

MODELO PARA EVALUAR LA EFICIENCIA Y LA PRODUCTIVIDAD EN LA INDUSTRIA DE DEFENSA EN ESPAÑA

JOSÉ LORENZO JIMÉNEZ BASTIDA

General de División Cuerpo Intendencia
Ejército del Aire (r)

ANTONIO JUAN BRIONES PEÑALVER

Universidad Politécnica de Cartagena

En España, la industria de defensa cuenta con sectores industriales que son impulsores y generadores de una actividad productiva que debe ser competitiva. Disponer de una Base Industrial y Tecnológica de Defensa (BITD) que sea competitiva se considera que es un factor que contribuye a reforzar la seguridad y defensa nacional.

En los últimos años el estudio de la eficiencia relativa y la variación de la productividad se ha convertido en una de las áreas de la economía aplicada que más desarrollo han experimentado. Este creciente interés está relacionado con el entorno económico actual, cada vez más complejo, y, en consecuencia, por la necesidad que tienen las empresas de competir entre ellas para sobrevivir ante las fuerzas del mercado. Para el análisis económico la posibilidad de relacionar empresas o sectores según su comportamiento es un objetivo esencial. La medición de la eficiencia es importante para las empresas de cualquier sector, no solamente para determinar su eficiencia con respecto a sus objetivos, sino también como punto de referencia para compararse con otras empresas similares del sector.

INTRODUCCIÓN ↓

El Análisis Envolvente de Datos (DEA) es un modelo no paramétrico, que permite analizar la eficiencia relativa de agentes productivos, utilizando técnicas de progra-

mación lineal, y la variación de su productividad, tanto a nivel de empresas, como de organismos de carácter público o privado. Este instrumental teórico, muestra también una amplia flexibilidad y un gran potencial para el análisis empírico. La comparación entre sectores de una misma industria, es un factor de interés, en la medida que permite a las empresas que lo integran, saber en términos relativos las posibilidades de negocio que pueden esperar y su grado de competitividad.

DEA es una herramienta que hace posible comparar y contrastar, en términos relativos, los rendimientos de diferentes empresas de un mismo sector, o comparar la evolución de sectores que interactúan dentro de un mismo tejido industrial, como puede ser el caso de la defensa nacional. De igual modo, el DEA también hace posible poder abordar el análisis de eficiencia en términos relativos en centros de las Fuerzas Armadas, tanto los de carácter operativo, como logístico o de mantenimiento.

García-Alonso (2010) destaca que una de las grandes dificultades con que se enfrenta el investigador de

temas de naturaleza económica relacionada con la industria de defensa, es la escasez de datos y su fiabilidad. En este sentido, parece que empieza a producirse un cambio de tendencia, y cada vez se dispone de mayores cotas de disponibilidad de información, en lo que a datos y contenidos se refiere. En este sentido, la Dirección General del Armamento y Material (DGAM) del Ministerio de Defensa publica con carácter anual un informe sobre la industria de defensa en España, con una nueva estructura en la que contemplan los principales sectores de actividades asociadas a la defensa. En ellos, se ofrece información relevante sobre las empresas y los sectores que suministran sistemas armas, componentes y servicios al Ministerio de Defensa. De dicha información es de donde se han extraído los datos sobre personal y ventas empleados en el modelo DEA utilizado.

La industria de defensa integra a un conjunto de empresas que, fundamentalmente, suministran equipos, sistemas o servicios de armamento y material, infraestructura, sistemas de información y telecomunicaciones de aplicación militar. Desde el año 2010 el Ministerio de Defensa tiene establecida una taxonomía de capacidades industriales que se agrupan en nueve sectores de actividades asociadas a la defensa. Así, por orden alfabético, los sectores que constituyen la industria de defensa son los siguientes: Aeronáutico, Armamento, Auxiliar, Electrónico e Informático, Espacial, Materias Primas, Misiles, Naval y Vehículos Terrestres.

El objetivo del estudio consiste en hacer una incursión simplificada al análisis de la eficiencia y de la productividad, en términos relativos, de los principales sectores que componen la industria de defensa en España. Además, pretende poner de relieve el potencial de la metodología DEA, aplicado a los nuevos paradigmas de economía que vienen articulándose en el campo de la seguridad y la defensa.

El trabajo se estructura del siguiente modo: En la Sección 2 se lleva a cabo una breve referencia a la literatura publicada sobre el DEA aplicado a la industria de defensa. En la Sección 3 se explica la metodología que se sigue, destacándose los conceptos de análisis de la eficiencia, las características más importantes que tiene un modelo DEA, y la medida del cambio productivo, utilizando el índice de Malmquist. En la Sección 4 se aborda el estudio de la eficiencia y de la productividad en los Sectores de la Industria de Defensa, y se exponen los resultados. Para ello, se utiliza el modelo DEA bajo una aproximación muy simplificadora, en la que solo se considera un factor de producción o input, el nivel de empleo, y un producto u output, el nivel de ventas alcanzado, por cada uno de los sectores. Además, se indican los datos que se utilizan y el software empleado para la resolución del modelo. En la Sección 5 se aportan algunas reflexiones finales.

REVISIÓN DE LA LITERATURA ↓

Las aplicaciones del análisis envolvente de datos (DEA) para medir tanto la eficiencia relativa, como las varia-

ciones en la productividad total de los factores (índice de Malmquist) de empresas, sectores u organizaciones se ha multiplicado casi de forma exponencial en los últimos años (Docekalova *et al.* 2013; Cano *et al.* 2017; Guzmán-Raja *et al.* 2013; Stanickova *et al.* 2012). En particular, Lui *et al.* (2013) destaca la creciente aceptación del análisis DEA en la comunidad científica, fundamentalmente por la versatilidad de sus aplicaciones, y resalta que el valor de esa herramienta subyace en su capacidad para evaluar en términos relativos la eficiencia individual de las unidades de decisión o DMUs dentro de un grupo concreto de organizaciones con intereses y objetivos comunes.

Los estudios de eficiencia utilizando la metodología DEA relacionados con la seguridad y la defensa han sido también importantes, sobre todo en el ámbito anglosajón. Estos análisis se han centrado tanto en la medición de la eficiencia en centros y unidades operativas, como en centros logísticos, de abastecimiento y de mantenimiento de unidades militares. Además, se han prologado también en el ámbito del análisis financiero y de productividad en determinados subsectores de la industria de defensa. (ver, por ejemplo, Charnes *et al.* 1982; Bowling, 1999; Boehmke *et al.* 2017). Son también de resaltar las aplicaciones realizadas para evaluar la eficiencia y productividad de empresas relacionadas con la venta de armamento. Por ejemplo, en Kim (2015), se aborda mediante análisis DEA el estudio en 45 empresas de defensa a nivel internacional, en el período 2010-2014, y utiliza como variables inputs, tres factores de producción, el valor de los activos, el número de empleados y los costes de producción, y como variables output, el valor de los ingresos y el valor de los beneficios obtenido. Los datos de dichas variables los obtiene de la Base de Datos Bloomberg y para la resolución del modelo utiliza el paquete de software DEAP vers. 2.1., introducido por Coelli (1996).

En España, los trabajos sobre análisis de eficiencia y productividad de las empresas de defensa, son muy escasos hasta donde se tiene conocimiento. El trabajo de Martínez-González *et al.* (2012), analiza la variación de la productividad de cinco subsectores de la industria de defensa durante el período 1996 a 2009. Utiliza un modelo DEA con dos variables input, el empleo y la inversión, y dos variables output, la demanda interna y las exportaciones. Los datos que emplea son proporcionados por AFARMADE y TEDAE, y utiliza el software DEAP ver. 2.1.

Guzmán (2009), utiliza la metodología DEA para estudiar la eficiencia y el cambio tecnológico en empresas suministradoras del Ministerio de Defensa. Analiza una muestra de 74 empresas agrupadas en dos sectores, las del sector secundario y las del terciario. Emplea como variables input, el gasto de personal y el inmovilizado material, y como variable output, los ingresos de explotación. El análisis lo realiza para el período 2003 al 2007, y para la obtención de los datos para esas variables, utiliza la base de datos SABI (Sistema de Análisis de Balances Ibéricos). Como herramienta informática emplea el software DEA Warwich (versión 1.10).

En fecha más reciente, Duch-Brown *et al.* (2014), publica un trabajo donde se analiza la estructura de mercado y la eficiencia técnica de los contratistas de defensa en España. Para ello utiliza el modelo de función distancia estocástico, orientado a la producción. Se trata de un modelo paramétrico del tipo Análisis de Fronteras Estocásticas, en el que se supone conocida la forma de la función de producción, y se analizan alrededor de 380 empresas para el periodo 2003-2008.

METODOLOGÍA

Análisis de la eficiencia

Farrel (1957) plantea la posibilidad de poder comparar, en términos de eficiencia, lo que hace una empresa o sector, con respecto a lo que hacen otros sectores de características parecidas. Como señala Álvarez *et al.* (2001), «La gran aportación de Farrel fue determinar empíricamente un estándar de referencia, la frontera, con el que comparar las empresas para determinar si son eficientes o no. Las medidas de eficiencia calculadas de esta manera definen lo que se conoce como eficiencia relativa, es decir, miden eficiencia de una empresa comparando su actuación con las de las «mejores» empresas observadas, que son las que definen la frontera eficiente».

Coelli *et al.* (2005) destaca que, de forma intuitiva, la productividad de una empresa se puede definir como la ratio entre lo que produce (outputs) y los factores de producción que emplea (inputs) para obtener dicha producción. Cuando se hace referencia a la productividad con respecto a uno de sus factores (por ejemplo, la productividad del trabajo), se está considerando una productividad que es parcial, y está referida exclusivamente a ese factor. La productividad total de los factores (PTF), es un concepto más general, y es una medida que abarca todos los factores de producción que intervienen en el proceso.

La idea intuitiva del concepto eficiencia sugiere que unas empresas serán más eficientes que otras cuando producen más consumiendo lo mismo, o también cuando producen lo mismo, consumiendo menos. Cuando se dispone de un conjunto de empresas o sectores productivos comparables entre sí, en la medida que utilizan unos factores de producción y generan unos productos similares, una medida de eficiencia técnica es aquella que refleja la capacidad de una empresa de obtener el máximo nivel de producción a partir de unos determinados factores de producción. De igual modo, la idea de eficiencia de escala, se reflejará en relación con las características de los retornos de escala con los que operen dichas empresas.

En este sentido, cuando se observa que una empresa incrementa su productividad de un año a otro es preciso tener en cuenta que la mejora no necesariamente puede haber venido solamente del aumento en su eficiencia técnica, sino que puede ser debida también a una variación en la explotación de sus economías

de escala, o puede ser motivada por un cambio en la tecnología sustentado en la innovación de los factores tecnológicos, o bien de una combinación de todos esos factores.

Para el análisis de la eficiencia y la productividad existen diversos métodos, entre los que destacan: i) Los Modelos de producción econométricos de mínimos cuadrados, ii) los Índices de la productividad total de los factores (TFP), iii) el Análisis Envolvente de Datos (DEA) y iv) el Análisis de Fronteras Estocásticas.

El Análisis Envolvente de Datos: el modelo DEA

El análisis envolvente de datos (DEA) es una técnica de programación matemática, no paramétrica, que permite calcular la eficiencia relativa de una empresa, sector u organización, tanto de naturaleza pública como privada (en general DMUs, en sus siglas anglo-sajonas).

La medida de eficiencia del DEA es relativa, ya que se calcula en relación con todas las demás empresas que se incluyen en la muestra. La frontera se representa mediante las combinaciones convexas de las empresas óptimas o eficientes. El resto de empresas ineficientes quedan envueltas por esta frontera considerando que las únicas desviaciones posibles de la frontera se deben a la falta de eficiencia técnica. La metodología DEA, se basa en el trabajo pionero de Farrel (1957) y el posterior desarrollo de Charnes *et al.* (1981).

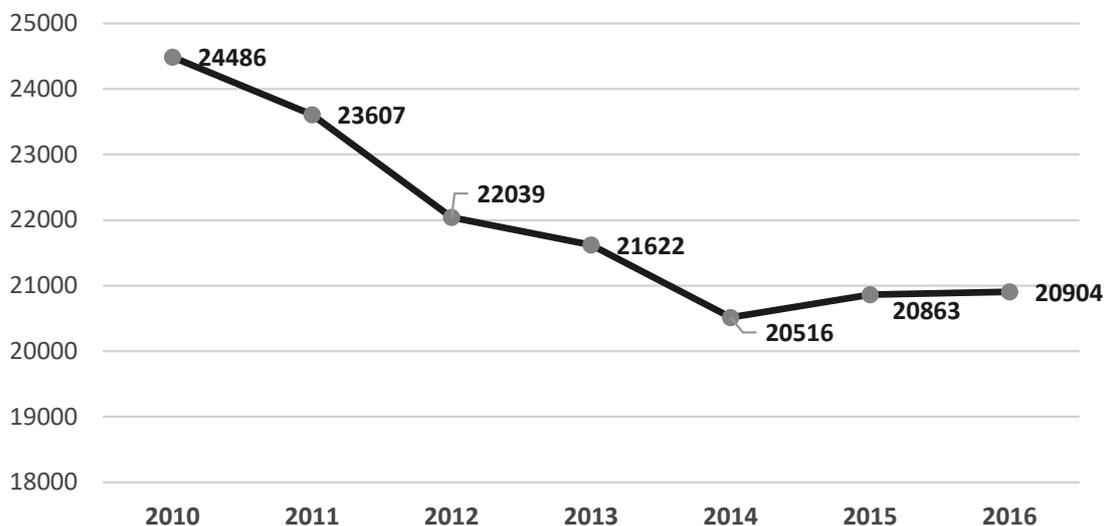
La información que proporcionan los índices de eficiencia del modelo DEA son de carácter estático, es decir, para cada periodo considerado, muestran una relación particular y determinada. Una forma intuitiva de introducir el modelo DEA es a través de su planteamiento en forma de ratio. En Coelli *et al.* (2005), para cada empresa es posible obtener una medida de la ratio de todas sus producciones con respecto a sus factores de producción utilizados. Un planteamiento del problema, tipo envoltura de datos, se suele representar como:

$$\begin{aligned} & \min_{u,v} \theta \\ & \text{Sujeta a:} \\ & -q_i + Q\lambda \geq 0 \\ & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\ & \lambda \geq 0 \end{aligned}$$

Siendo X y Q las matrices de los inputs y de los outputs de las empresas consideradas, θ es un escalar y λ es un vector de constantes $|x|$. Se supone que hay l unidades de decisión o empresas, N es el vector inputs y M es el de outputs para cada una de las l empresas o unidades de toma de decisiones (DMUs). Se representan, respectivamente, por vectores columna x_i y q_i . Este planteamiento, es el que utilizan prácticamente todos

GRÁFICO 1
EMPLEO DIRECTO ACTIVIDADES SECTORES DEFENSA

EMPLEO DIRECTO ACTIVIDADES SECTORES DE DEFENSA
(ASOCIADO A LAS VENTAS DE DEFENSA : VENTAS AL MINISDEF + EXPORTACIONES DE DEFENSA)



Fuente: Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM, y elaboración propia.

los paquetes informáticos para la resolución de los problemas relativos al DEA, dado que esta forma tipo «envoltura de datos» es la que supone menos restricciones para su resolución.

La medida del cambio productivo: el índice de Malmquist

El análisis DEA, al tener un carácter estático no refleja los movimientos de frontera derivados del cambio tecnológico a lo largo del tiempo. Malmquist (1953), introduce el denominado índice de la productividad total de los factores (TFP) que permite estimar la variación de productividad que tiene lugar cuando interactúan el cambio de eficiencia técnica y el cambio tecnológico a lo largo del tiempo.

El movimiento relativo de una empresa a lo largo del tiempo dependerá tanto de su posición en relación con la frontera correspondiente (eficiencia técnica) como de la posición de la frontera en sí (cambio tecnológico). Para calcular estos índices es necesario resolver varios conjuntos de problemas de programación lineal.

El índice de productividad de Malmquist construye una frontera eficiente basada en los datos y cada empresa se compara con esa frontera. La cercanía de una empresa a la frontera se interpreta como lo que es todavía requerido para alcanzar el «nivel necesario» o efecto «Catching up», mientras que el movimiento de la propia frontera o desplazamiento de la frontera en sí, se interpreta como el efecto que se produce por la «innovación o mejora tecnológica». El producto de estos dos componentes produce una versión fronteriza

del cambio de productividad, que es el «Índice TFP de Malmquist». Este planteamiento en su formulación matemática se suele representar como:

$$M_{t+1}^t(y_{t+1}, y_t, x_t) = \frac{d_{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_t(y_t, x_t)} \left[\frac{d_t(y_{t+1}, x_{t+1})}{d_{t+1}(y_{t+1}, x_{t+1})} * \frac{d_t(y_t, x_t)}{d_{t+1}(y_t, x_t)} \right]^{1/2}$$

Donde el primer término define los cambios en la eficiencia técnica respecto al periodo t y t+1 y el segundo muestra los cambios en la tecnología, es decir, representa un cambio en la frontera del periodo t al periodo t+1.

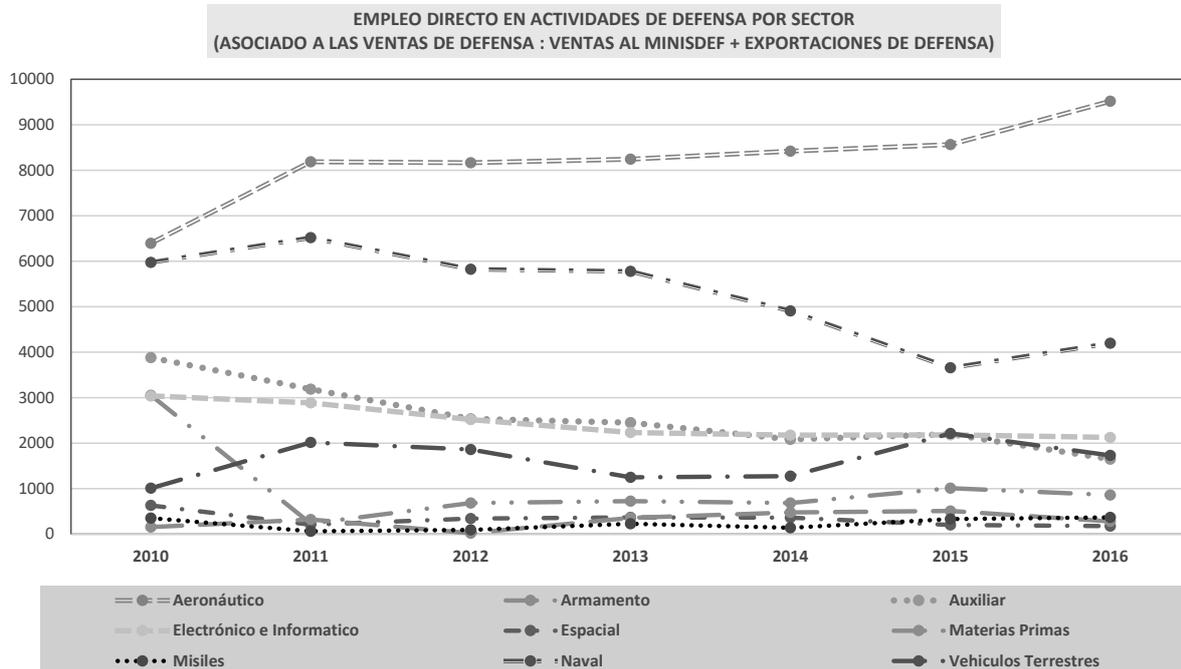
Si M > 1, entonces se dice que ha habido un aumento en la productividad, y si M < 1, se interpreta que ha habido una minoración o pérdida de productividad. Cuando M = 1, se dice que no ha habido variación en el nivel productividad.

ESTUDIO Y RESULTADOS OBTENIDOS SOBRE EFICIENCIA Y PRODUCTIVIDAD

Datos y software utilizado

Los datos utilizados en este trabajo proceden de los informes anuales que publica la Dirección General de Armamento y Material del Ministerio de Defensa, correspondientes a los años 2010 a 2016. Dichos datos sobre empleo y nivel de ventas para cada sector y periodo considerado se muestran en el Anexo, al final de este trabajo. Como inputs del modelo DEA, se utiliza el empleo anual mostrado para cada sector, y como outputs, se consideran las ventas realizadas anualmente por dichos sectores de la industria de defensa.

GRÁFICO 2
EMPLEO DIRECTO POR SECTORES EN ACTIVIDADES DE DEFENSA



Fuente: Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM, y elaboración propia.

GRÁFICO 3
VENTAS SECTORES DE DEFENSA (EN MILLONES DE € CORRIENTES)



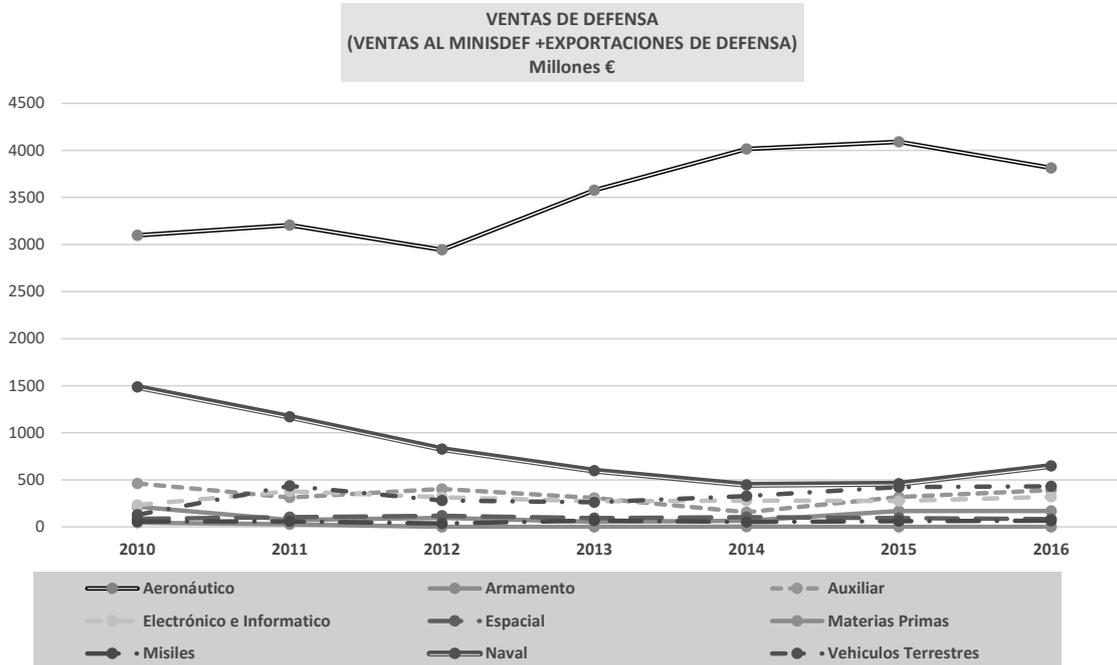
Fuente: Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM, y elaboración propia.

El software utilizado es el «DEATOOLBOX». Se trata de un nuevo paquete de MATLAB, que incluye funciones para poder calcular los principales índices del modelo de DEA, como se explica en Álvarez *et al.* (2016).

Empleo

En el periodo analizado, las empresas de los diferentes sectores de la Industria de Defensa dan empleo directo a un promedio anual, de unas 22.000 personas. La

GRÁFICO 4
VENTAS DE DEFENSA DESGLOSADAS POR SECTORES INDUSTRIALES (EN MILLONES DE € CORRIENTES)



Fuente: Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM, y elaboración propia.

evolución a nivel agregado por sectores en el periodo es decreciente desde el año 2010 al 2014, apreciándose una leve recuperación en los dos años posteriores, como se muestra en el Gráfico 1.

Considerando cada sector de forma independiente, se puede apreciar que no todos muestran un comportamiento decreciente. Así, como muestra el Gráfico 2, se puede observar, por ejemplo, que el Sector Aeronáutico experimenta un crecimiento continuado durante todo el periodo.

Ventas

La variable output, o producto, de cada uno de los sectores serán las ventas realizadas por ellos en el periodo 2010 – 2016. Por ventas de defensa se entiende las ventas que las empresas de los diferentes Sectores de la Industria de Defensa realizan al Ministerio de Defensa, así como las exportaciones de defensa que también llevan a cabo.

En euros corrientes, la evolución de las ventas a nivel agregado es claramente variable del año 2010 al 2014. Se aprecia una fuerte caída del año 2010 al 2012, y se inicia una lenta pero sostenida recuperación hasta el año 2016, como se muestra en el Gráfico 3.

En el Gráfico 4, se puede ver que la evolución de las ventas no ha sido igual para todos los sectores. Se aprecian, por ejemplo, notables diferencias entre el sector aeronáutico y el sector naval.

Análisis de los resultados

Resultados relativos a la eficiencia técnica: Medida del rendimiento

El modelo DEA utilizado está orientado al input, y los estadísticos descriptivos de los resultados proporcionados por el modelo se muestran en las Tablas 1 a la 7. Así mismo, en los Gráficos 5 al 7, se puede observar la evolución particularizada por sector de los rendimientos de escala variables (VRS), la eficiencia de escala y los rendimientos de escala constantes (CRS).

En la Tabla 1, se aprecia que, en términos relativos, el índice medio de la eficiencia técnica pura (modelo VRS) de los nueve sectores de la industria de defensa tan solo alcanza el 47,8 %. Esto significa que, a nivel agregado, y en promedio, existe una potencial infrautilización en los niveles de personal empleado por los diferentes sectores de defensa, del orden del 52,2 %.

La eficiencia de escala presenta un nivel promedio del 52,9 %, lo que revela también que, a nivel agregado, las dimensiones de estos sectores se encuentran en posiciones alejadas de sus niveles óptimos de operación, del orden de un 47,1%.

Cuando se considera la hipótesis de rendimientos de escala constantes (modelo CRS), la eficiencia técnica de los sectores de defensa, en promedio, alcanzar tan solo un valor del 25,3%, lo que muestra que, los niveles de output potencialmente alcanzables (situado en la frontera de producción), con respecto a los niveles de

TABLA 1

DMUs	SECTORES	MEAN GEOM	MEAN GEOM	MEAN GEOM
		2010-2016	2010-2016	2010-2016
		TECNICAL EFFICIENCY CRS	TECNICAL EFFICIENCY VRS	SCALE EFFICIENCY
1	Aeronáutico	0,852	1,000	0,852
2	Armamento	0,264	0,318	0,830
3	Auxiliar	0,256	0,304	0,841
4	Electrónico e Informático	0,239	0,287	0,834
5	Espacial	0,640	0,769	0,833
6	Materias Primas	0,007	0,509	0,014
7	Misiles	0,596	0,763	0,782
8	Naval	0,281	0,332	0,846
9	Vehículos Terrestres	0,386	0,470	0,822
	MEAN GEOM	0,253	0,478	0,529

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 2

TABLA RESULTADOS DE "VRS INPUT -ORIENTED DEA" AÑOS 2010-2016									
(UTILIZANDO MATLABTOOLBOX)									
DMUs	SECTORES	TECNICAL EFFICIENCY FROM VRS DEA							MEAN GEOM
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
1	Aeronáutico	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
2	Armamento	0,165	0,420	0,380	0,310	0,246	0,355	0,456	0,318
3	Auxiliar	0,260	0,224	0,439	0,316	0,170	0,306	0,573	0,304
4	Electrónico e Informático	0,178	0,308	0,344	0,311	0,282	0,268	0,360	0,287
5	Espacial	0,384	0,845	0,932	0,772	0,680	1,000	1,000	0,769
6	Materias Primas	1,000	0,194	1,000	0,628	0,293	0,397	0,626	0,509
7	Misiles	0,518	1,000	1,000	1,000	1,000	0,607	0,478	0,763
8	Naval	0,519	0,449	0,393	0,249	0,196	0,265	0,379	0,332
9	Vehículos Terrestres	0,325	0,513	0,415	0,538	0,558	0,404	0,606	0,470
	MEAN GEOM	0,399	0,469	0,590	0,501	0,399	0,449	0,571	0,478

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 3

2010-2016		
TECNICAL EFFICIENCY FROM VRS DEA		
SECTORES	MEAN GEOM	RANK
Aeronáutico	1,000	1º
Espacial	0,769	2º
Misiles	0,763	3º
Materias Primas	0,509	4º
Vehículos Terrestres	0,470	5º
Naval	0,332	6º
Armamento	0,318	7º
Auxiliar	0,304	8º
Electrónico e Informático	0,287	9º

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

empleo o factor de producción (el input) utilizados, se encuentra alejado un 74,7% de su valor óptimo.

No obstante, lo anterior, cuando se pasa del análisis agregado y en términos de promedio en el periodo, al estudio pormenorizado sector por sector, para cada

uno de los años analizados, las particularidades que muestra cada uno de ellos, en términos relativos, y respecto a los niveles de eficiencia técnica y eficiencias de escala alcanzados, tiene lecturas diferentes, según el sector de que se trate. Para cada uno de los sectores de la industria de defensa considerados, podemos ver los siguientes resultados:

1º.- Perspectiva de los rendimientos de escala variables (VRS).

Como se puede ver en las Tablas 2 y 3, los tres sectores que encabezan el ranking de la eficiencia pura, son el sector aeronáutico, que muestra una eficiencia técnica pura del 100 %, significando que ese sector, en términos relativos (con respecto a los demás sectores considerados) se encuentra sobre la frontera de producción óptima, y ostenta el primer puesto en ese tipo de eficiencia. Le sigue el sector espacial, que alcanza una eficiencia técnica pura de solo el 76,9%, con el puesto segundo. El sector misiles, muestra una eficiencia técnica pura del 76,3% e indica que, en el promedio del periodo, este sector ocupa el tercer puesto en el ranking de prelación entre ellos.

TABLA 4

TABLA RESULTADOS DE EFICIENCIA DE ESCALA "SE INPUT -ORIENTED DEA" AÑOS 2010-2016 (UTILIZANDO MATLABTOOLBOX)									
DMUs	SECTORES	SE (SCALE EFFICIENCY FROM DEA)							MEAN GEOM
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
1	Aeronáutico	1,000	0,412	0,929	1,000	1,000	1,000	0,850	0,852
2	Armamento	0,879	0,786	0,954	0,554	0,829	0,980	0,916	0,830
3	Auxiliar	0,945	0,459	0,934	0,916	0,921	0,990	0,876	0,841
4	Electrónico e Informático	0,889	0,449	0,936	0,905	0,956	0,988	0,883	0,834
5	Espacial	0,738	0,615	0,949	0,757	0,885	0,963	1,000	0,833
6	Materias Primas	0,588	0,479	0,001	0,001	0,019	0,004	0,004	0,014
7	Misiles	0,650	1,000	1,000	0,691	0,793	0,632	0,794	0,782
8	Naval	0,989	0,420	0,931	0,959	0,973	0,993	0,865	0,846
9	Vehículos Terrestres	0,809	0,443	0,937	0,902	0,962	0,992	0,873	0,822
	MEAN GEOM	0,820	0,536	0,452	0,399	0,592	0,510	0,483	0,529

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 6

TABLA RESULTADOS DE "CRS INPUT -ORIENTED DEA" AÑOS 2010-2016 (UTILIZANDO MATLABTOOLBOX)									
DMUs	SECTORES	TECNICAL EFFICIENCY FROM CRS DEA							MEAN GEOM
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
1	Aeronáutico	1,000	0,412	0,929	1,000	1,000	1,000	0,850	0,852
2	Armamento	0,145	0,330	0,363	0,172	0,204	0,348	0,418	0,264
3	Auxiliar	0,246	0,103	0,410	0,290	0,157	0,303	0,502	0,256
4	Electrónico e Informático	0,158	0,138	0,322	0,281	0,269	0,264	0,318	0,239
5	Espacial	0,283	0,520	0,885	0,584	0,602	0,963	1,000	0,640
6	Materias Primas	0,588	0,093	0,001	0,001	0,005	0,002	0,002	0,007
7	Misiles	0,337	1,000	1,000	0,691	0,793	0,383	0,380	0,596
8	Naval	0,514	0,189	0,366	0,239	0,191	0,263	0,327	0,281
9	Vehículos Terrestres	0,263	0,227	0,389	0,485	0,537	0,401	0,529	0,386
	MEAN GEOM	0,327	0,251	0,267	0,200	0,236	0,229	0,276	0,253

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 5

2010-2016 SCALE EFFICIENCY		
SECTORES	MEAN GEOM	RANK
Aeronáutico	0,852	1º
Naval	0,846	2º
Auxiliar	0,841	3º
Electrónico e Informático	0,834	4º
Espacial	0,833	5º
Armamento	0,830	6º
Vehículos Terrestres	0,822	7º
Misiles	0,782	8º
Materias Primas	0,014	9º

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

En la Tabla 3 se puede ver también que la eficiencia técnica pura para los demás sectores, con la excepción del sector materias primas (50,9%) y el sector de vehículos terrestres (47,0%), oscilan entre el 28% y el 33 %, mostrando niveles muy inferiores a los sectores que encabezan la tabla.

2º.- Eficiencia de escala.

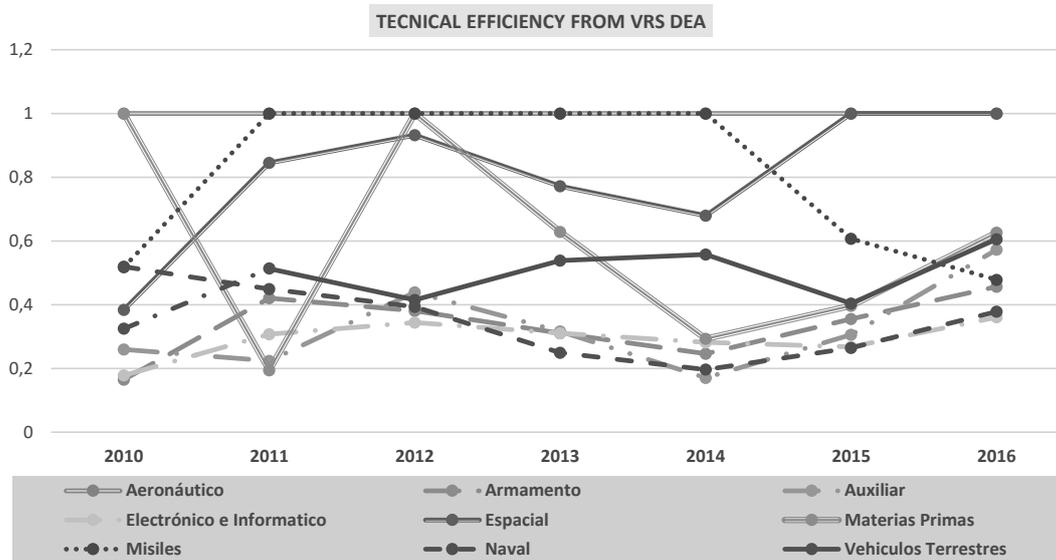
TABLA 7

2010-2016 TECNICAL EFFICIENCY CRS		
SECTORES	MEAN GEOM	RANK
Aeronáutico	0,852	1º
Espacial	0,640	2º
Misiles	0,596	3º
Vehículos Terrestres	0,386	4º
Naval	0,281	5º
Armamento	0,264	6º
Auxiliar	0,256	7º
Electrónico e Informático	0,239	8º
Materias Primas	0,007	9º

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

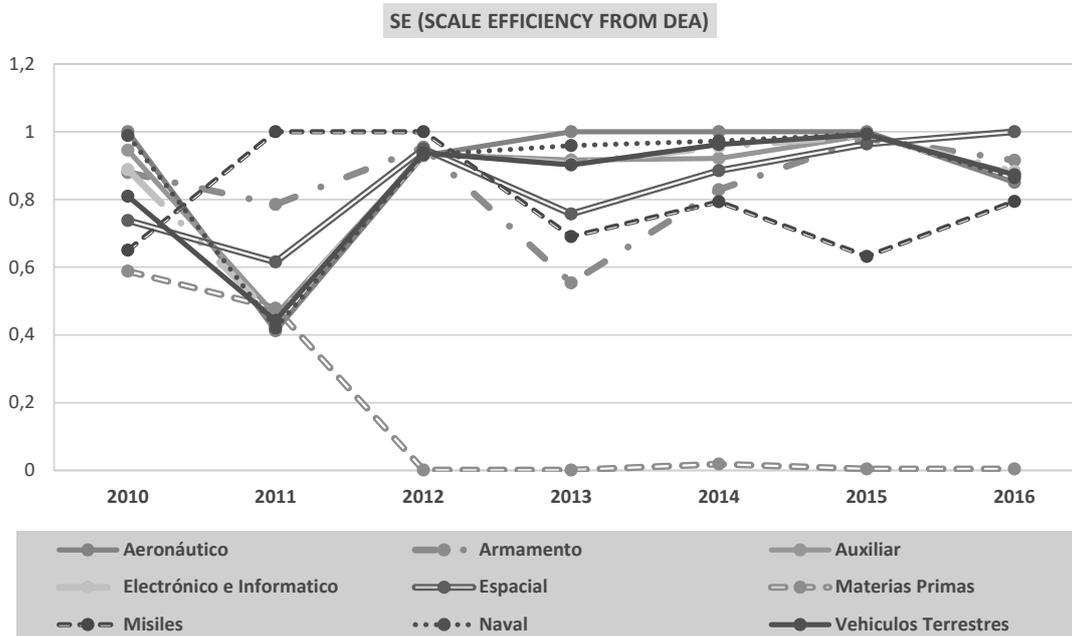
Como se puede observar en la Tabla 4, y Tabla 5, en el promedio del periodo, todos los sectores muestran ineficiencias de escala. Es decir, sus tamaños de operación no son los óptimos. No obstante, y sin que ninguno llegue al 100%, los tres sectores que muestran los niveles eficiencia de escala más elevados son el sector aeronáutico, con un 85,2%, el sector naval, con un 84,6%, y el sec-

GRÁFICO 5
EVOLUCIÓN EFICIENCIA TÉCNICA PURA (VRS DEA) POR SECTORES DE DEFENSA



Fuente: Elaboración propia. Modelo DEA con MatlabToolbox.

GRÁFICO 6
EVOLUCIÓN EFICIENCIA DE ESCALA POR SECTORES DE DEFENSA

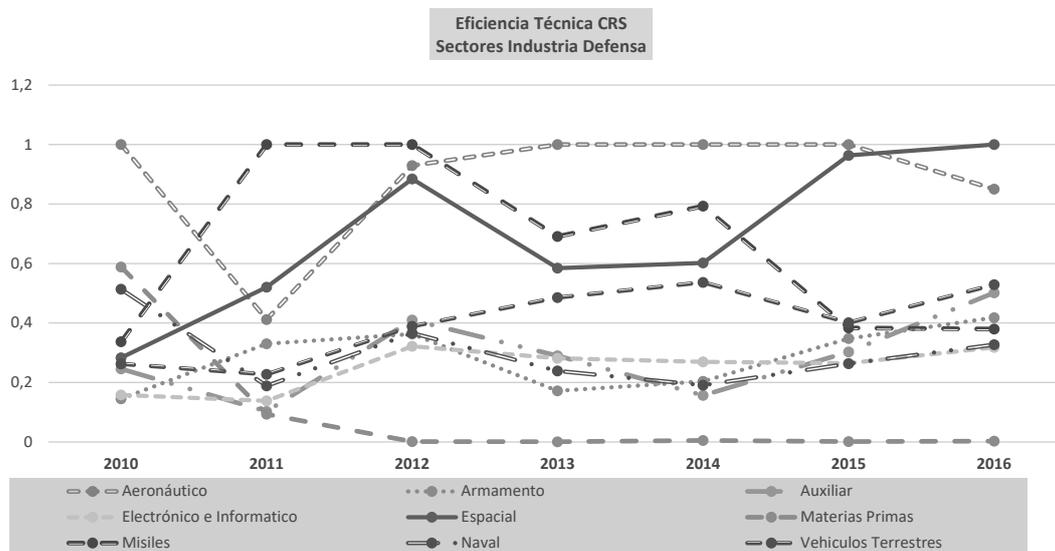


Fuente: Elaboración propia. Modelo DEA con MatlabToolbox.

tor auxiliar, con un 84,1%. Le siguen muy de cerca el sector electrónico e informático, con un 83,4%, el sector espacial, con el 83,3% y el sector armamento, con el del 83,0%. Con un 82,2% y un 76,3% figuran, respectivamente, la eficiencia de escala del sector vehículos terrestres y el sector misiles. El sector materia primas, muestra la peor eficiencia de escala con tan solo el 1,4%.

En la Tabla 4 se puede apreciar también que, durante el periodo analizado, bajo el modelo que determina las eficiencias de escala, el 100% de dicha eficiencia de escala, solo es alcanzado por tres sectores industriales. El sector aeronáutico, (años 2010, 2013, 2014 y 2015), el sector espacial (año 2016) y el sector de misiles (año 2011 y 2012).

GRÁFICO 7
EVOLUCIÓN EFICIENCIA TÉCNICA (CRS) POR SECTORES DE DEFENSA



Fuente: Elaboración propia. Modelo DEA con MatlabToolbox.

TABLA 8

DMUs	SECTORES	PROMEDIO 2010-2016	PROMEDIO 2010-2016	PROMEDIO 2010-2016
		CAMBIO EN LA PRODUCTIVIDAD TOTAL (INDICE DE MALMQUIST) M	CAMBIO EN LA EFICIENCIA TÉCNICA (MTEC)	CAMBIO TECNOLÓGICO (MTC)
1	Aeronáutico	0,9689	0,9734	0,9954
2	Armamento	1,1875	1,1930	0,9954
3	Auxiliar	1,1212	1,1264	0,9954
4	Electrónico e Informático	1,1183	1,1234	0,9954
5	Espacial	1,2284	1,2340	0,9954
6	Materias Primas	0,4004	0,4023	0,9954
7	Misiles	1,0156	1,0203	0,9954
8	Naval	0,9234	0,9276	0,9954
9	Vehículos Terrestres	1,1186	1,1238	0,9954
	MEDIA GEOM.	0,9677	0,9722	0,9954

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

3º.- Rendimientos de escala constantes (CRS).

En las Tablas 6 y 7 se puede ver que, en el promedio del periodo estudiado, los tres sectores que muestran los mejores índices son el sector aeronáutico, que alcanza una eficiencia técnica del 85,2%, seguido del sector espacial (64%) y el sector misiles (59,6%). Los demás sectores muestran porcentajes sensiblemente inferiores.

Se aprecia también en la Tabla 6 que, bajo el modelo con retornos constantes de escala (CRS), durante el periodo analizado, el 100% de la eficiencia técnica, queda disputado por los tres sectores industriales antes señalados, y solo se alcanza en determinados años. El sector aero-

náutico, años 2010, 2013, 2014 y 2015, el sector espacial, año 2016, y el sector de misiles, año 2011 y 2012.

El Gráfico 5 muestra la evolución temporal de la eficiencia técnica pura del modelo VRS, para cada uno de los sectores. Se puede observar que sus valores oscilan de forma sensible en unos sectores, mientras otros muestran una evolución más estable a lo largo de los siete años considerados.

En el Gráfico 6 se muestra la evolución de la eficiencia de escala, para cada uno de los sectores, y se puede observar de nuevo que sus valores oscilan de forma apreciable en unos sectores, mientras otros muestran una evolución es más estable.

TABLA 9

		M = Malmquist.						
		2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2010-2016
DMUs	SECTORES	M1	M2	M3	M4	M5	M6	MEDIA de M
1	Aeronáutico	0,8084	0,9199	1,2043	1,0993	1,0018	0,8388	0,9689
2	Armamento	4,4720	0,4478	0,5301	1,3049	1,7075	1,1856	1,1875
3	Auxiliar	0,8213	1,6275	0,7905	0,5953	1,9306	1,6359	1,1212
4	Electrónico e Informático	1,7124	0,9502	0,9781	1,0521	0,9840	1,1868	1,1183
5	Espacial	3,6059	0,6936	0,7387	1,1325	1,6040	1,0237	1,2284
6	Materias Primas	0,3106	0,0054	0,7039	7,7416	0,2953	1,5327	0,4004
7	Misiles	5,8290	0,4077	0,7729	1,2620	0,4844	0,9773	1,0156
8	Naval	0,7209	0,7917	0,7292	0,8797	1,3790	1,2277	0,9234
9	Vehículos Terrestres	1,6982	0,6975	1,3976	1,2154	0,7483	1,3011	1,1186
MEDIA								0,9677
MEDIA GEOM.		1,5093	0,4330	0,8372	1,3003	0,9713	1,1884	0,9677

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 11

		MTEC = Technical Efficiency Change. (Cambio en la Eficiencia Técnica)						
		2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	2010-2016
DMUs	SECTORES	MTEC1	MTEC2	MTEC3	MTEC4	MTEC5	MTEC6	MEDIA de MTEC
1	Aeronáutico	0,4118	2,2562	1,0762	1,0000	1,0000	0,8505	0,9734
2	Armamento	2,2782	1,0984	0,4737	1,1870	1,7044	1,2021	1,1930
3	Auxiliar	0,4184	3,9917	0,7064	0,5416	1,9272	1,6586	1,1264
4	Electrónico e Informático	0,8723	2,3304	0,8741	0,9571	0,9823	1,2033	1,1234
5	Espacial	1,8370	1,7010	0,6602	1,0302	1,6011	1,0379	1,2340
6	Materias Primas	0,1582	0,0132	0,6291	7,0425	0,2947	1,5540	0,4023
7	Misiles	2,9695	1,0000	0,6907	1,1480	0,4835	0,9909	1,0203
8	Naval	0,3672	1,9418	0,6516	0,8003	1,3765	1,2448	0,9276
9	Vehículos Terrestres	0,8651	1,7108	1,2490	1,1056	0,7470	1,3191	1,1238
MEDIA GEOM.								0,9722

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 10

SECTORES	PROMEDIO 2010-2016 CAMBIO EN LA PRODUCTIVIDAD TOTAL (INDICE DE MALMQUIST) M	RANK
Espacial	1,2284	1º
Armamento	1,1875	2º
Auxiliar	1,1212	3º
Vehículos Terrestres	1,1186	4º
Electrónico e Informático	1,1183	5º
Misiles	1,0156	6º
Aeronáutico	0,9689	7º
Naval	0,9234	8º
Materias Primas	0,4004	9º

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

En el Gráfico 7 se muestra la evolución de la eficiencia técnica considerando un modelo de retornos constantes de escala (CRS). Se puede observar que sus valores oscilan en unos sectores, mientras otros muestran una evolución más estable, mostran-

do que cada sector encierra unas particularidades específicas, que la simplificación del modelo empleado, no permite profundizar en las causas que las motivan.

Resultados relativos a la variación de la productividad: Índice de Malmquist.

Los estadísticos descriptivos de los resultados relativos a la variación de la productividad proporcionados por el modelo DEA se muestran en las Tabla nº 8 a la nº 10. Así mismo, en el Gráfico 8 se puede ver la evolución temporal de la productividad total de los factores (índice de Malmquist) desglosada para cada sector de defensa.

En la siguiente Tabla 8, podemos observar los resultados obtenidos, así como el efecto temporal acumulado, relativo al índice de Productividad Total de los Factores de Malmquist (M), y la descomposición del mismo en sus dos componentes principales: el cam-

TABLA 13

DMUs	SECTORES	MTC = Technical Change. (Cambio Tecnológico)						2010-2016 MEDIA de MTC
		2010-2011	2011-2012	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016	
		MTC1	MTC2	MTC3	MTC4	MTC5	MTC6	
1	Aeronáutico	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
2	Armamento	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
3	Auxiliar	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
4	Electrónico e Informático	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
5	Espacial	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
6	Materias Primas	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
7	Misiles	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
8	Naval	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
9	Vehículos Terrestres	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954
	MEDIA GEOM.	1,9630	0,4077	1,1190	1,0993	1,0018	0,9863	0,9954

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

TABLA 12

SECTORES	PROMEDIO 2010-2016	
	CAMBIO EN LA EFICIENCIA TÉCNICA (MTEC)	RANK
Espacial	1,2340	1º
Armamento	1,1930	2º
Auxiliar	1,1264	3º
Vehículos Terrestres	1,1238	4º
Electrónico e Informático	1,1234	5º
Misiles	1,0203	6º
Aeronáutico	0,9734	7º
Naval	0,9276	8º
Materias Primas	0,4023	9º

Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

bio en la eficiencia técnica (MTEC) y el cambio tecnológico (MTC). Esta descomposición permite poder evaluar con más detalle los cambios experimentados por la productividad a lo largo del tiempo.

Las medias geométricas mostradas para los nueve sectores de la industria de defensa, en el periodo 2010 – 2016, son las siguientes:

1. La productividad total de los factores, (M), a nivel agregado, es del 96,77 %, lo que supone que, en promedio, en el periodo analizado ha habido un retroceso en el nivel de la productividad total de los factores del 3,23%.
2. Con respecto al cambio en la eficiencia técnica (MTEC), y a nivel agregado, el valor promedio mostrado es del 97,22 %, lo que representa un retroceso asociado a la eficiencia técnica del 2,78%.
3. El cambio tecnológico muestra una variación del 99,54 %, lo que significa que, en promedio y a nivel agregado, prácticamente no ha habido cambio tecnológico significativo durante dicho periodo.

TABLA 14

SECTORES	PROMEDIO 2010-2016	
	CAMBIO TECNOLÓGICO (MTC)	RANK
Aeronáutico	1,00	
Armamento	1,00	
Auxiliar	1,00	
Electrónico e Informático	1,00	
Espacial	1,00	
Materias Primas	1,00	
Misiles	1,00	
Naval	1,00	
Vehículos Terrestres	1,00	

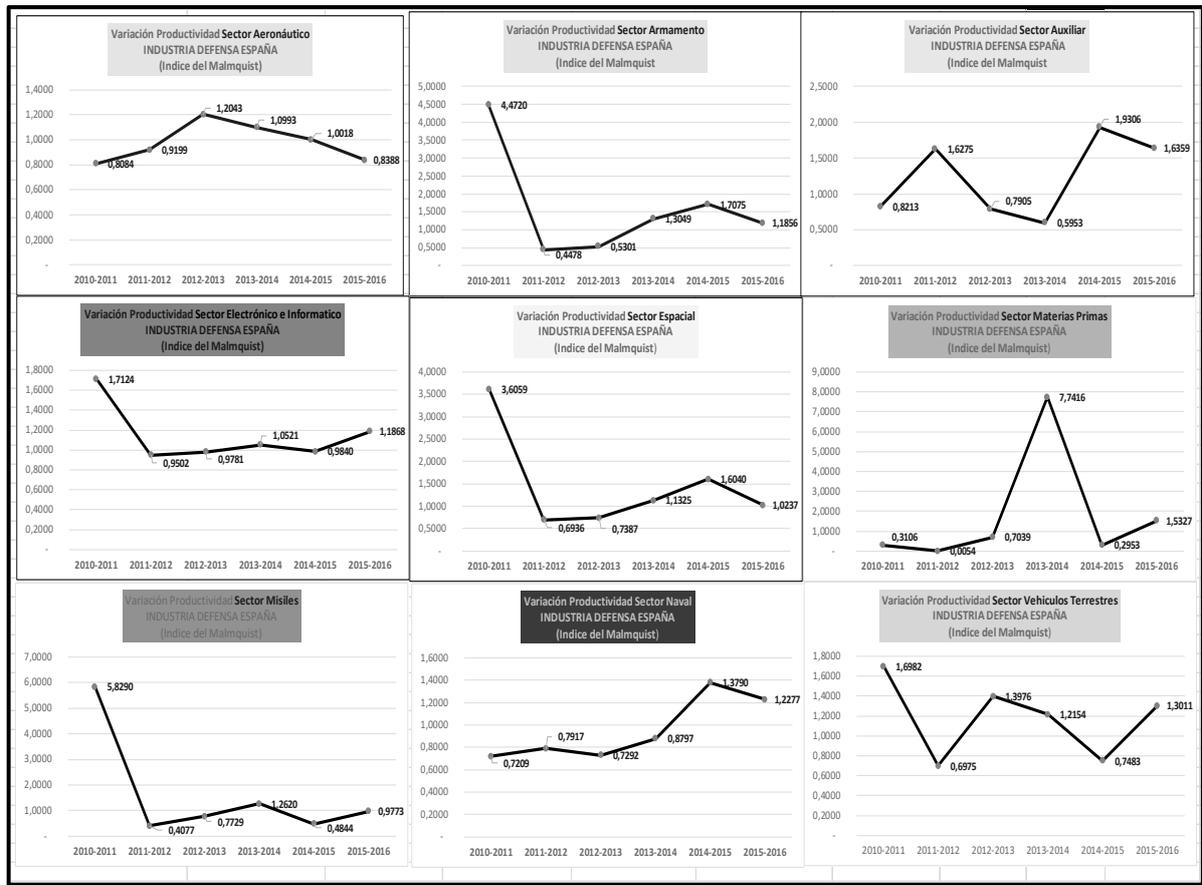
Fuente: Elaboración propia, utilizando Modelo DEA con MatlabToolbox en base a datos obtenidos de los Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM.

De nuevo, los valores de los diferentes sectores de la industria de defensa, considerados a nivel no agregado, es decir, sector por sector de forma particularizada, y en valores promedio, muestran diferencias sensibles tanto en las variaciones de sus anualidades, como con respecto a la comparativa de cómo han evolucionado unos sectores con respecto a otros. De nuevo, la simplificación del modelo utilizado, y los datos disponibles en los referidos Informes de la DGAM, no permiten inferir con más rigor las causas que subyacen a esas fluctuaciones.

De la Tabla 9, en la que se muestran los valores de la productividad total de sus factores de producción M (índice de Malmquist) para cada uno de los sectores de defensa analizados, destacamos que todos superan la unidad, es decir que, en promedio, durante el periodo analizado, han aumentado su productividad, con la excepción del sector aeronáutico, que solo alcanza el 96,89%, el sector naval con un 92,4%, y seguido muy de lejos, el sector materias primas (40,04%).

En la Tabla 10 se indica, en promedio, el orden de prelación en los niveles de productividad alcanzados.

GRÁFICO 8
EVOLUCIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD TOTAL DE LOS FACTORES (PTF) POR SECTORES



Fuente: Elaboración propia. Modelo DEA con MatlabToolbox.

Respecto al cambio en la eficiencia técnica (MTEC) para cada uno de los sectores analizados, en las Tablas 11, y 12 podemos ver que todos los sectores muestran cambios superiores a la unidad, en promedio, durante todo el periodo, con la excepción de los sectores aeronáutico, naval y materias primas.

En las Tablas 13, y 14 destacamos que el cambio en tecnología (MTC), o cambio en su frontera tecnológica, experimentado por cada uno de los sectores analizados, es el de la unidad, lo que indica que, en promedio, prácticamente no hay variación en el nivel de tecnología alcanzado.

Para concluir, en el Gráfico 8 se muestra la evolución temporal de la productividad total de los factores (índice de Malmquist) para cada sector de defensa, de forma individualizada. Es fácil detectar que cada sector de defensa muestra una evolución de la productividad específica, y relativamente diferente de un sector a otro, con escasas excepciones. Muestran también una evolución irregular a lo largo de todo el periodo, que bien merecen en un análisis más detenido en futuras investigaciones, en un intento de determinar sus causas últimas.

REFLEXIÓN FINAL

La metodología y el instrumental empleado en este trabajo es una de las más utilizadas en los últimos años por los investigadores para la medición de la eficiencia relativa entre empresas o sectores y la evolución de la productividad, dadas las características no paramétricas del modelo DAE. Las potencialidades de cálculo hoy disponibles, para resolver los problemas de programación lineal que se requieren, son cada vez más elevadas.

La medición de la eficiencia es importante para cualquier empresa y sector, no solamente para determinar su propia eficiencia y nivel de objetivos, sino también como punto de referencia para poder compararse con otras empresas similares del sector. Además, la posible comparación entre sectores de una misma industria, es también un factor de interés, en la medida que permite a las empresas que lo integran, saber en términos relativos las posibilidades de negocio que pueden esperar y su grado de competitividad.

El índice medio de la eficiencia técnica pura del modelo VRS de los nueve sectores de la industria de defensa tan solo alcanza el 47,8 %. Dado que el modelo

DEA utilizado está orientado al input, esto significa que en promedio existe una potencial infrautilización en los niveles de personal contratado por los diferentes sectores de defensa, del orden del 52,2 %. La eficiencia de escala presenta un nivel medio del 52,9%, lo que revela también que, en promedio, las dimensiones de estos sectores se encuentran en posiciones alejadas de sus niveles óptimos de operación, del orden de un 47,1%. Es necesario resaltar, no obstante, que los resultados de eficiencia anteriormente señalados son considerando los sectores de defensa a nivel agregado, observándose que, estudiándose cada sector por separado, las medidas de eficiencia técnica pura y la eficiencia de escala varía sensiblemente, en función del sector industrial que se trate.

En promedio, el índice de Malmquist o productividad total de los factores que se obtiene es del 96,77 %, lo que supone que, a nivel agregado, en el periodo analizado, ha habido un retroceso en el nivel de la productividad total de los factores del 3,23%. Con respecto a cambio en la eficiencia técnica, el valor medio alcanzado es del 97,22 %, lo que representa también un retroceso asociado a la eficiencia técnica del 2,78%, y respecto al cambio tecnológico, se llega a una variación del 99,54 %, lo que significa que, a nivel agregado, prácticamente no ha habido cambio tecnológico significativo durante dicho periodo.

Los resultados que se muestran en este trabajo tienen importantes limitaciones, ya que el modelo DEA utilizado emplea un solo input y un solo output, para realizar la medición de la eficiencia relativa entre los sectores considerados, siendo este un perfil demasiado simplificador para extraer conclusiones rotundas. No obstante, se estima que el ejercicio realizado es de utilidad en la medida que muestra las posibilidades de la metodología DEA, en un área donde escasean los trabajos empíricos, y puede servir de orientación para trabajos futuros, en la medida que se pueda disponer de mayores fuentes de información y de bases de datos más amplias.

Así mismo, y desde el punto de vista de un análisis más riguroso a los sectores industriales de defensa es necesario distinguir dos escenarios. Uno asociado a la metodología DEA propiamente dicha, que como se ha mostrado permite inferir que puede estar sucediendo en cuanto a eficiencia y productividad, en base a unos datos de partida. El otro escenario, vinculado al anterior, requiere intentar conocer porque está sucediendo lo que se muestra en el modelo. Es decir, se hace necesario ser capaz de medir, y al mismo tiempo, ser capaz de explicar las causas de lo que reflejan los resultados. En este trabajo, y de forma muy simplificada, se ha podido abordar solamente el primer escenario utilizando la metodología DEA. El análisis pormenorizado del otro escenario citado, demanda disponer de más información sobre las dinámicas productivas, estados financieros y demás particularidades de las empresas que integran cada sector.

REFERENCIAS

- Álvarez, A. (Coordinador) y diversos autores (2001), «La medición de la eficiencia y la productividad» Ediciones Pirámide. Madrid.
- Alvarez, I.C., Barbero, J. y Zofío, J.L. (2016) «A Data Envelopment Analysis Toolbox for MATLAB», Working Paper 3/2016, Economic Analysis Working Paper Series, UAM. Madrid.
- Boehmke, B. C. Johnson, A.W., Weir J.D. and Gallagher, M.A. (2017), «Measuring US Air Force Installation Support Activities via Data Envelopment Analysis». Military Operations Research, V22 N1.
- Bowlin, W. F. (1999) «Analysis of the Financial performance of defense business segments using data envelopment analysis». Journal of Accounting and Public Policy 18, pp. 287-310.
- Cano, J. A., Campo, E.A. y Baena, J.J. (2017) «Application of DEA in international markets election for export of goods», DYNA 84, pp 376-382, Medellín, Colombia.
- Charnes A., Clark C.T., Cooper, W.W. and Golany, B. (1982) «A Developmental Study of Data Envelopment e v Analysis in Measuring the Efficiency of Maintenance Units in the U.S. Air Forces» Center for Cybernetics Studies. The University of Texas. Austin, Texas.
- Coelli, T. (1996) «A Guide to DEAP versión 2.1: A data envelopment analysis (computer program)». Working paper 96/08, Centre for Efficiency and Productivity Analysis (CEPA), University of New England. Australia
- Coelli, T., Rao, P., O'Donnell, C. and Battese, G. (2005) «An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis», 2nd. Ed. Springer NY, USA.
- Cooper W.W., Charnes A. and Rhodes L. (1981) «Evaluating program and managerial efficiency: An application of data envelopment analysis to program follow through». Management Science 27, 1981.
- Cooper, W.W., Seiford, L.M and Tone, K. (2007) «Data Envelopment Analysis» 2nd. Edition, Springer, Texas, USA.
- Dirección General de Armamento y Material (Años 2010 al 2016) «Informe sobre la Industria de Defensa en España». MINISDEF.
- Docekalova, M. and Bockova, N. (2013) «The Use of Data Envelopment Analysis to Assess the R&D Effectiveness of the Czech Manufacturing Industry». Verslas: Teorija ir Praktika; Business: Theory and Practice, n° 14(4):308-314.
- Duch-Brown, N., Fonfría, A. and Trujillo-Baute, E., (2014) «Market Structure and Technical Efficiency of Spanish Defense Contractor», Defense and Peace Economics, Vol. 25 N° 1, 23-38.
- Emrouznejad, A. Parker, B and G. Tavares (2008): «Evaluation of research in efficiency and productivity: A survey and analysis od the first 30 years of scholarly literature in DEA». Journal of Socio-economics Planning Science, 42(3) 151-157.
- Farrell, M.J. (1957) «The Measurement of Productive Efficiency». Journal of the Royal
- García Alonso, J.M. (2010). «La Base Industrial de la Defensa en España». Ministerio de Defensa. Madrid.
- 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 Libro Editor, Cartagena, España.

Guzmán-Raja, I., De-Nieves-Nieto, C. y Briones-Peñalver, A.J. (2013) «Evaluación de la eficiencia en el sector de los Agronegocios en España: Un estudio empírico para la Región de Murcia». Cuadernos de Desarrollo Rural, Vol. 10 (71) 81-100. Bogotá, Colombia.

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

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

Malmquist, S. (1953) «Index Numbers and Indifference Surfaces». Trabajos de Estadística, n° 4, 209-242.

Martinez-Gonzalez, A. y Rueda-Lopez, N. (2012) «An Productivity and Efficiency Analysis of Security and Defence Technological and Industrial Base in Spain», Defense and Peace Economics, iFirstArticle, pp-25.

Stanickova, M. and Skokan, K. (2012) «Evaluation of EU Member States Efficiency by Data Envelopment Analysis Method», International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences, Issue 2, Volume 6. Statistical Society, n° 120, 253-290.

ANEXO

DATOS DE SECTORES DE LA INDUSTRIA DE DEFENSA ESPAÑA PERIODO 2010-2016				
SEGÚN INFORMES DE LA DGAM				
(LAS VENTAS DE DEFENSA SON LAS VENTAS AL MINISDEF + LAS EXPORTACIONES DE DEFENSA)				
(Millones €)				
DMUs	SECTORES	AÑO	Empleados X1 (personas)	Ventas de Defensa Y1 (Millones €)
1	Aeronáutico	2010	6.395	3.098,09
2	Armamento	2010	3.052	214,40
3	Auxiliar	2010	3.880	461,81
4	Electrónico e Informático	2010	3.038	232,91
5	Espacial	2010	630	86,42
6	Materias Primas	2010	156	44,45
7	Misiles	2010	353	57,59
8	Naval	2010	5.973	1.486,16
9	Vehículos Terrestres	2010	1.009	128,37
1	Aeronáutico	2011	8.185	3.205,68
2	Armamento	2011	231	72,57
3	Auxiliar	2011	3.186	311,44
4	Electrónico e Informático	2011	2.884	378,61
5	Espacial	2011	209	103,38
6	Materias Primas	2011	319	28,23
7	Misiles	2011	62	58,96
8	Naval	2011	6.516	1.168,70
9	Vehículos Terrestres	2011	2.015	435,36
1	Aeronáutico	2012	8.168	2.942,84
2	Armamento	2012	681	95,81
3	Auxiliar	2012	2.532	402,83
4	Electrónico e Informático	2012	2.520	314,34
5	Espacial	2012	343	117,67
6	Materias Primas	2012	21	0,01
7	Misiles	2012	93	36,06
8	Naval	2012	5.824	827,03
9	Vehículos Terrestres	2012	1.857	279,87
1	Aeronáutico	2013	8.241	3.575,64
2	Armamento	2013	725	54,07
3	Auxiliar	2013	2.449	307,98
4	Electrónico e Informático	2013	2.232	272,33
5	Espacial	2013	368	93,26
6	Materias Primas	2013	358	0,12
7	Misiles	2013	225	67,43
8	Naval	2013	5.777	598,17
9	Vehículos Terrestres	2013	1.247	262,66
1	Aeronáutico	2014	8.417	4.014,52
2	Armamento	2014	682	66,37
3	Auxiliar	2014	2.082	155,87
4	Electrónico e Informático	2014	2.174	279,07
5	Espacial	2014	364	104,47
6	Materias Primas	2014	474	1,23
7	Misiles	2014	139	52,57
8	Naval	2014	4.908	447,05
9	Vehículos Terrestres	2014	1.276	326,65
1	Aeronáutico	2015	8.562	4.090,94
2	Armamento	2015	1.012	168,16
3	Auxiliar	2015	2.197	317,55
4	Electrónico e Informático	2015	2.181	275,50
5	Espacial	2015	202	92,99
6	Materias Primas	2015	509	0,39
7	Misiles	2015	333	61,00
8	Naval	2015	3.655	459,09
9	Vehículos Terrestres	2015	2.212	423,74
1	Aeronáutico	2016	9.517	3.814,18
2	Armamento	2016	862	169,82
3	Auxiliar	2016	1.649	389,90
4	Electrónico e Informático	2016	2.126	318,73
5	Espacial	2016	176	82,94
6	Materias Primas	2016	281	0,33
7	Misiles	2016	368	65,88
8	Naval	2016	4.197	647,20
9	Vehículos Terrestres	2016	1.728	430,68

Fuente: Informes anuales «La Industria de Defensa en España» de la DGAM, y elaboración propia.