1.691	0.861	0.996	1.166	0.976	0.922	1.112	1.078	7.8
Electrónico	1.077	1.000	0.778	1.265	1.017	1.000	1.000	1.011	1.1
Espacial	0.561	1.709	0.968	1.055	0.293	1.388	2.309	0.988	-1.2
Misiles	0.189	2.969	1.493	1.214	1.603	1.000	1.000	1.072	7.2
Naval	1.692	1.380	1.085	1.000	1.000	0.992	0.813	1.107	10.7
V. Terrestres	0.895	1.027	0.885	1.218	0.908	1.012	0.834	0.961	-3.9
Medias	0.777	1.358	1.030	1.088	0.803	1.045	1.104	1.013	1.3

Fuente: Elaboración propia



De los cálculos para los 8 sectores industriales de defensa en relación al empleo en 2010, ..., 2017 por pares de años se puede decir (Tabla XIX) que los sectores en general variaron su productividad en 0,4%, los sectores con mayor incremento fueron: Misiles (1,116), Navales (1,087), Aeronáuticos (1,072) y Electrónicos (1,033). Además, la productividad relativa disminuyó en 4 sectores con un IM promedio <1: V. Terrestre (0,994), Espacial (0,992), Auxiliar (0,955) y Armamento (0,817).

Subrayar que la productividad a lo largo del tiempo disminuyó en el 50% de los sectores durante el primer, cuarto y quinto períodos y creció en el 75% de los sectores en el segundo período y el 62,5% en el sexto y séptimo. Así, crecieron sectores como: Misiles (11,6%), Naval (8,7%), Aeronáutico (7,2%) y Electrónica (3,3%). Otros disminuyeron como: Armamento (-18,3%), Auxiliar (-4,5%) Espacio (-0,8%) y Vehículos terrestres (-0,6%).

Por otro lado, en términos de la *Eficiencia Técnica* de los cálculos para los 8 sectores industriales de defensa en relación al empleo en 2010, ..., 2017 por pares de años se puede deducir (Tabla XX), que en los sectores en general varió su eficiencia técnica en un 1,5%, los sectores con mayores incrementos fueron: Terrestre (11,5%) y Electrónico (1,5%). Además, la eficiencia técnica se mantuvo estable en sectores como: Aeronáutica, Armamento, Auxiliar, Espacial, Misiles y Naval. Teniendo en cuenta, la eficiencia técnica en el tiempo creció en 25% de los sectores en el primer período, 12,5% en el segundo y tercero, 37,5% en el quinto período y 25% en el séptimo período, destacando las eficiencias máximas en 2015. Asimismo, la eficiencia técnica disminuyó un 37,5% en el cuarto período y un 25% en el sexto.

En cuanto al *Cambio Técnico* en los cálculos para los 8 sectores industriales de defensa en relación al empleo en 2010, ..., 2017 por pares de años se puede deducir (Tabla XXI), que los sectores en general variaron su cambio técnico en (- 2,3%), los sectores con mayores incrementos fueron: Aeronáutica (18.9%), Misiles (4,2%), Electrónica (0,7%) y Espacial

(0,6%), destacando el máximo en 2013. Además, el cambio técnico disminuyó en 4 sectores: Armamento, Auxiliar, V. Terrestres y Naval. Digamos que, el cambio técnico en el tiempo creció 100% en el tercer período, 62,5% en el cuarto y séptimo período, 25% en el primero, quinto y sexto período y 12,5% en el segundo período.

Finalmente, con respecto a la *Eficiencia de Escala* de los cálculos para los 8 sectores industriales de defensa en relación al empleo en 2010, ..., 2017 por pares de años decir (Tabla XXII), que los sectores en general variaron su eficiencia de escala por 1,3%, los sectores con mayores incrementos fueron: Naval (10,7%), Auxiliar (7,8%), Misiles (7,2%), Electrónico (1,1%), con un máximo general en 2012. Además, la eficiencia de escala disminuyó en 3 sectores: Aeronáutico, V. Terrestres y Espacial. De esta forma, la eficiencia de escala en el tiempo creció un 62,5% en el segundo y cuarto períodos, un 50% en el séptimo período y un 37,5% en el primero, tercero, quinto y sexto períodos.

Para evaluar los efectos del cambio tecnológico, es necesario identificar los sectores que tienen un cambio tecnológico mayor que 1 entre los que tienen una eficiencia técnica igual a 1. Esto se debe a que son los que permanecen en la frontera tecnológica en t y $t + 1$ y, por tanto, los únicos que pueden cambiar la frontera. La Tabla XXIII presenta un resumen de los hallazgos que enumera los sectores que configuran la frontera de mejores prácticas, los sectores que la alcanzan y aquellos que aumentan su distancia de la frontera en diferentes períodos.

Tabla XXIII. Sectores industriales que han cambiado a mejores prácticas-sectores que se mantienen actualizados-sectores que aumentan su distancia a la frontera
 $EC = \text{Eficiencia Técnica}$ - $TC = \text{Cambio Técnico}$

Mejores practicas	2010-2011		Mejores practicas	2013-2014		Mejores practicas	2016-2017	
	Siguen al día	Aumentan distancia a la frontera		Siguen al día	Aumentan distancia a la frontera		Siguen al día	Aumentan distancia a la frontera
$EC=1 \vee TC>1$	$EC>1$	$EC<1$	$EC=1 \vee TC>1$	$EC>1$	$EC<1$	$EC=1 \vee TC>1$	$EC>1$	$EC<1$
Aeronáutico		Armamento	Armamento	Aeronáutico		Aeronáutico	Armamento	
		Auxiliar			Auxiliar		Auxiliar	
	Electrónico				Electrónico	Electrónico		
		Espacial			Espacial	Espacial		
		Misiles		Misiles			Misiles	
		Naval	Naval			Naval		
	V. Terrestres				V. Terrestres		V. Terrestres	
12.5 %	50.00 %	37.5 %	12.5 %	37.5 %	50.00 %	12.5 %	62.5 %	25.00 %

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 14 se compara la evolución de la productividad de los tres sectores más significativos, Aeronáutico, Naval y Terrestre, observando que el sector Aeronáutico se destacó en 2013 al finalizar el período igual que a su inicio, el sector Naval pasó por el período con altibajos con un mínimo en 2015 y el sector Terrestre también tuvo altibajos con

un mínimo en 2013, en contraste con el sector Aeronáutico. Así, podemos deducir que respecto a la Productividad Total, la mayoría sigue una tendencia similar a excepción del Aeronáutico, que es el motor de los sectores.

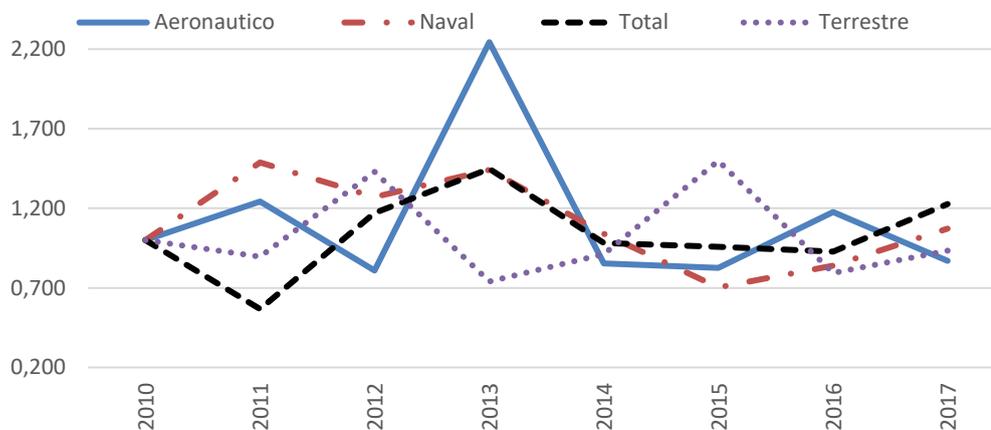


Figura 14. Evolución de productividad en los sectores industriales, Aeronáutico-Naval-Terrestre

Fuente: Elaboración propia

La Figura 15 muestra los índices de productividad, por pares de años, tanto de casos positivos como negativos durante el período 2010-2017. Se observa que los sectores más desfavorecidos son el Armamento y Auxiliar y por otro lado, los más favorecidos son Misiles, Naval y Aeronáutica.

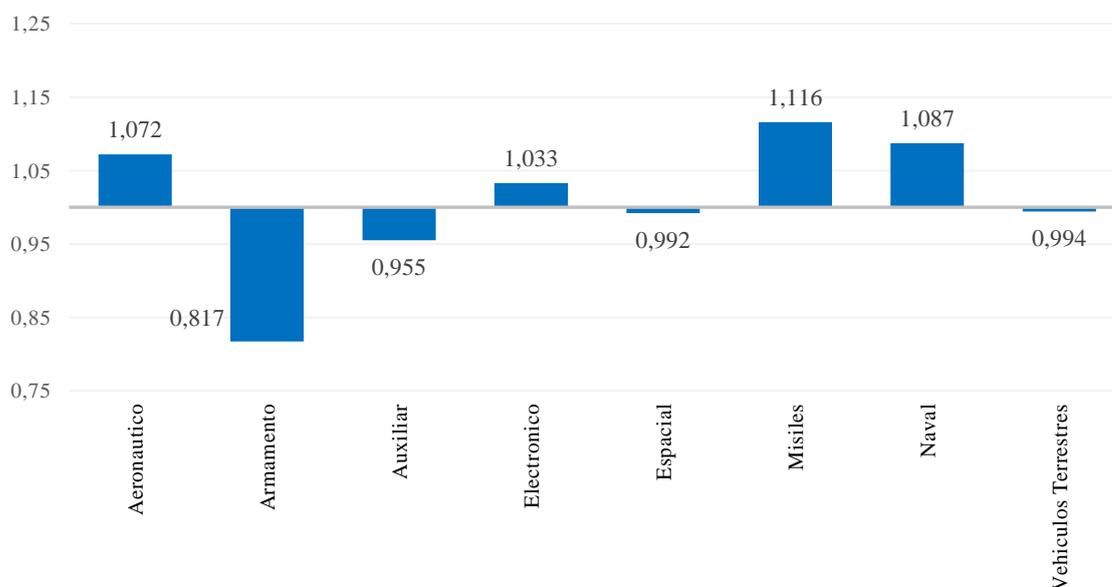


Figura 15. Índice de productividad de los sectores industriales del MINISDEF (medias), por pares de años 2010-2017.

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, la Tabla XXIV muestra el ranking de los sectores, en función de su Eficiencia Técnica y su Índice de Productividad durante el período 2010-2017 por pares de años. Como puede observarse, existen algunas diferencias importantes entre ellos que apoyan la decisión de partir la Productividad Total de los Factores en sus componentes. Comparando eficiencia y productividad, vemos que tanto en Misiles como el Aeronáutico son menos eficientes pero más productivos, esto puede deberse a efectos colaterales, en línea con algún otro estudio en el que se estudia la I + D, y la participación de la defensa en el crecimiento económico.

Tabla XXIV. Ranking de eficiencias y productividad en los sectores industriales en España 2010-2017

Ranking de Eficiencia			Ranking de productividad		
	Sector	Índice		Sector	Índice
1º	Terrestre	1.113	1º	Misiles	1.116
2º	Electrónico	1.015	2º	Naval	1.087
3º	Misiles	1.000	3º	Aeronáutico	1.072
4º	Naval	1.000	4º	Electrónico	1.033
5º	Auxiliar	1.015	5º	Terrestre	0.994
6º	Armamento	1.000	6º	Espacial	0.992
7º	Espacial	1.000	7º	Auxiliar	0.955
8º	Aeronáutico	1.000	8º	Armamento	0.817

Fuente: Elaboración propia

Si tenemos en cuenta el conjunto de gráficos y tablas que se muestran, se puede deducir que la evolución del cambio en la productividad parece explicarse por el cambio tecnológico y el cambio en la eficiencia de escala y no tanto por el cambio en la eficiencia técnica.

6. Discusión

Teniendo en cuenta los escasos estudios existentes en la literatura que realizan un estudio de productividad a través de DEA-IM de los sectores industriales de defensa en España, entre los que se encuentra el de Bastida y Peñalver (2019), que a través del software Toolbox analiza la evaluación de la eficiencia y productividad de los sectores, en el que resultó que se desperdició la existencia de capital humano y este trabajo a través del DEA, con un estudio más exhaustivo de los sectores industriales de defensa en España, en la que se observa según los resultados obtenidos que la productividad está tomando una tendencia creciente.

La principal característica de la base tecnológica e industrial de defensa europea (BTIDE) es la fragmentación, ya que la mayoría de los estados miembros de la UE perciben la industria de defensa como un asunto nacional y tratan de mantener su propia base industrial y

tecnología, ya que la mayoría de los contratos públicos de defensa se llevan a cabo en el propio país. En este escenario, BTIDE se encuentra en un momento de reactivación, por lo que la UE debería aprovecharlo para desarrollar proyectos comunes que proporcionen a los países miembros una industria de defensa más fuerte y competitiva.

En cuanto a la industria española de defensa, hay que decir que ha experimentado importantes transformaciones en los últimos años, basadas en la concentración de activos industriales debido a la fusión de varias empresas, el establecimiento de empresas extranjeras en España y la entrada de Pymes especializadas en tecnologías y servicios de nichos (Duch-Brown *et al*, 2014).

En esta situación y teniendo en cuenta los resultados de este estudio para los 8 sectores industriales de defensa en España en relación a las ventas de defensa (nacional e internacional) y al empleo durante el período comprendido entre 2010 y 2017. En el que se estudió la productividad en relación con empleo por pares de años, es claro que los sectores en general variaron su productividad en 0,4%. Los sectores con mayores incrementos fueron: Misiles (1,116), Naval (1,087), Aeronáutico (1,072) y Electrónico (1,033). La productividad relativa disminuyó en 4 sectores con $IM < 1$, Armamento, Auxiliares, Espacial y V. Terrestres. Asimismo, la productividad aumentó en 2016-2017 en los siguientes sectores: Espacial (3,859), Auxiliar (2,127), Electrónico (1,306), Armamento (1,082) y Naval (1,072). Por otro lado, los sectores que redujeron la productividad relativa fueron: Aeronáutica, Misiles y Vehículos Terrestres.

Aclarar que, como se indica en los siguientes párrafos, al referirse a los sectores que definen la frontera productiva, son los más eficientes, es decir, son los más rentables económicamente. Aquellos que se desvían de la frontera serían los más ineficientes, los menos rentables económicamente. Los que se acercan a la frontera están creciendo económicamente y los que abandonan la frontera de producción obtienen menos ganancias o incluso pérdidas. Los sectores que aún están en la frontera no tienen pérdidas ni ganancias.

Por otro lado, como muestra la Tabla XXIII, en el período 2010-2011 el sector que definió la frontera tecnológica, fue el Aeronáutico, con una eficiencia técnica igual a 1 y un cambio tecnológico de 1,242, es decir, fue técnicamente eficiente (más rentable económicamente). Por el contrario, el 37,5% de los sectores se ubicaron a una gran distancia de la frontera tecnológica, entre los más alejados destacamos: Armamento con un cambio tecnológico de

0,323, es el más ineficiente, seguido de otros como Electrónica, y Sistemas Terrestres que muestran una recuperación hacia la frontera de mejores prácticas (50%), crecieron económicamente hablando. En el período 2013-2014, la frontera fue definida por el sector Naval ($EC = 1$ y $TC = 1,040$), y Armamento ($EC = 1$ y $TC = 1,005$) con un movimiento negativo respecto al período anterior. Los Sistemas Auxiliares, Electrónicos, Sistemas Terrestres y Espacial representan un 50% de los sectores que se alejan de la frontera de producción. Así subieron hacia la frontera de producción Misiles y Aeronáutico, representando el 12,5% de los sectores industriales. En el período 2016-2017 la frontera de producción fue definida por el sector Electrónico ($EC = 1$ y $TC = 1,426$), Naval ($EC = 1$ y $TC = 1,318$), y Espacial ($EC = 1$ y $TC = 1,671$), viendo un movimiento de los sectores con el fin de acercarse al límite de producción.

Cabe destacar el sector Naval, que aumentó radicalmente su distancia de la frontera, a lo largo del ejercicio (25%). Resumiendo los resultados, parece que la mayoría de los sectores tienen dificultades en avanzar hacia la frontera con el fin de ser más eficientes. Asimismo, para evaluar los efectos del cambio tecnológico (TC) es necesario identificar qué sectores tienen un $TC > 1$ entre los sectores eficientes en t y $t+1$, ya que son los que permanecen en la frontera tecnológica en t y $t + 1$, y, por tanto, los únicos que pueden cambiar la frontera; solo Aeronáutico cambió la frontera tecnológica general VRS entre 2010 y 2011.

Esto implica que el hiperplano de referencia en el que se incluyen estos sectores se está moviendo hacia afuera, es decir, hay un cambio tecnológico positivo. Cabe señalar que, de los dos sectores anteriores, todos tienen un $IM > 1$, lo que implica que sus ineficiencias de escala superan su cambio tecnológico positivo. En el caso de sectores con $EC = 1$ y $TC < 1$ esto implicaría que el hiperplano de referencia en el que se incluyen estos sectores se desplazaría hacia abajo y, por tanto, hay un cambio tecnológico negativo. Y si el índice de productividad es < 1 , implicaría que las eficiencias de escala superan el desempeño tecnológico negativo. Lo mismo ocurre en los períodos 2013-2014 con el sector Naval y Armamento y en 2016-2017 con el sector Electrónico, Espacial y Naval.

En cuanto a la existencia de economías de escala (CE), no es posible llegar a una conclusión sólida ya que el valor de la tasa de cambio en la eficiencia de escala varía anualmente para la mayoría de los sectores. Desde nuestro punto de vista, estos resultados pueden deberse a la existencia de barreras tecnológicas con conjuntos de referencia cruzados, lo que requeriría el uso de metodologías alternativas en futuros esfuerzos de investigación. La mayoría de los

sectores muestran una evolución en forma de onda, lo que sugiere que los rendimientos a escala de sus actividades laborales varían de un período a otro, lo que lleva a resultados no concluyentes. El segundo conglomerado más grande incluye aquellos sectores cuyo patrón dinámico evoluciona alrededor de la eficiencia de escala $SC = 1$, lo que sugiere que sus actividades laborales muestran rendimientos constantes a escala, sin sectores que muestren rendimientos crecientes a escala en la materia.

Por otro lado, teniendo en cuenta otros estudios como los de Bastida y Peñalver (2019), orientado al input (ventas de defensa) donde la eficiencia técnica pura fue de 47,8%, la eficiencia de escala fue de 52,8%, el índice de Malmquist fue de 96,77%, la eficiencia técnica fue de 97,22. % y un cambio tecnológico de 99,54%, en el que se observó que, considerando los sectores de defensa a nivel agregado, y considerándolos por separado, las medidas de eficiencia técnica pura y eficiencia de escala varían significativamente, dependiendo del sector industrial de que se trate.

Por tanto, en este estudio además de las variaciones en la productividad obtenidas que reflejan fundamentalmente cambios en la función de producción, se observó que los cambios en la eficiencia técnica de los sectores constituyen un factor con una contribución positiva a las variaciones de productividad, lo que significa que, la mayor parte de los sectores han incrementado su productividad en el período en un 0,4%. La eficiencia de escala creció un 1,3%, la eficiencia técnica un 1,5% y el cambio técnico disminuyó un 2,3%, deduciendo que el de mayor variación en productividad fue Misiles con un aumento de (11,6%) y el que presentó menor variación en su productividad fue Armamento con una disminución del 18,3%.²²

7. Conclusiones

El análisis aporta información sobre un aspecto poco estudiado para la industria de defensa española (Mauro, 2015), (Martí Sempere, 2011), (Vilchez, 2018), (Cosido, 2005). Este estudio se ha basado en las teorías de producción y productividad que componen el sustrato teórico de la investigación. Por lo tanto, para descomponer el crecimiento de la productividad en eficiencia técnica, cambio técnico, eficiencia de escala y en un índice de productividad, utilizamos una aproximación de frontera, basada en la selección de factores que describen

²²Dado que existe una diferencia en los resultados con los de Bastida y Peñalver (2019), esto se debe a que en este estudio se calcula con una orientación de outputs (empleo) y en su estudio se calculó con una orientación input (ventas)

de manera óptima la situación de los 8 sectores más importantes de la industria de defensa en España.

Como inputs se utilizaron: ventas directas al ministerio de defensa español y ventas internacionales de defensa y como output el número de empleados, en el período 2010-2017. Utilizando el software Win4 Deap2 -2.1.0.1, IM. Según los resultados obtenidos, los sectores muestran una variación en la productividad con una tendencia del 0,4%, por lo que tímidamente aumentan su productividad.

Además, esta descomposición de la productividad nos advierte sobre la importancia de la eficiencia como fuente de crecimiento de la productividad distinta del progreso técnico. Los resultados obtenidos pueden tener importantes implicaciones para el diseño de políticas dentro de la industria de defensa. De esta forma, si el origen está en las moderadas pérdidas de eficiencia en cómo se utilizan los factores productivos, será conveniente tomar medidas encaminadas a mejorar la eficiencia en el uso de los factores productivos - mejoras educativas de la fuerza de trabajo, que aumenten la eficiencia de los recursos productivos, personal humano o políticas de formación gerencial, que inciden en un uso adecuado de los recursos, como facilitadores de la difusión de las técnicas de recursos existentes (Maudos, *et. al.*, 2000).

Recordar que la trayectoria seguida por la industria de defensa española, menor que la francesa o alemana, es la misma que la del resto de países. De 2012 a 2016, España se ha situado en el puesto 7º del mundo como exportador de armas con 3.958 millones de dólares y el 4º a nivel europeo (SIPRI, 2013). Esta situación complica la supervivencia de los sectores industriales de defensa en el contexto europeo e internacional, debido a la creciente integración que se está produciendo en el mercado europeo.

Es necesario programar estrategias a largo plazo, en las que se pongan de manifiesto las necesidades de las fuerzas armadas, con las fuerzas industriales y con aportes del campo científico y tecnológico, defendiéndolas y proponiendo conjuntamente acciones sólidas a nivel europeo. Algunos autores consideran necesario profundizar en las líneas de apoyo al sector industrial, entre otros temas, a través de su tratamiento formal como -industria estratégica-, la diplomacia de defensa (Arteaga, 2013) y la integración de la demanda pública de defensa y seguridad en un modelo interministerial (Arteaga, 2014).

Los resultados anteriores sugieren que la productividad con respecto al empleo en los sectores industriales de defensa en España se mantiene constante con ciertas fluctuaciones

en el período (Tabla XIX). Tiene importantes implicaciones para la formulación de políticas de empleo que están detrás de los sectores industriales. Esto plantea la cuestión de las medidas políticas de empleo en los sectores. Dada su heterogeneidad, parece que una única política de empleo de defensa, la industrial, no es adecuada (Fonfría, 2018).

Desde el punto de vista de los índices de productividad que se extrae de la relación entre los índices de eficiencia alcanzados por cada sector en cada año, y los obtenidos a partir de la distancia Shephard de cada sector a la frontera de la mejor práctica tecnológica, la identificación de puntuaciones de eficiencia anual es relevante para los propósitos de este trabajo, ya que podría identificar los puntos de referencia que definen la frontera tecnológica y luego las diferencias sectoriales en la productividad laboral.

Por tanto, la estimación de los índices de eficiencia y productividad será válida en términos positivos, al mostrar un ranking (Tabla XXIV) de eficiencia y productividad de las observaciones estudiadas, y también en términos normativos, al permitir la definición de políticas públicas en los sectores industriales. Esto lleva a traducir las soluciones obtenidas en el análisis en prescripciones de políticas públicas que sirvan de guía en el proceso de toma de decisiones que emprenden los sectores. La interpretación de los resultados cuantitativos conduciría a caracterizar y explicar el grado y las fuentes de la ineficiencia detectada.

Una investigación adicional podría profundizar en la identificación de los puntos de referencia más sensibles de la industria, de modo que cada industria tenga una lista de pares de los que aprender. DEA puede ser fundamental para la identificación eficaz de puntos de referencia. Decir que, DEA es una técnica determinista y no cuenta con un criterio estadístico que permita valorar la bondad de los resultados, por tanto, los resultados pueden ser muy sensibles en la medición de errores.

Por tanto, este tipo de evaluación, aun reconociendo sus posibles limitaciones metodológicas, resulta de gran utilidad desde la perspectiva del análisis económico positivo, por un lado, al establecer una clasificación de las unidades productivas consideradas en función de su eficiencia, y por otro, también desde la perspectiva del análisis normativo, ayudando a orientar a los sectores industriales en el proceso de toma de decisiones del Ministerio de Defensa. La investigación está abierta a la extensión y a la realización de investigaciones más exhaustivas con más datos, que por su carácter clasificado y confidencial, no han sido utilizados.

CAPÍTULO V

5.1. CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo principal de esta tesis ha sido estudiar el rendimiento en los países de la OTAN a lo largo del tiempo en términos de eficiencia técnica y cambio de productividad total de los factores²³. Se trata de un análisis insistentemente recomendado por los estudiosos de la defensa por cómo la visión de un análisis dinámico, permite conocer la evolución del gasto en defensa en países de la OTAN y su repercusión en la seguridad así como los factores que han propiciado los cambios acaecidos en el periodo de estudio.

Partiendo de la realidad existente sobre el gasto en defensa en la OTAN, se ha llevado a cabo un estudio detallado sobre la eficiencia técnica y el cambio en la productividad de 27 países de la OTAN durante el periodo 2010/2017, con el fin de entender mejor la situación de los últimos años y las líneas futuras de modernización de los ministerios de defensa que lo integran, motivado por la necesidad de mejoras en la productividad que incrementen la eficiencia en un entorno económico exigente.

En este sentido, cabe destacar que, una de las principales acciones puestas en marcha por la OTAN, consiste en perseguir que dichos ministerios busquen la máxima eficiencia para coadyuvar en el logro de su objetivo último: *la seguridad ciudadana*. Por ello, es preciso que los gestores de la Alianza cuenten con estudios sobre evaluación del desempeño de los gastos en periodos anteriores, para superar debilidades, amenazas, potenciar las fortalezas y oportunidades y para la toma de decisiones encaminadas hacia la mejora continua de la seguridad; como ha puesto de relieve esta investigación.

Dentro de este contexto, tiene cabida la presente tesis que ha respondido a diversas preguntas de investigación planteadas desde la propia introducción, como: ¿Qué países de la OTAN pueden servir de referencia a otros para ser más eficientes? ¿Cuál fue la variación de la productividad a lo largo del tiempo en los países de la OTAN? ¿Cuáles son los factores que explican los cambios experimentados en la productividad a lo largo del tiempo en los países OTAN? entre otras.

²³ El índice de Malmquist tradicionalmente no ha sido interpretado como índice de cambio en la productividad total de los factores pero recientemente Pastor *et al.* (2020) han demostrado que sí puede ser interpretado de dicha forma.

Los objetivos que se han pretendido conseguir apoyados en dichas cuestiones han sido los siguientes: Estudiar la evolución de la eficiencia y la productividad durante el periodo analizado entre 27 países de la OTAN y su relación con el Índice de Paz Global; Estudiar los métodos utilizados para medir la eficiencia/productividad y ver las ventajas y desventajas que aportan cada uno de ellos; Determinar la eficiencia/productividad de la defensa utilizando métodos no paramétricos.

A lo largo de los capítulos se han dado respuesta a estas cuestiones, siempre teniendo en cuenta la misma unidad de estudio: gasto en defensa y seguridad ciudadana; ya sean a nivel OTAN o, en particular, para el caso de España. Para lograr dichos objetivos, se han realizado aportaciones teóricas, metodológicas, descriptivas y analíticas que soportan las conclusiones obtenidas en cada uno de los capítulos estudiados, ya sean:

Capítulo II: Evaluación de la eficiencia de los países miembros de la OTAN desde una perspectiva de la economía de defensa. Ppublicado en la Revista Oficial de la Sociedad de Estadística e Investigación Operativa (SEIO). Boletín de Estadística e Investigación Operativa (BEIO). 2021, Vol.37, No 3, pp. 183- 207.

Capítulo III: Economía de la defensa: Evaluación del cambio en la productividad en países de la OTAN en el periodo 2010-2017 (en evaluación).

Capítulo IV: Medición de la productividad de la industria de defensa española. Publicado en la Revista Defence and Peace Economics. Taylor & Francis Online, como Domínguez Sánchez, M. and Fonfría, A. (2022). Measuring Productivity of the Spanish Defence Industry. *Defence and Peace Economics*, 1-19. DOI:10.1080/10242694.2022.2053369.

Así, el Capítulo I de esta tesis se dedica a la selección de la metodología idónea para el estudio que se pretende llevar a cabo. Para ello, se describen, en primer lugar, los aspectos teóricos de eficiencia y productividad, que han sustentado la metodología en la que se basa esta investigación. Tras un repaso de los conceptos y modelos básicos relacionados con la evaluación de la eficiencia, se desglosan los modelos que mejor se ajustan a las características del problema analizado, en nuestro caso, el análisis de la eficiencia productiva y la medición de productividad en los países de la OTAN y la industria de defensa en el caso español. Dentro de las dos grandes metodologías existentes, se ha optado por el Análisis Envolvente de Datos (DEA), técnica basada en la programación lineal, y que, en nuestra opinión y de acuerdo a una gran mayoría de autores, es la que mejor se adapta a las múltiples

características de los servicios producidos por el sector público y, en concreto, del sector de la defensa.

Revisados distintos modelos teóricos y con los antecedentes del uso de la técnica en diferentes contextos de la economía de la defensa, sin olvidar las particularidades del proceso productivo que se realiza en el Ministerio de Defensa español, nos hemos decantamos por el modelo DEA convencional bajo una orientación output y con rendimientos variables a escala y el índice de cambio de productividad total de los factores de Malmquist, con rendimientos constantes a escala. Decir que cuando se utilizan ambas técnicas para explicar el mismo objeto de estudio, en nuestro caso países OTAN, éstas se observan complementarias al evaluar la eficiencia técnica, dado que la primera se aplica bajo rendimientos variables a escala con un enfoque dinámico, y la segunda requiere rendimientos constantes a escala, aportando un enfoque dinámico, ya que examina el cambio de la productividad total de los factores a lo largo del tiempo.

Se ha podido comprobar las premisas necesarias que se deben cumplir antes de aplicar dicha metodología, por un lado, la muestra de estudio en los países de la OTAN debe ser lo más homogénea posible y, por otro lado, la selección de variables de inputs, gastos en defensa y outputs, seguridad ciudadana, debe ser lo más cuidadosa posible, atendiendo a las limitaciones propias de las bases de datos disponibles que existen en el panorama de la OTAN y del Índice de Paz Global (GPI).

La primera condición se ha convertido en el objetivo de los siguientes capítulos II, III, y IV, en el que se ha realizado una elección de los países, sectores industriales y variables a utilizar durante el periodo, acorde con las necesidades de nuestra investigación. Para llevar a cabo la clasificación hemos recurrido a la experiencia de expertos ya que existen pocos estudios sobre el tema. De este modo, ha sido necesario seleccionar las variables que mejor recogen las características de los gastos en defensa en la OTAN, en cuanto al análisis de eficiencia y productividad que se quería abordar. La decisión fue aglutinar en función del gasto las variables, para ello se utilizaron en los capítulos, II y III como Inputs: Gastos en personal, gastos en equipos, gastos de infraestructura, otros gastos (Mantenimiento, I+D) y como variables incontrolables o exógenas, población, superficie y km de costas de cada país y como Output se utiliza el Índice de seguridad o Paz Global de cada país. En el IV capítulo como Inputs se utilizó “Ventas nacionales directas al Ministerio de Defensa y Ventas internacionales de defensa” y como Output “el empleo anual en los sectores industriales de defensa”.

Se optó por una periodicidad bianual precisamente por ser fundamental en la disponibilidad de información en la OTAN. Igualmente las fuentes principales de información a partir de la que se ha elaborado esta tesis han sido extraídos de orígenes fiables: Gastos en defensa de los países OTAN; del resumen anual 2017 del secretario general de la OTAN; y para la seguridad ciudadana; del Índice de Paz Global del Instituto de Economía y Paz, <http://visionofhumanity.org/indexes/global-peace-index>.; para las ventas y empleo de la industria de defensa, del Ministerio de Defensa de España y de la Dirección General de Armamento y Material (DGAM).

Indicar que no encontramos datos disponibles directamente sobre algunos países o sectores, por lo que se ha podido observar la escasa disponibilidad de la información disponible para realizar análisis o sencillamente los inconvenientes del acceso a dicha información, así como la limitada oferta de estudios realizados.

5.1.1. Implicaciones de los resultados de la Investigación

Los resultados obtenidos permiten a los países miembros de la OTAN y a aquellos sectores que pertenecen a la industria de defensa española ampliar el campo de visión respecto a sus inversiones, así como el grado de influencia que ejercen diversos factores en la Economía de la Defensa.

El estudio muestra que ciertos países podrían mantener sus inputs a nivel macroeconómico para seguir obteniendo mayores índices de seguridad (output). De esta manera, los países menos eficientes podrían mejorar su situación adoptando decisiones estratégicas adecuadas. Es decir, guiar a los países para que implanten mecanismos de planificación y control que les orienten a la asignación de recursos hacia actividades que aporten, en mayor medida, al cumplimiento de sus objetivos. En otras palabras, generar más outputs con los mismos inputs. Subrayando que perseguir una mayor eficiencia en el gasto, junto con sistemas que brinden mayores niveles de seguridad, conllevaría cambios sustanciales en el campo actual de la seguridad, ya sea la seguridad económica o la ciberseguridad entre otras.

Cabe resaltar que esta exploración de patrones de comportamiento de homogeneidad de los países de la OTAN a lo largo del tiempo es el primer estudio de este género que se realiza, con un enfoque dinámico en un período de tiempo extenso (ocho años) frente a los existentes, de carácter estático y por un solo año. Ello representa una aportación importante de esta tesis en el avance del análisis de los gastos en defensa enfocados a la clasificación de los países, teniendo en este caso como variable de agregación el gasto en defensa. Las diferencias

encontradas entre los países reflejan patrones claros de países, lo que nos permite confirmar las hipótesis planteadas al inicio de la investigación.

Además, la identificación de puntuaciones de eficiencia anualmente es relevante para los propósitos de esta tesis ya que, pueden reconocer los puntos de referencia que definen la frontera tecnológica y después las diferencias sectoriales en la productividad laboral, permitiendo mostrar un ranking de eficiencia y productividad de las observaciones estudiadas (análisis positivo), así como la definición de políticas públicas en los sectores industriales (análisis normativo). El desarrollo de este estudio ha permitido tener una mejor comprensión del papel central que tiene la eficiencia y la productividad en los países y sectores implicados.

Por otra parte, la evidencia aportada por las distintas categorías de análisis nos lleva a dirigir la atención sobre los múltiples factores que confirman los distintos aspectos del gasto en defensa. Por ello, creemos que los estudios sobre el gasto en defensa deberían desarrollarse sobre aspectos más específicos, ya que dada la importancia que tiene cada uno de ellos, por su propia complejidad y por la multiplicidad de ideas que les configuran, necesitan de un conocimiento más profundo, pues requiere de muchos otros factores que es necesario tener en consideración como los relativos a los precios industriales, tipos de cambio, cultura de defensa, etc. Por esta razón, sería muy difícil llegar a proponer un planteamiento o generalizaciones de cómo administrar el gasto en defensa en la OTAN, sin olvidar que las aptitudes de cada país pueden ser un obstáculo para promover cambios en la forma de gestionar los gastos en defensa en la OTAN.

Por último, realizar una evaluación de la eficiencia técnica neutral y no sesgada de antemano requiere circunscribir las comparaciones a los países que se caracterizan por su similitud en la distribución del gasto. Aunado a lo anterior, los resultados de los estudios aquí realizados del DEA y aplicado a los gastos en conjunto para cada uno de los años de estudio, hacen que los resultados obtenidos deban tomarse con cautela y las explicaciones de los mismos deban estar sujetas a los problemas mencionados de medición de las variables con los datos disponibles. De este modo se hace necesario encontrar variables e indicadores que puedan medir los gastos en defensa y la seguridad ciudadana en la OTAN a través de estudios de ofertas y demandas agregadas, tablas I-O transversales o índices de precios industriales.

5.1.2 Limitaciones del Trabajo de Investigación

Durante el desarrollo del estudio tuvimos que enfrentar algunas limitaciones que, aunque no afectaron el desarrollo del objetivo principal, en algún momento nos llevaron a replantear el diseño inicial de la investigación. Es necesario reconocer que la existencia de trabajos en la literatura que analicen la eficiencia y la productividad a través de DEA-IM, de los sectores industriales de defensa en España, es escasa hasta la fecha, entre los que se encuentra el de Bastida y Peñalver (2019), (Duch-Brown *et al*, 2014) y este trabajo a través de DEA, con un estudio más exhaustivo.

En cuanto al gasto en defensa es importante resaltar los problemas actuales en la obtención de información sobre inputs y outputs adecuados, en el entorno militar de la OTAN. A pesar de los esfuerzos realizados en la búsqueda de datos en la economía de la defensa, decir que se refuerza con la escasez de la información analizada, apareciendo la opacidad como factor determinante en la investigación de las variables que afectan tanto directa como indirectamente al gasto militar en la OTAN. Además, las consecuencias que se derivan de la imposibilidad de conseguir el desglose de los gastos actuales (solo se encuentran disponibles de manera agregada y algunos de ellos ni siquiera pueden ser publicados) hacen que el estudio de la economía de la defensa sea un campo lleno de obstáculos actualmente para investigar en detalle.

Además, decir que, durante décadas este problema ha sido denunciado por los conocedores de la materia, la falta de datos estadísticos de los que se pueda extraer un resultado común a todos los países, más allá de datos puramente presupuestarios provoca que, el objetivo de analizar los datos estadísticos requeridos, sea una tarea ardua. A pesar de ello, la metodología utilizada es de gran utilidad para el análisis económico y es indicada para los sectores de la defensa, pero no nos ha sido posible encontrar alguna verificación empírica a los modelos planteados a través de ofertas y demandas agregadas del gasto público, con el objetivo de destacar el efecto que posee el gasto público sobre la economía nacional. Finalmente, aunque hemos tenido respuesta a la mayor parte de las hipótesis planteadas, la utilización de un mayor número de variables nos hubiera supuesto un aporte estadístico mayor.

5.1.3 Futuras Líneas de Investigación

Derivado de las limitaciones expuestas, se proponen unas líneas que, con una mayor amplitud de información, podrían continuar con la investigación: Observar qué países intentan limitar sus esfuerzos para maximizar su utilidad y qué instrumentos utilizan para

ello; Realizar un estudio de qué países pueden servir de referencia a otros para ser más eficientes; Predecir los países que podrían producir un desplazamiento en la frontera de producción; Estudiar el uso de metodologías alternativas para el cálculo de las economías de escala; Indagar en la identificación de las observaciones de referencia (peers); Hacer uso de bootstrapping o de técnicas basadas en machine learning para poder comparar los países ó llevar a cabo modificaciones del índice de Malmquist, con el objetivo de tener en consideración la existencia de “slacks” (holguras; otras fuentes de ineficiencia técnica no radial) en la evaluación de la eficiencia.

Igualmente sería necesario ampliar y exponer las independencias y las no linealidades de los diferentes determinantes en la industria de defensa, así como los moderadores de convergencia y divergencia entre sectores, que unido a la creación de un mapa tecnológico español de la industria de defensa, la promoción del personal investigador asociado a la defensa y a la participación activa de la universidad en I+D+i de defensa, supondrían grandes avances en la economía de la defensa.

La investigación queda abierta a su ampliación y a la realización de análisis más exhaustivos con datos, que por estar clasificados o ser confidenciales, no se han podido utilizar en este trabajo.

5.2. Referencias Generales

Aparicio, J., García-Nove, E. M., Kapelko, M., and Pastor, J. T. (2017). Graph productivity change measure using the least distance to the pareto-efficient frontier in data envelopment analysis. *Omega*, 72, 1-14.

Aparicio, J., Borrás, F., Ortiz, L., Pastor, J. T., and Vidal, F. (2019). Luenberger-type indicators based on the weighted additive distance function. *Annals of Operations Research*, 278(1), 195-213.

Arrow, K. J. (1980). Real and nominal magnitudes in economics. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 773-783.

Arteaga, F. (2013) Security and Defence Policy. In *The Oxford Handbook of Spanish Politics*.

Arteaga, F. (2014), A proposal for restructuring the security and defence industrial sector in Spain, *Defence and Peace Economics*, Vol. 25, nº 1, pp. 69-83.

Asseery, A.A. (1996). Evidence from Time Series on Militarising the Economy: The Case of Iraq. *Applied Economics*. 28 (10) 1257-1261.

Badillo, Á. (2014). Las políticas públicas de acción cultural exterior de España. *Estrategia Exterior Española* 19/2014, 16.

Badin, L., Daraio, C. and Simar, L. (2014). Explaining inefficiency in nonparametric production models: the state of the art. *Annals of Operations Research*, 214(1), 5-30.

Banker, R. D., Charnes, A., and Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.

Banker, R.D. and Morey, R.C. (1986). Efficiency analysis for exogenously fixed inputs and outputs. *Operations Research*, 34(4), 513-521.

Baronio, A. y Vianco, A. (2010) Materiales y métodos en el proceso de investigación econométrica. Cuadernos de Econometria. *UniRío editora*.

Bastida, J. L. J., and Peñalver, A. J. B. (2019). Modelo para evaluar la eficiencia y la productividad en la industria de defensa. *Economía Industrial*, (412), 17-32.

Briec, W. (1998). Hölder Distance Functions and Measurement of Technical Efficiency. *Journal of Productivity Analysis*, 11: 111-131.

Briec, W. and Lemaire, B. (1999). Technical efficiency and distance to a reverse convex set. *European Journal of Operational Research*, 114: 178-187.

Brown, K. W. (2015). Guerra, impuestos y reformas financieras: las colonias españolas e inglesas del siglo XVIII. *Histórica*, 39 (2), 117-150.

Cachanosky, I. (2012). Eficiencia técnica, eficiencia económica y eficiencia dinámica. Procesos de Mercado: *Revista Europea de Economía Política*, 9(2), 51-80.

Cappelen, A., Gleditsch, N. P., and Bjerkholt, O. (1984). Military spending and economic growth in the OECD countries. *Journal of Peace Research*, 21(4), 361-3.

Caves, D.W., Christensen, L.R. and Diewert, W.E. (1982). The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output, and Productivity. *Econometrica*, 50: 1393-1414.

CEPA Win4Deap 2.2.1.0.1 (2019). The School of Economics, Level 6, Colin Clark Building 39. *University of Queensland*, St Lucia, QLD, 4072, Australia.

Charnes, A., Cooper, W. W., and Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444.

Chen, Y., and Sherman, H.D. (2004). The benefits of non-radial vs. radial super-efficiency DEA: an application to burden-sharing amongst NATO member nations. *Socio-Economic Planning Sciences*. 38, 4, Pages 307-320.

Chletos, M. and Kollias, C. (1995). The demand for Turkish military expenditure 1960–1992. *Cyprus Journal of Economics* 8 (1): 64–74.

Christensen, T., and Lægreid, P. (2011). Complexity and hybrid public administration—theoretical and empirical challenges. *Public organization review*, 11(4), 407-423.

- Coelli, T. J. (1996). *A guide to FRONTIER version 4.1: a computer program for stochastic frontier production and cost function estimation* (Vol. 7, pp. 1-33). CEPA Working paper.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M., and Tone, K. (2000). *Data envelopment analysis: a comprehensive text with models, applications, references and DEA-solver software*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Cosidó, I. (2005). La industria de defensa española ante la consolidación del sector en Europa. *Boletín Elcano*, (65), 8.
- Davis, D.M. (2011). Designing a viable prediction market to forecast defense acquisition cost and schedule outcomes. *Defence and Peace Economics*. 22:3, 351-366.
- Devettere, R. J. (2002). *Introduction to virtue ethics: Insights of the ancient Greeks*. Georgetown University Press.
- Diez Nicolás, J. y Gil Calvo, E. (2015). Diálogo entre Enrique Gil Calvo y Juan Díez Nicolás sobre los valores de la juventud. *Revista Metamorfosis: Revista del Centro Reina Sofía sobre Adolescencia y Juventud*, (2), 1-6.
- Driver, D. (2016) Burden sharing and the future of NATO: wandering between two worlds, *Defense and Security Analysis*, 32:1, 4-18.
- Drucker, P. F. (2006). *Drucker para todos los días*. Editorial Norma.
- Duch-Brown, N., Fonfría, A. and Trujillo-Baute, E. (2014). Market structure and technical efficiency of Spanish defense contractors. *Defence and Peace Economics*. Vol. 5, nº 1, pp. 23-38. DOI: 10.1080/10242694.2013.857461
- Dunne, P., Nikolaidou, E., and Smith, R. (2002). Military Spending, investment and. Economic Growth in Small Industrialising Economies. *The South African Journal of Economics* 70 (5) 1–27.
- Dunne, J P and Nikolaidou, E. (2005) Military spending and economic growth in Greece, Portugal and Spain. *Frontiers in Finance and Economics* 2 (1), 1-17.
- Dunne, J.P. and Tian, N. (2015) Military Expenditure, Economic Growth and Heterogeneity, *Defence and Peace Economics*, 26:1, 15-31.
- Dunne, P., Smith, R.P., and Willenbockle, D. (2018). Models of Military Expenditure and Growth: A Critical Review. *Defence and Peace Economics*, 16 (6), 449-461.
- Dunne, P. and Vougas, D. (1999). Military Spending and Economic Growth in South Africa: A Causal Analysis. *Journal of Conflict Resolution*, 43(4), 521–537.
- Ebrahimnejad, A., and Tavana, M. (2014). An interactive MOLP method for identifying target units in output-oriented DEA models: The NATO enlargement problem. *Measurement*, 52, 124-134.
- Esteve, M., Aparicio, J., Rabasa, A., and Rodriguez-Sala, J. J. (2020). Efficiency analysis trees: A new methodology for estimating production frontiers through decision trees. *Expert Systems with Applications*, 162, 113783.
- European Union (2016). *Shared Vision, Common Action. A Stronger Europe. A Global Strategy, for the European Union's Foreign and Security Policy*. June 2016.
- Färe, R., Grosskopf, S., Norris, M., & Zhang, Z. (1994). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries. *The American Economic Review*, 66-83.
- Färe. R., and Grosskopf. S. (1992). Malmquist Productivity Indexes and Fisher Ideal Indexes. *Economic Journal*. 102. 158-160.
- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society: Series (General)*, 120(3), 253-281.
- Ferrera, J. M. C. (2006). Evaluación de la eficiencia con factores exógenos mediante el Análisis Envolvente de Datos: Una aplicación a la educación secundaria en España. *Universidad de Extremadura*.
- Figueroa García, A. (2017). Aplicación del modelo no paramétrico DEA (Análisis envolvente de datos) a un caso práctico: Eficiencia y productividad del sector pesquero gallego. *Universidad de la Laguna. Secc. Matemáticas*.
- Fonfría, A., and Correa-Burrows, P. (2010). Effects of military spending on the profitability of Spanish defence contractors, *Defence and Peace Economics*, Vol. 21, No. 2, pp. 177-192.

- Fonfría, A., and Duch-Brown, N. (2014). Explaining export performance in the Spanish defense industry. *Defence and Peace Economics*, 25 (1), 51-67.
- Fonfría, A. (2011). Presupuesto, tecnología e industria de defensa: una ecuación con tres incógnitas. *Boletín Elcano*, (141), 8.
- Fonfría, A. (2018). Proyecciones del gasto en defensa 2040. *Documento de Investigación* (No. 3, June 2018), 20 pp.
- García-Estévez, J., and Trujillo-Baute, E.(2014) Drivers of R&D investment in the defence industry: evidence from Spain,*Defence and Peace Economics*, 25:1, 39-49, DOI: 10.1080/10242694.2013.857464
- Ghazalian. P.L and Hammoud. M. (2020). The Peace Level of Nations: An Empirical Investigation into the Determining Factors. *Defence and Peace Economics* (en prensa).
- Global Peace Index (2019). Measuring Peace in a complex world. *Institute for Economics and Peace*. Sydney, June 2019. Available from: <http://visionofhumanity.org/indexes/global-peace-index>.
- Grautoff, M. and Miranda, F. C. (2009). Analysis of military spending from the perspective of the defense economy: The Colombian case 1950-2006.*Ecos de Economía*, 13(28), 199-237.
- Griffell-Tatjé, E., and Lovell, C. K. (1995). A note on the Malmquist productivity index. *Economics letters*, 47(2), 169-175.
- Gulati, R., and Kumar, S. (2016). Evaluación del crecimiento de la productividad de los bancos indios durante el período posterior a la desregulación utilizando el índice de productividad Malmquist no radial. *Revista Internacional de Investigación Operativa*, 25(2), 169-195.
- Gutiérrez Ramírez, J. D. J. (2007). Análisis del sector de la telefonía local en Colombia mediante técnicas estadísticas multivariadas y Análisis Envolvente de Datos durante el periodo 1997-2001 (Master's thesis, Uniandes).*Universidad de los Andes.Bogota*.
- Guzmán-Raja, I. (2009). Eficiencia y cambio tecnológico en las empresas suministradoras del Ministerio de Defensa. En Briones, A.J. (coord.): Gobierno en la Industria de Defensa, *Aula abierta y Foro de Estudio de Seguridad y Defensa*, (pp. 77-92), Diego Marín Librero Editor, Cartagena, España.
- Haerpfer, C., and Wallace, C. (1997). Internal and external security in post-Communist *Eastern Europe*: results of a 10-nation study.*Contract report: DRDC CORA CR 2011-178*.
- Hagedoorn, J., and Cloudt, M. (2003). Measuring innovative performance: is there an advantage in using multiple indicators? *Research Policy*, 32(8), 1365-1379.
- Hanson, T. (2016). Efficiency and productivity in the operational units of the armed forces: A Norwegian example. *International Journal of Production Economics*, 179, 12-23.
- Harbour, J. L. (2017). Los fundamentos de la medición del rendimiento. *Prensa Crc*.
- Hardy Videla, D. A. (2003). La seguridad cooperativa. Un modelo de seguridad estratégica en evolución. *Revista de Marina*, 6.
- Hartley, K. (2011). Exit defense measures: an economic perspective. *Center for Research and Operational Analysis*.
- Hayes, A. M., and Feldman, G. (2004). Clarifying the construct of mindfulness in the context of emotion regulation and the process of change in therapy.*Clinical Psychology: Science and Practice*,11(3), 255-262.
- Hildebrandt, G. G. (2007). Budget estimating relationships for depot-level repairables in the Air Force flying hour program (Vol. 355). *Rand Corporation*.
- Hunter, E and Pernik, P. (2015). The challenges of hybrid warfare. *Analysis. International Center for Defence and Security*. Estonia.
- Isar, S. A. (2017). Análisis del Fondo de Contingencia de ejecución presupuestaria y el presupuesto de Defensa. *Revista general de marina*, 272(2), 329-334.
- Kennedy, P. (2010). The rise and fall of the great powers: economic change and military conflict from 1500 to 2000. *Vintage* .
- Kennedy, P. (2017). Auge y caída de las grandes potencias. *Debolsillo*

Kim, J. (2015) Analysis of Efficiency and Productivity in Global Arms-producing and Military Services Companies-, *International Journal of IT-based Business Strategy Management* Vol. 1 N° 1 (pp 1-10). the case of Spanish.

Kollias, C., Manolas, G., and Paleologou, S. M. (2004). Defence expenditure and economic growth in the European Union: a causality analysis. *Journal of Policy Modeling*, 26(5), 553-569.

Lebovic, J.H. and Ishaq, A. (1987) Military burden, security needs, and economic growth in the Middle East', *Journal of Conflict Resolution*, 31 (1), 106–138.

Lee, S.C., Lee, C. T., and Wu, S.F. (2016) Military spending and growth: a small open economy stochastic growth model, *Defence and Peace Economics*, 27: 1,105-116.

Leibenstein (1966). Allocative Efficiency vs. X- Efficiency. Harvey Leibenstein. *The American Economic Review*, Volume 56, Issue 3, 392-415.

Liu, J.S., Lu, W.M., Ho, M.H.C., (2014). National characteristics: innovation systems from the process efficiency perspective. *R&D Management* 45 (4), 317–338.

López, N. R. (2011). La eficiencia y su importancia en el sector público. *Extoikos*, (1), 38-47.

Lovell, C. K., Pastor, J. T., and Turner, J. A. (1995). Measuring macroeconomic performance in the OECD: A comparison of European and non-European countries. *European Journal of Operational Research*, 87(3), 507-518.

Lui, J.S., Lu, L.Y., Lu, W. and Lin, B.J. (2013). A survey of DEA applications. *Omega* 41, 893-902. Elsevier.

MacNair, E., Murdoch, C., and Sandler, T. (1995). Crecimiento y defensa: estimaciones agrupadas para la alianza de la OTAN.1951-1988. *Southern Economic Journal*. 61 846–860.

Maesschalck, J. (2004). Approaches to ethics management in the public sector: A proposed extension of the compliance-integrity continuum. *Public Integrity*, 7(1), 20-41.

Malmquist, S. (1953). Index Numbers and Indifference Surfaces. *Trabajos de Estadística* 4, pp. 209-242.

Martí Sempere, C. (2011). La industria de defensa. Principales características y eficiencia de un sector estratégico. *Economía. Industrial*, 388, 169-182.

Martí Sempere, C. and Fonfría, A. (2018). An analysis of the defence industrial market based on agents. *Defence and Peace Economics*. Vol. 31, 2.1-25.

Martínez G. A. and Rueda López. N. (2013). A productivity and efficiency analysis of the security and defence technological and industrial base in Spain. *Defence and Peace Economics*. 24(2). 147-171.

Martínez González, A., and Rueda López, N. (2013). A productivity and efficiency analysis of the security and defence technological and industrial base in Spain. *Defence and Peace Economics*, 24(2), 147-171.

Mas, M. A. M. and Alonso, Á. V., (1998). Validación de una escala de motivación de logro. *Psicothema*, 10(2), 333-351.

Maudos, J., Pastor, J. M., y Serrano, L. (2000). Crecimiento de la productividad y su descomposición en progreso técnico y cambio de eficiencia: una aplicación sectorial y regional en España (1964-93). *Investigaciones Económicas*, 24(1), 177-205.

Mauro Vega, J. (2015). El planeamiento de la defensa en España 2008-2015: *Análisis de Política Pública*.

Ministerio de Defensa de España. Dirección General de Armamento y Material. Informes anuales. https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/l/a/la_industria_de_defensa_en_espa_a_informe_2015.pdf

Ministerio de Defensa de España. Dirección General de Armamento y Material. Informes anuales. https://publicaciones.defensa.gob.es/media/downloadable/files/links/l/a/la_industria_de_defensa_en_espa_a_informe_2017.pdf

Mintz, A., and Huang, C. (1990). Defense expenditures, economic growth, and peace dividend. *American Political Science Review*, 84(4), 1283–1293.

Nayar, P., Ozcan, Y. A., Yu, F., and Nguyen, A. T. (2013). Benchmarking urban acute care hospitals: efficiency and quality perspectives. *Health Care Management Review*, 38(2), 137-145.

Neira, M.A.A., y González A.M., (2007). Los determinantes políticos y económicos del gasto en defensa un estudio a través de técnicas de datos de panel para los países europeos de la OTAN (1975-2005). *In Anales de Economía Aplicada Vol. 5, ISBN 84-96477-93-2*, págs. 154-182.

Neira, M.A.A., y González, A. M. (2008). Los determinantes del gasto en defensa en la literatura académica de los últimos cincuenta años: una revisión de las principales aportaciones y modelos. *Hacienda Pública Española*, (187), 109-139.

Nelson, R., (2004). The challenge of building an effective innovation system for catch-up. *Oxf. Dev. Stud.* 32 (3), 365–374.

North Atlantic Treaty Organization (NATO). 2010 to 2017 Financial and economic data related to NATO defense. *Brussels, Belgium: NATO, Press and Media*.

https://www.nato.int/nato_static_fl2014/assets/pdf/pdf_2018_03/20180315_SG_AnnualReport_fr.pdf

Odehnal, J., and Neubauer, J. (2020). Economic, security, and political determinants of military spending in NATO countries. *Defence and Peace Economics*, 31(5), 517-531.

Orea, L., (2002). Parametric decomposition of a generalized Malmquist productivity index. *J. Prod. Anal.* 18, 5–22.

Palma Martos, L. A., Martín Navarro, J. L., and García Sánchez, A. (1995). Análisis económico regional del nivel tecnológico: una aplicación a la economía de Castilla-León y Andalucía a partir de las Tablas Input-Output. *In Congreso de Economía Regional de Castilla y León (4º. 1994. Burgos)*. Junta de Castilla y León.

Pastor, J. T., Lovell, C. A. K., and Aparicio, J. (2020). Defining a new graph inefficiency measure for the proportional directional distance function and introducing a new Malmquist productivity index. *European Journal of Operational Research*, 281(1), 222-230.

Peñalver, A. J. B. (2013). Economía de la Seguridad y la Defensa. Transferencia de conocimiento e innovación asociada a la industria de defensa. *Revista del Instituto Español de Estudios Estratégicos*, (2), 9.

Peretto, C. (2016). Métodos para medir y evaluar la eficiencia de unidades productivas. *Revista de la Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, 24.

Pulido, W. V., and Estrella, E. G. (2013). Impacto del gasto de la defensa en el crecimiento económico de Colombia en los últimos veinte años. *Revista Científica General José María Córdova*, 11(11), 227-257.

Ray, S. C., and Desli, E. (1997). Productivity growth, technical progress, and efficiency change in industrialized countries: comment. *The American Economic Review*, 87(5), 1033-1039.

Rojas, M., and Ponce, P. (2019). Capítulo 7: Efecto del gasto público en el crecimiento económico: un enfoque global. *Crecimiento Económico*, 155.

Scalco, P. R., Amorim, A. L., and Gomes, A. P. (2012). Eficiencia técnica de la policía militar en Minas Gerais. *Nova Economia*, 22(1), 165-190.

Scheetz, T. (1991). The macroeconomic impact of defence expenditures: some econometric evidence for Argentina, Chile, Paraguay and Peru. *Defence and Peace Economics*, 3(1), 65-81.

Shephard, R.W. (1953) Cost and Production Functions, *Princeton University Press, Princeton, NJ*.

Shephard, R. W. (1970). Theory of cost and production functions. *Princeton University Press, Princeton, NJ*.

Simar, L., and Wilson, P. W. (2000). A general methodology for bootstrapping in non-parametric frontier models. *Journal of applied statistics*, 27(6), 779-802.

Smith, R. (1980) Military expenditure and investment in OECD countries. 1954–1973. *Journal of Comparative Economics*, 4 (1)19-32.

Solow, R. M. (1957). Technical change and the aggregate production function. *The review of Economics and Statistics*, 312-320.

Spendolini, M. J. (1994). Benchmarking. *Bogotá: Norma S.A.* p. 11.

Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI) (2013), Yearbook 2013: armaments, disarmament and international security, *Oxford University Press*. Disponible en: <http://www.sipri.org/yearbook/2013>

- Swan, T. W. (1956). Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32(2), 334-361.
- Valero-Carreras, D., Aparicio, J., and Guerrero, N. M. (2021). Support vector frontiers: A new approach for estimating production functions through support vector machines. *Omega*, 104, 102490.
- Vázquez Rojas, A. M. (2011). Eficiencia técnica y cambio de productividad en la educación superior pública: un estudio aplicado al caso español (2000-2009). *Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid*.
- Vilchez Vivanco, M. E. (2018). La industria de defensa en el marco europeo. *Revista Internacional de Doctrina y Jurisprudencia*, 19.
- Ward, M.D. and Davis, D. (1992). Sizing up the Peace Dividend: Economic Growth and Military Spending in the United States, 1948-1996. *American Political Science Review*, 86 (3) 748–755.
- Zabala-Iturriagoitia, J. M., Aparicio, J., Ortiz, L., Carayannis, E. G., and Grigoroudis, E. (2021). The productivity of national innovation systems in Europe: Catching up or falling behind?. *Technovation*, 102, 102215.
- Zofio, J. L., and Lovell, C. A. K. (2001). Graph efficiency and productivity measures: an application to US agriculture. *Applied Economics*, 33(11), 1433-1442.
- Zofio, J.L., (2007). Malmquist productivity index decompositions: a unifying framework. *Applied Economics* 39 (18), 2371–2387