

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis de Competitividad de las Comunidades
Autónomas Españolas en base a la Industria
Regional mediante DEA

Autor: María Quirós Prieto

Tutores: Gabriel Villa Caro
Ángel Arcos Vargas

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas I
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis de Competitividad de las Comunidades Autónomas Españolas en base a la Industria Regional mediante DEA

Autor:

María Quirós Prieto

Tutores:

Gabriel Villa Caro

Profesor Titular

Ángel Arcos Vargas

Profesor Ayudante Doctor

Dpto. de Organización y Gestión de Empresas I

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Análisis de Competitividad de las Comunidades Autónomas Españolas en base a la
Industria Regional mediante DEA

Autor: María Quirós Prieto

Tutores: Gabriel Villa Caro
Ángel Arcos Vargas

El tribunal nombrado para juzgar el Trabajo arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

*A mi familia, a mis amigos,
por haber creído siempre en mí.*

Agradecimientos

Al ponerme a pensar a cuántas personas debería tener presentes mientras escribo estas líneas, me doy cuenta de lo afortunada que he sido y soy en la vida. Por un lado, porque la realidad es que, aunque haya pasado por rachas mejores y peores, como cualquiera, nunca podré decir que he tenido mala suerte en ella. Por otro, porque no me han faltado apoyos a los que aferrarme en ningún momento, a quienes confiar mis miedos, indecisiones y problemas y a quienes hacer partícipes también de mis logros.

En primer lugar, quiero dar las gracias a Gabriel Villa y Ángel Arcos, mis tutores, por guiarme y darme todos los consejos y herramientas a su alcance para que este trabajo haya sido posible.

A Gabriel, por darme la oportunidad de trabajar con él y de hacer un proyecto relacionado con una de mis asignaturas favoritas de la carrera, Herramientas para la Toma de Decisiones; por ser uno de los mejores profesores que he tenido, sin duda, durante estos años en la escuela; por su paciencia y dedicación durante todos estos meses, y por sus consejos y atención ante ciertos acontecimientos personales que han ocurrido en este tiempo.

A Ángel, por despertar mi interés por una asignatura que nunca habría imaginado que fuese a atraer mi atención, Política Industrial y Tecnológica. Por aceptar, como no, mi propuesta de unirse a este trabajo al decidir enfocararlo hacia algo relacionado con su asignatura y por ayudarme a que se ubicase en una temática tan interesante e ingenieril. Y por supuesto, agradecerle también su tiempo y gran interés en mi proyecto.

En segundo lugar y, como no podía ser de otra forma, a mis padres. Por habérmelo dado absolutamente todo, por sus incontables sacrificios, por facilitarme siempre las cosas en la medida de sus posibilidades. Por su comprensión cuando no he sido capaz de mantener el ritmo que siempre había llevado en mi vida estudiantil hasta antes de entrar en la escuela, a pesar de que ninguno de ellos sea ingeniero. Por haber creído y seguir creyendo en mí pase lo que pase. También al resto de mi familia: a mis abuelos, incansables y siempre pendientes de su nieta mayor; a mis tíos, unos que siempre han llevado por bandera ser mis padrinos, otros que me acogieron en su casa durante los dos primeros años de carrera y los más duros, como si me hubiese convertido de repente en su hija mayor.

Por último, a mis amigos, a los de Osuna y a los de la escuela. A los del pueblo, porque son los que han estado siempre conmigo y siguen ahí después de tantos años. A los de la escuela, porque no todo el mundo tiene la suerte de encontrar un grupo de personas en la universidad con quienes compartir tanto. Les debo una parte importante de mis éxitos en estos años, sin ellos este camino habría sido mucho más duro de lo que ha sido.

Este Trabajo Fin de Grado pone fin a una etapa de cambios, de retos, de altibajos... en la que los esfuerzos no siempre han tenido recompensa, pero eso mismo me ha enseñado a darle importancia a las cosas que realmente la tienen.

Aunque mi autoexigencia constante me nuble el pensamiento a veces, estoy satisfecha por todo lo conseguido. Y si no, ya están ellos ahí para recordarme que debo estarlo.

María Quirós Prieto

Marzo de 2019

Resumen

La observación de la información estadística regional relacionada con los costes laborales industriales y el nivel tecnológico de la industria de las comunidades autónomas españolas puso de manifiesto una realidad que no se corresponde con lo que cabría esperar.

Es razonable pensar que exista una relación directa entre ambas variables. En una comunidad en la que su tejido industrial está integrado por un mayor número de empresas que se ubican dentro de los sectores altamente tecnológicos (industria química, farmacéutica, de fabricación de productos electrónicos, industria automovilística...), las cuales ofrecen puestos de trabajo que requieren de mayor cualificación, los costes laborales industriales deberían ser más altos que en otra comunidad donde las actividades que se desarrollan no precisen de unos niveles tan altos de tecnología.

El propósito de este Trabajo Fin de Grado es, en vista de la incongruencia presentada, realizar un análisis de competitividad regional, basado en costes laborales y nivel tecnológico del tejido industrial, considerando también la inversión en I+D que realizan las comunidades y el número de ocupados en su industria para los años 2015 y 2016. Este estudio tratará de determinar qué comunidades son competitivas y cuáles no en base a lo expuesto, de forma que sea posible plantear una serie de medidas de actuación que ofrecerles a las comunidades no competitivas con la finalidad de que reorienten su gestión de recursos y encuentren alternativas cuya implementación y consideración les permita mejorar su estatus en los mercados y aumentar además su atractivo para la inversión.

El análisis se centra finalmente en el caso de Andalucía, una de las comunidades que presentan problemas de competitividad. Se exponen las medidas que recoge la Estrategia Industrial de Andalucía 2020 para mostrar un ejemplo de las líneas de actuación propuestas por un gobierno regional, y tratar de comprobar así la efectividad de las mismas. Además, se constata que muchas de ellas van destinadas a fomentar la inversión en I+D+i y, por ende, el desarrollo tecnológico de la industria, además de a cuestiones como promover el contacto entre empresas y la transmisión de información. Todo ello, muestra la bondad de las variables tomadas para el desarrollo de este Trabajo.

La herramienta que se ha empleado para la medida de la competitividad regional en España es el Análisis Envoltante de Datos (DEA), metodología basada en la evaluación de eficiencia que es ampliamente utilizada en aplicaciones como esta. Remarcar que el modelo DEA utilizado en este Trabajo es un modelo novedoso, que permite la inclusión de variables de tipo ratio sin que tengan que recibir un tratamiento previo a ser introducidas en él. Este y otros modelos han sido recientemente desarrollados y tienen por objetivo resolver esta flaqueza de DEA y cerrar así el debate que ha puesto en entredicho a esta técnica durante décadas.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Índice	xii
Índice de Tablas	xiv
Índice de Figuras	xvi
1 Introducción y motivación	1
2 Objeto del proyecto: Estudio de la competitividad de las comunidades autónomas españolas	3
2.1 <i>La competitividad</i>	3
2.2 <i>Indicadores y criterios de competitividad</i>	4
2.3 <i>La falta de relación directa entre los costes laborales del sector industrial y el nivel tecnológico de las CC. AA. Españolas</i>	7
3 Datos	13
3.1 <i>Información extraída directamente del INE</i>	13
3.1.1 Coste Laboral Medio	13
3.1.2 Gasto en I+D en Industria de Alta Tecnología	14
3.1.3 Número de Ocupados en la Industria Manufacturera	14
3.1.4 Número de ocupados en el Sector Industrial	17
3.2 <i>Datos obtenidos a partir de los anteriores</i>	17
3.2.1 Porcentajes de Industria de Alta y Media Tecnología	17
3.2.2 Número de Ocupados en el Sector Industrial (Promedio anual)	18
3.2.3 Coste Laboral Total en el Sector Industrial	19
3.2.4 Gasto Medio en I+D en Industria de Alta Tecnología	19
3.3 <i>Representación de la situación de las CC.AA. españolas en 2016 y justificación de la validez de la metodología DEA como herramienta en este estudio</i>	20
4 Introducción al DEA	25
4.1 <i>Conceptos básicos y utilidad del DEA</i>	25
4.2 <i>Tecnologías CRS y VRS. Orientación de entrada y de salida</i>	26
4.3 <i>Eficiencia de escala</i>	28
4.4 <i>Modelos tradicionales</i>	30
4.5 <i>Metodología DEA</i>	31
4.5.1 Modelo Ratio-Form	31
4.5.2 Modelo CCR-INPUT	32
4.6 <i>Comentarios sobre los demás modelos DEA</i>	37
4.7 <i>Entradas y salidas particulares</i>	38
5 Modelos que permiten la inclusión de variables ratio	39
5.1 <i>Tratamiento de las variables ratio con anterioridad al desarrollo de los nuevos modelos</i>	39

5.2	<i>Modelos matemáticos</i>	39
6	Modelado del problema para la resolución mediante DEA	43
6.1	<i>Definición del primer modelo DEA</i>	43
6.1.1	Variables del problema	43
6.1.2	Tecnología y orientación	45
6.2	<i>Cuestiones reveladas tras la resolución del primer modelo planteado</i>	45
6.3	<i>Modificaciones necesarias para la mejora del modelo</i>	46
6.3.1	Análisis de los nuevos planteamientos	47
6.3.2	Elección del modelo final	48
7	Modelos matemáticos y programación en LINGO	51
7.1	<i>Modelo matemático</i>	51
7.1.1	Modelo con Orientación de Entrada	52
7.2	<i>Programación en LINGO</i>	53
8	Resultados	59
8.1	<i>Resultados para el caso con Orientación de Salida</i>	59
8.2	<i>Interpretación de los resultados</i>	69
8.3	<i>Posibles medidas para alcanzar los objetivos anteriores</i>	72
8.4	<i>Análisis complementario</i>	73
9	El caso de Andalucía. Coherencia con la EIA 2020	83
9.1	<i>Rasgos de la industria andaluza</i>	83
9.2	<i>Objetivos de la EIA 2020</i>	86
9.3	<i>Coherencia de los resultados obtenidos con las medidas descritas en la EIA 2020</i>	88
10	Conclusiones	91
11	Referencias	93
	Anexo I. Obtención de los datos de porcentajes tecnológicos	97
	Anexo II. Modelos de los casos estudiados	103
	<i>II.I Planteamiento 1</i>	103
	II.I.I Orientación de salida	103
	II.I.II Orientación de entrada	104
	<i>II.II Planteamiento 2</i>	105
	II.II.I Orientación de salida	105
	II.II.II Orientación de entrada	106
	<i>II.III Planteamiento 3</i>	107
	II.III.I Orientación de salida	107
	II.III.II Orientación de entrada	108
	<i>II.IV Planteamiento 4</i>	109
	II.IV.I Orientación de salida	109
	II.IV.II Orientación de entrada	110
	<i>II.V Planteamiento 5</i>	111
	II.V.I Orientación de salida	111
	II.V.II Orientación de entrada	112
	<i>II.VI Modelos LINGO</i>	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación según niveles de tecnología.	8
Tabla 2. Datos de Coste Laboral Medio.	13
Tabla 3. Datos de Gasto en I+D.	14
Tabla 4. Datos de Número de Ocupados en la Industria Manufacturera (año 2015).	15
Tabla 5. Datos de Número de Ocupados en la Industria Manufacturera (año 2016).	16
Tabla 6. Datos de Número de Ocupados en el Sector Industrial.	17
Tabla 7. Datos de porcentajes de Alta y Media Tecnología.	18
Tabla 8. Datos de Número de Ocupados promedio en cada periodo en el sector industrial.	19
Tabla 9. Datos de Coste Laboral Total en el Sector Industrial.	19
Tabla 10. Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología.	20
Tabla 11. Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología.	21
Tabla 12. Variables en los distintos planteamientos.	48
Tabla 13. Comunidades ineficientes en los distintos planteamientos.	49
Tabla 14. Valores de Gamma. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias. (Año 2015)	60
Tabla 15. Valores de Gamma. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias. (Año 2016)	61
Tabla 16. Comunidades ineficientes año 2015.	63
Tabla 17. Comunidades ineficientes año 2016.	63
Tabla 18. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Coste Laboral.	64
Tabla 19. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Número de Ocupados.	65
Tabla 20. Coste Laboral Medio, calculado a partir del Coste Laboral Total entre el Total de Ocupados en la Industria.	66
Tabla 21. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Gasto en I+D en Alta Tecnología.	66
Tabla 22. Gasto Medio en I+D, calculado a partir del Gasto Total en I+D entre el Total de Ocupados en la Industria.	67
Tabla 23. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Porcentaje de Industria de Alta Tecnología.	68
Tabla 24. Variaciones porcentuales de los outputs.	68
Tabla 25. Variaciones porcentuales las variables relativas.	69
Tabla 26. Valores de Teta. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias (Año 2015)	74

Tabla 27. Valores de Teta. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias (Año 2016)	75
Tabla 28. Comunidades ineficientes.	77
Tabla 29. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Coste Laboral.	77
Tabla 30. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Número de Ocupados.	78
Tabla 31. Coste Laboral Medio, calculado a partir del Coste Laboral Total entre el Total de Ocupados en la Industria.	78
Tabla 32. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Gasto en I+D en Alta Tecnología.	79
Tabla 33. Gasto Medio en I+D, calculado a partir del Gasto Total en I+D entre el Total de Ocupados en la Industria.	80
Tabla 34. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable % de Industria de Alta Tecnología.	80
Tabla 35. Variaciones porcentuales de las variables.	80
Tabla 36. Variaciones porcentuales de las variables relativas.	81
Tabla 37. Cifra de negocios ramas manufactureras en 2012 y 2016.	85
Tabla 38. Datos incompletos sobre número de ocupados.	99
Tabla 39. Comunidades de las que se dispone de toda la información. Cálculo de los pesos.	100
Tabla 40. Estimación de los "missing data" a partir de los pesos.	101
Tabla 41. Suma ocupados por niveles tecnológicos. Total de personas sin contar el grupo 33.	102
Tabla 42. Porcentajes de niveles tecnológicos para cada comunidad.	102

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La compleja red de la competitividad	4
Figura 2. Criterios National European Competitiveness Index	5
Figura 3. Criterios Global Competitiveness Index	5
Figura 4. Tipos de indicadores de competitividad.	6
Figura 5. Información indicador de Competitividad Regional en España.	6
Figura 6. Indicador compuesto.	7
Figura 7. Cifra de negocios por sectores de alta y media-alta tecnología (año 2015).	10
Figura 8. Coste Laboral Total en la industria (año 2015).	11
Figura 9. Industria manufacturera, sueldos y salarios (año 2015).	11
Figura 10. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D. Valores iniciales.	22
Figura 11. Coste Laboral Medio frente a porcentaje de Alta Tecnología. Valores iniciales.	22
Figura 12. Porcentaje de Alta Tecnología frente a Gasto Medio en I+D. Valores iniciales.	23
Figura 13. Esquema de una DMU.	25
Figura 14. Tecnología CRS.	26
Figura 15. Tecnología VRS.	27
Figura 16. Fronteras CRS y VRS. Orientaciones de entrada y salida.	28
Figura 17. Eficiencias de escala.	29
Figura 18. Modelos DEA Tradicionales.	30
Figura 19. DMU de estudio, DMU_j .	31
Figura 20. Fase radial con una entrada y una salida.	34
Figura 21. Fase radial con dos entradas y salida constante.	35
Figura 22. Fase rectangular	36
Figura 23. Tentativa de modelo DEA.	43
Figura 24. Posibles enfoques del problema.	44
Figura 25. Modelo DEA.	45
Figura 26. Nuevos planteamientos del problema.	47
Figura 27. Modelo final: Planteamiento 6.	50
Figura 28. Código Lingo: Secciones SETS y DATA.	54
Figura 29. Código Lingo: Sección SUBMODEL.	56
Figura 30. Código Lingo: Sección CALC.	56

Figura 31. Resultados generados por Lingo. (Año 2015)	59
Figura 32. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D.	69
Figura 33. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D.	70
Figura 34. Porcentaje de Alta Tecnología frente a Gasto Medio en I+D.	70
Figura 35. Porcentaje de cifra de negocio de las ramas manufactureras de Andalucía	84
Figura 36. Modelo planteamiento 1.	103
Figura 37. Modelo planteamiento 2.	105
Figura 38. Modelo planteamiento 3.	107
Figura 39. Modelo planteamiento 4.	109
Figura 40. Modelo planteamiento 5.	111
Figura 41. Programa LINGO para el planteamiento 1 con orientación de salida.	113
Figura 42. Programa LINGO para el planteamiento 1 con orientación de entrada.	114
Figura 43. Programa LINGO para el planteamiento 2 con orientación de salida.	115
Figura 44. Programa LINGO para el planteamiento 2 con orientación de entrada.	116
Figura 45. Programa LINGO para el planteamiento 3 con orientación de salida.	117
Figura 46. Programa LINGO para el planteamiento 3 con orientación de entrada.	118
Figura 47. Programa LINGO para el planteamiento 4 con orientación de salida.	119
Figura 48. Programa LINGO para el planteamiento 4 con orientación de entrada.	120
Figura 49. Programa LINGO para el planteamiento 5 con orientación de salida.	121
Figura 50. Programa LINGO para el planteamiento 5 con orientación de entrada.	122

1 INTRODUCCIÓN Y MOTIVACIÓN

El sector industrial constituye un pilar fundamental en la economía de los países y regiones. Es bien sabido por los gobiernos que una de las claves para que un país o región sea competitivo en el mundo actual es la potenciación del sector secundario, debido a que su mayor robustez, comparado a la que tiene por ejemplo el sector servicios, permite a las economías afrontar de forma más exitosa las épocas de recesión y mantener posiciones ventajosas en los mercados. Por ello, resulta fácil de comprender el creciente interés de los países en las últimas décadas por impulsar su industria, objetivo que muchos gobiernos han tratado de alcanzar concentrando parte de sus esfuerzos en el desarrollo de políticas industriales.

En la actualidad, industria y tecnología caminan de la mano, e incluso se habla de que nos encontramos ante la cuarta revolución industrial. La Industria 4.0 está relacionada con la conectividad y la digitalización de las industrias, donde el manejo de grandes volúmenes de datos (Big Data), la integración de sistemas y los avances en robótica, entre otras tecnologías, juegan un papel fundamental.

Además, determinados sectores industriales se ubican dentro de un nivel tecnológico más elevado que otros, debido a que las actividades que desempeñan requieren de una tecnología más avanzada para ser llevadas a cabo, como pueden ser la industria farmacéutica, la química o las dedicadas a la fabricación de productos electrónicos o vehículos motorizados. Las regiones más competitivas suelen mostrar un tejido industrial en el que este tipo de sectores destacan sobre otros.

El desarrollo tecnológico de la industria necesita de una coordinación entre instituciones y empresas. La inversión en infraestructuras (redes de transportes, escuelas, redes de suministro...) es fundamental, además de en cuestiones como la educación y la I+D+i, que permiten formar trabajadores cualificados capaces de desarrollar nuevos avances y mejoras en los procesos y sistemas de producción.

Resulta lógico pensar que una mayor cualificación del personal conllevará un mayor coste laboral para las empresas, de forma que las industrias más tecnológicas deberían incurrir en costes laborales más altos que las que tienen un nivel de tecnología más bajo.

Al observar el conjunto de comunidades autónomas españolas, regiones como el País Vasco, Madrid o Cataluña son conocidas por hallarse entre las zonas más industrializadas de nuestro país, y no solo eso, sino que su historia ligada a este sector hace que su industria haya evolucionado hacia niveles de tecnología más avanzados que los de otras como Andalucía, Extremadura o los archipiélagos, en los que el sector secundario queda en un segundo plano en ocasiones debido a la predominancia de las actividades turísticas o agrarias.

Sin embargo, se ha constatado que en las regiones españolas el coste laboral industrial no está vinculado tan estrechamente al nivel tecnológico del tejido industrial. Es posible encontrar zonas en las que el nivel tecnológico es inferior al que existe en otras y, sin embargo, los costes laborales industriales son más elevados, así como casos en los que ocurre justamente lo contrario.

Tomando esta idea como motivación, el objeto de este Trabajo Fin de Grado no es otro que llevar a cabo un análisis de competitividad de las comunidades autónomas españolas en base a los costes laborales industriales y el nivel tecnológico de su tejido industrial para determinar qué comunidades son competitivas y cuáles no lo son y poder realizar una serie de recomendaciones en términos de política industrial que permitan a estas últimas mejorar su situación y su prosperidad económica. Finalmente, se profundizará un poco más en el caso concreto de Andalucía, analizándose algunas de las medidas más relevantes propuestas en la Estrategia Industrial de Andalucía 2020.

La herramienta que se emplea para llevar a cabo este estudio es el Análisis por Envoltura de Datos (DEA), una metodología realmente útil en aplicaciones relacionadas con la competitividad de países o regiones. La presencia de variables de tipo ratio en el entorno del caso de estudio precisará del empleo de unos modelos concretos que permiten la inclusión de este tipo de datos.

2 OBJETO DEL PROYECTO: ESTUDIO DE LA COMPETITIVIDAD DE LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS ESPAÑOLAS

2.1 La competitividad

Es posible encontrar definiciones del término “competitividad” de lo más variadas según en qué contexto se esté analizando e interpretando. López, Méndez y Dones (2009) la definen desde tres puntos de vista:

“La competitividad, en términos generales, se refiere a la habilidad de una entidad de mantener una posición destacada en determinados mercados, que le permita un crecimiento y desarrollo económico y social elevado y sostenido.

La definición empresarial se refiere a cómo las naciones crean y mantienen un entorno que sostiene la competitividad de sus empresas. Para las empresas, ser competitivas significa estar presentes en los mercados, obteniendo beneficios, consolidando su presencia y su capacidad de producir bienes y servicios que son de mandados en los mercados.

Desde el punto de vista académico, la competitividad se relaciona con un campo del conocimiento económico que analiza los hechos y políticas que determinan la capacidad de una nación para crear y mantener un entorno que propicie una mayor creación de valor para sus empresas y mayor prosperidad para su población.” (p.126).

Las diversas maneras de las que se puede definir la competitividad permiten elegir dentro de un amplio abanico de posibilidades qué información utilizar para estimarla: los flujos comerciales (importaciones y exportaciones), la tecnología, el desempleo, la calidad de las infraestructuras, la eficiencia de las empresas y el gobierno, la fortaleza del tejido industrial, los precios relativos de los factores de producción... La mayoría de estas variables, según Muñoz Machado, A. (2013), contribuyen al incremento de la Productividad Total de los Factores¹ (PTF) la cual, refiriéndonos a un país, tiene un protagonismo indudable en el crecimiento del Producto Nacional (PN)², superando al efecto que tienen los factores capital económico (K) y población activa (L), como indica la función de Cobb-Douglas:

$$PN = PTF \cdot L^{\alpha} \cdot K^{1-\alpha}$$

donde α es un coeficiente empírico menor que la unidad.

La PTF está ligada a la competitividad mediante el nexo de las economías de escala. Grosso modo, estas se basan en que el crecimiento, por ejemplo, de una empresa, invirtiendo en máquinas más modernas, mejorando sus instalaciones, expandiéndose, permita una producción en mayores cantidades, de forma que el coste de producción se abarate gracias a la reducción de los costes fijos. Las políticas industriales, de las que se hablará en capítulos posteriores, buscan contribuir a las economías de escala, para aumentar la PTF y, por tanto, impulsar la competitividad de una región.

¹ “La productividad total de los factores es la diferencia entre la tasa de crecimiento de la producción y la tasa ponderada de incremento de los factores (trabajo, capital, ...).” Fuente: Wikipedia.

² El Producto Nacional (PN) se puede definir como la riqueza que genera un país a partir los factores de producción que posee en un año, sea cual sea el lugar donde se genere esa riqueza. Se diferencia del Producto Interior Bruto (PIB) en que este se refiere a la riqueza que produce una nación dentro de sus fronteras en un periodo de un año, con independencia de quién sea el propietario de los factores. Fuente: Muñoz Machado, A. (2013)

2.2 Indicadores y criterios de competitividad

Las variables de las que depende la PTF según Muñoz Machado A. (2013) son:

- Las infraestructuras
- El capital humano
- La inversión en I+D+i
- La cultura y los valores
- Las instituciones
- El entorno competitivo
- La estabilidad regulatoria
- El mercado de trabajo
- El espíritu emprendedor
- Los modelos de gestión

Siguiendo a López et al. (2009), una región será competitiva si es capaz de mejorar en el aprovechamiento de sus recursos naturales, de su capital humano, si cuenta con instituciones y organizaciones eficientes e innovadoras... Una manera de dirigirse hacia el contexto que se describe reside en que los pilares señalados anteriormente realicen su función y las regiones sean capaces de sacar provecho de sus ventajas comparativas y convertirlas así en ventajas competitivas.

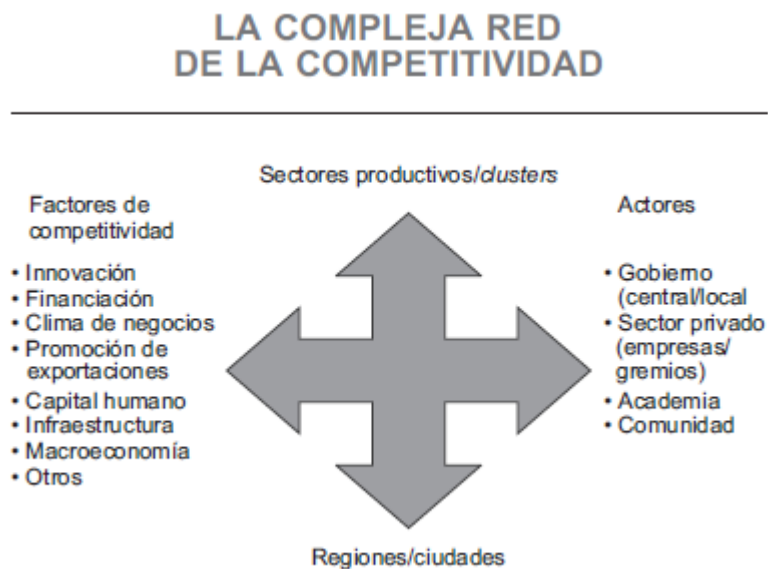


Figura 1. La compleja red de la competitividad

Fuente: M. Porter (2001)

Dado que la competitividad está influida por múltiples factores, es fundamental apoyarse en un número considerable de indicadores para medirla de la forma más precisa posible. A nivel internacional, se podrían citar algunos como el *National European Competitiveness Index* de Robert Huggins Associates Ltd. o el *Global Competitiveness Index* del World Economic Forum. Particularmente, cada uno de ellos tiene en cuenta una serie de criterios para evaluar la competitividad que agrupan en categorías (o subindicadores):

**INFORMACIÓN INCLUIDA
EN EL INDICADOR NATIONAL
EUROPEAN COMPETITIVENESS INDEX**

Grupos	Indicadores parciales
I. Creatividad	Empleo en I+D, gasto en I+D, patentes, empleo en servicios TIC
II. Desempeño económico	PIB per cápita, productividad, tasa de paro, salarios, tasa de actividad económica
III. Infraestructura y accesibilidad	Carreteras, ferrocarriles, tráfico aéreo, vehículos, acceso líneas banda ancha, servidores Internet

Figura 2. Criterios National European Competitiveness Index

Fuente: López et al. (2009)

**INFORMACIÓN INCLUIDA
EN EL INDICADOR GLOBAL
COMPETITIVENESS INDEX**

Grupos	Indicadores parciales
I. Datos básicos	Instituciones públicas y privadas, infraestructura general y específica, estabilidad macroeconómica, salud y educación primaria.
II. Eficacia	Educación superior, mercado de bienes, mercado laboral, mercado financiero, preparación tecnológica, tamaño del mercado.
III. Innovación	Innovación, sofisticación empresarial.

Figura 3. Criterios Global Competitiveness Index

Fuente: López et al. (2009)

A nivel regional, y de forma similar encontramos otra serie de indicadores como el *European Competitiveness Index* (ECI) donde se compara la competitividad de las distintas regiones de los países europeos. Como indican López et al. (2009) en la fecha y tras la observación de los resultados plasmados en el *European Competitiveness Index Report* de Robert Huggins Associates Ltd., las regiones españolas están a la cola en el ranking global junto con otras de Grecia, Portugal o Italia. Los motivos son achacados a la falta de infraestructura industrial y económica y a que las ayudas económicas que perciben no son empleadas en impulsar el desarrollo de dichas infraestructuras ni en formación de su capital humano, este último un elemento clave para la prosperidad de cualquier región.

Estrechando el cerco a nuestro país, resulta interesante referirse a los estudios que citan en su artículo López et al. (2009), pues coinciden en la elección de criterios similares para la medición y análisis de la competitividad de los territorios españoles.

- Reig, E. (2007): Se distinguen dos tipos de indicadores de competitividad: indicadores de resultados e indicadores de factores causales o determinantes.

I. Indicadores de Resultados: relacionados con la descomposición del PIB per cápita.
<ul style="list-style-type: none"> • Productividad del trabajo • Proporción de personas ocupadas sobre población activa • Tasa de actividad • Tasas de crecimiento del empleo
II. Indicadores de factores determinantes: los que influyen en la capacidad competitiva de una región.
<ul style="list-style-type: none"> • Infraestructuras y accesibilidad (educación, formación, otras infraestructuras...) • Recurso humano • Innovación tecnológica (gasto I+D...) • Entorno productivo

Figura 4. Tipos de indicadores de competitividad.

Fuente: Reig, E. (2007), López et al. (2009) y elaboración propia.

- López, A. M. (2008): Clasifica la información en cinco apartados para la elaboración de un indicador sintético³.

Información incluida en el Indicador de Competitividad Regional en España (ISCRE) 2007
I. Indicador sintético Aspectos Macroeconómicos
1. Producto interior bruto (PIB) per cápita.
2. Productividad del factor trabajo (PIB / ocupados).
3. Apertura exterior (Exportaciones + Importaciones / PIB).
II. Indicador sintético Mercado Laboral
4. Coste Laboral por trabajador.
5. Nivel de empleo (Ocupados / Población Activa).
6. Nivel de cualificación (% Ocupados con estudios superiores).
III. Indicador sintético Desarrollo Empresarial
7. Dinamicidad empresarial (Número empresas / Ocupados).
8. Innovación empresarial (Gasto empresarial en innovación / PIB).
9. I+D empresarial (Gasto I+D / PIB).
10. Trabajadores en I+D (% Trabajadores I+D / Ocupados).
IV. Indicador sintético Infraestructura
11. Infraestructura básica (Km. Carreteras / Superficie).
12. Infraestructura tecnológica (% Población con acceso internet).
13. Infraestructura equipamiento (% Hogares con PC).
14. Infraestructura educacional (% Población con estudios superiores).
V. Indicador sintético Innovación
15. Patentes (Patentes / Ocupados).
16. Gasto en I+D (Gasto total I+D / PIB).
17. Intercambios comerciales (Exportaciones + Importaciones TIC / Total X+M).
18. Empresas Innovadoras (% Empresas Innovadoras / Total empresas).

Figura 5. Información indicador de Competitividad Regional en España.

Fuente: López, A. M. (2008)

³ Un indicador sintético es aquel que se obtiene de la agregación de una serie de indicadores parciales relacionados con la economía que se analiza mediante técnicas estadísticas.

- Villaverde, J. (2007): Hace referencia a dos enfoques: indicadores simples, que toman como referencia el PIB o la productividad; e indicadores compuestos o sintéticos, que recogen el comportamiento de una serie de indicadores parciales o individuales. El indicador compuesto elaborado por Villaverde, J. se construye a partir de variables relacionadas con productividad, gasto en I+D, tasas de ocupación y paro, empleo o Internet.

VARIABLES UTILIZADAS EN EL CÓMPUTO DEL INDICADOR COMPUESTO

Variable	Siglas	Unidades de medida
Productividad del trabajo	PL	Euros de 2000 por ocupado
Productividad total de los factores.....	PTF	
Capital físico privado productivo	CP	Miles de euros de 2000 por ocupado
Capital físico público.....	K	Miles de euros de 2000 por habitante
Capital tecnológico interior.....	CT	Euros de 2000 por ocupado
Tasa de paro	TP	Porcentaje
Tasa de ocupación.....	TO	Porcentaje
Tasa de actividad.....	TA	Porcentaje
Empleo en actividades de I+D en empresas	EIDE	Ocupados por habitante
Empleo en actividades de I+D en el Gobierno	EIDG	Ocupados por habitante
Empleo en actividades de I+D en educación superior.....	EIDedu	Ocupados por habitante
Gasto en actividades de I+D en empresas.....	GIDE	Euros de 2000 por habitante
Gasto en actividades de I+D en el Gobierno.....	GIDG	Euros de 2000 por habitante
Gasto en actividades de I+D en educación superior.....	GIDedu	Euros de 2000 por habitante
Escolarización	Esc.	Indicador propio
Usuarios de Internet.....	Int.	Porcentaje
Penetración de la banda ancha	ADSL	Porcentaje

Figura 6. Indicador compuesto.

Fuente: Villaverde, J. (2007)

Estos indicadores les permiten establecer un ranking de competitividad de los territorios españoles. En los tres, las regiones más competitivas resultan ser la Comunidad de Madrid, el País Vasco y Navarra, existiendo una discrepancia en las menos competitivas a excepción de Extremadura, que se sitúa a la cola en todos los casos.

2.3 La falta de relación directa entre los costes laborales del sector industrial y el nivel tecnológico de las CC. AA. Españolas

La coincidencia en las variables que se emplean en el análisis de la competitividad regional en los anteriores estudios da una idea de qué factores influyen en ella sin lugar a duda. Aunque probablemente haya otros que desde cierto punto de vista también puedan ser considerados, este análisis permite comprobar la bondad de los criterios que se decide tomar en este trabajo para la evaluación de la competitividad:

- Coste laboral
- Ocupados en la industria
- Nivel tecnológico de la industria
- Gasto en I+D en alta tecnología

La finalidad del presente proyecto es el estudio de la competitividad de las distintas regiones que componen la geografía española, en vista de que el nivel tecnológico con el que cuentan en muchos casos parece no guardar una relación directa con los costes laborales del sector industrial.

La industria manufacturera engloba actividades muy diversas. Según la Clasificación Nacional de Actividades Económicas (CNAE) a dos dígitos, los sectores que pertenecen a la industria manufacturera corresponden a los grupos del 10 al 33⁴. La tabla a continuación los relaciona y los sitúa dentro del nivel tecnológico en el que se encuentra su actividad productiva en base a la clasificación de Eurostat (columna izquierda). A la derecha se indica la clasificación establecida en el trabajo, de forma que la alta tecnología incluye los sectores de alta y media-alta tecnología según Eurostat y el nivel medio de tecnología coincide con las actividades de media-baja tecnología.

⁴ Se excluye el grupo 33 (Reparación e instalación de maquinaria y equipo) porque se considera que se trata de una actividad más relacionada con el sector servicios.

Clasificación Eurostat		Clasificación propia	
Alta tecnología	21 Fabricación de productos farmacéuticos	Alta tecnología	
	26 Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos		
Media - alta tecnología	20 Industria química		
	27 Fabricación de material y equipo eléctrico		
	28 Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p. (no comprendidos en otras partes)		
	29 Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques		
	30 Fabricación de otro material de transporte		
Media - baja tecnología	19 Coquerías y refino de petróleo		Media tecnología
	22 Fabricación de productos de caucho y plásticos		
	23 Fabricación de otros productos minerales no metálicos		
	24 Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones		
	25 Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo		
Baja tecnología	10 Industria de la alimentación	Baja tecnología	
	11 Fabricación de bebidas		
	12 Industria del tabaco		
	13 Industria textil		
	14 Confección de prendas de vestir		
	15 Industria del cuero y del calzado		
	16 Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería		
	17 Industria del papel		
	18 Artes gráficas y reproducción de soportes grabados		
	31 Fabricación de muebles		
	32 Otras industrias manufactureras		

Tabla 1. Clasificación según niveles de tecnología.

Fuente: Eurostat (ver Panorama de la industria en la Comunidad de Madrid (2018)) y elaboración propia.

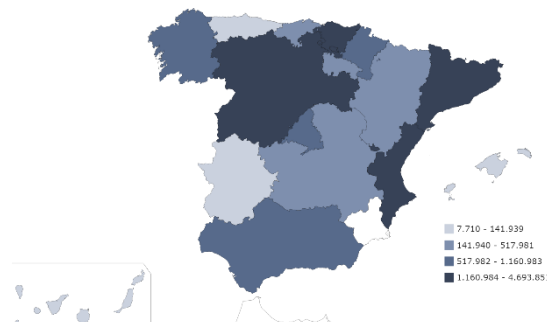
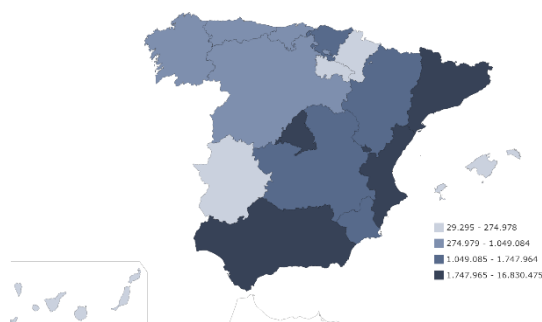
Un ejemplo claro de que el nivel tecnológico de las comunidades no se corresponde con los costes laborales lo encontramos fijándonos en las comunidades de Madrid y el País Vasco. A modo ilustrativo, se presentan las

cifras de negocios correspondientes a los sectores industriales de alta y media-alta tecnología en ambas comunidades usando la información disponible en el Instituto Nacional de Estadística (INE) (se representan los sectores de los que el INE ofrece el dato para ambas regiones).

Cifra de negocios total Industria Manufacturera

Madrid: 39.067.045 m€

País Vasco: 44.580.016 m€



20. Industria química

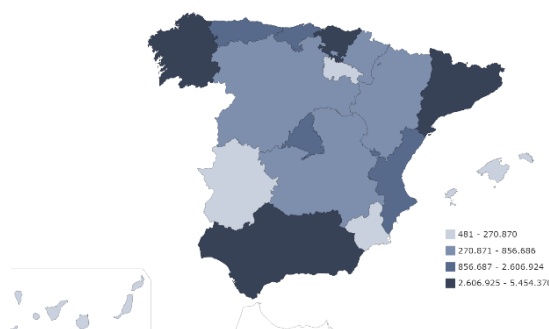
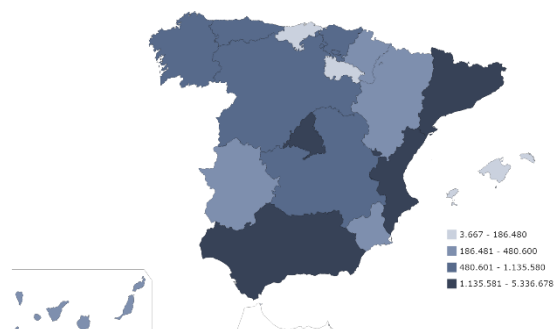
Madrid: 2.176.006 m€ (5,57%)

País Vasco: 1.193.006 m€ (2,68%)

22. Fabricación de productos de caucho y plásticos

Madrid: 904.025 m€ (2,31%)

País Vasco: 2.920.379 m€ (6,55%)



23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos

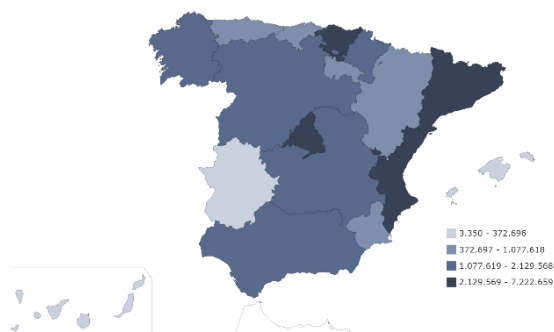
Madrid: 1.441.111 m€ (3,69%)

País Vasco: 771.281 m€ (1,73%)

24. Metalurgia, fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones

Madrid: 929.204 m€ (2,38%)

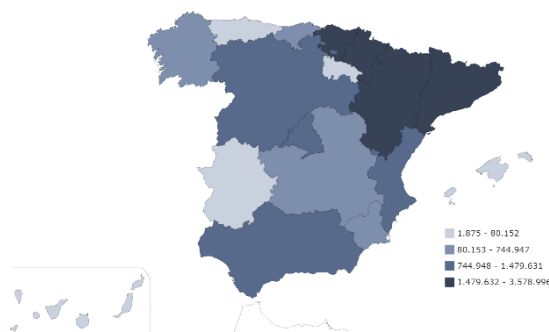
País Vasco: 5.927.249 m€ (13,30%)



25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo

Madrid: 2.253.357 m€ (5,77%)

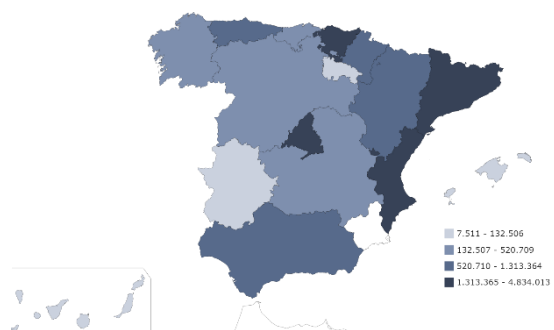
País Vasco: 6.103.601 m€ (13,69%)



27. Fabricación de material y equipo eléctrico

Madrid: 1.673.733 m€ (4,28%)

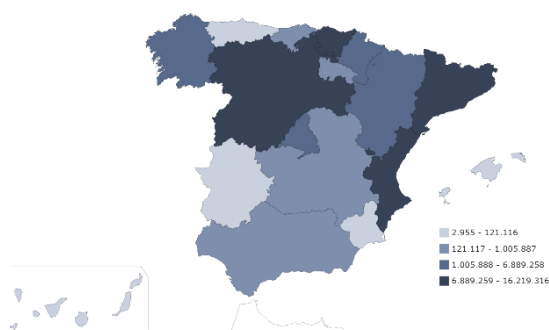
País Vasco: 1.981.803 m€ (4,45%)



28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.

Madrid: 2.417.705 m€ (6,19%)

País Vasco: 4.266.751 m€ (9,57%)



29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques

Madrid: 4.027.188 m€ (10,31%)

País Vasco: 6.390.786 m€ (14,34%)

Figura 7. Cifra de negocios por sectores de alta y media-alta tecnología (año 2015).

Grupos clasificación CNAE 2009.

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=24750&L=0>) y elaboración propia.

El beneficio que generan las industrias en todos estos sectores respecto al total de la industria manufacturera es superior en la región vasca, excepto los correspondientes a los grupos 20 y 23 según la clasificación CNAE 2009 a dos dígitos. Por ello, se podría decir que el País Vasco se encuentra por delante de la Comunidad de Madrid en cuanto a desarrollo de su industria altamente tecnológica.

Es razonable pensar que en una comunidad donde el nivel tecnológico es más elevado, sea también mayor el coste laboral industrial medio, ya que estas actividades requieren de trabajadores cualificados y con una formación más completa. Sin embargo, esto no ocurre así. Remitiéndonos de nuevo al INE, por ejemplo, en el año 2015, el coste medio de un trabajador en la Comunidad de Madrid asciende a 45.432 € al año, mientras que en el País Vasco se queda en los 42.853 € anuales. Ambos valores se encuentran muy por encima de la media española, 36.798 €/año, y dentro del rango más alto. Sin embargo, no resulta lógico que el coste laboral en la comunidad vasca sea menor que en la madrileña, ya que en la primera el VAB generado por la industria altamente tecnológica es bastante mayor a la vista y, por lo tanto, el coste de un trabajador debería ser más alto, lo que implicaría a su vez que percibiese un sueldo mayor.

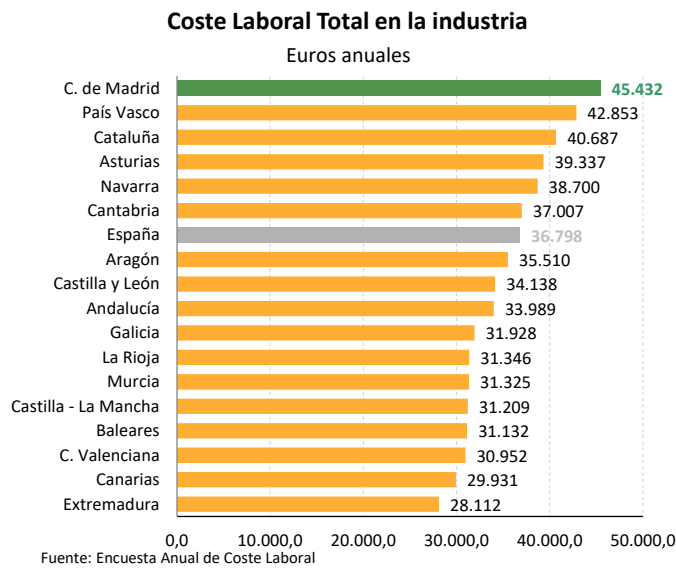


Figura 8. Coste Laboral Total en la industria (año 2015).

Fuente: Encuesta Anual de Coste Laboral, INE (<https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9131>). Ver Panorama de la Industria en la Comunidad de Madrid (2018).

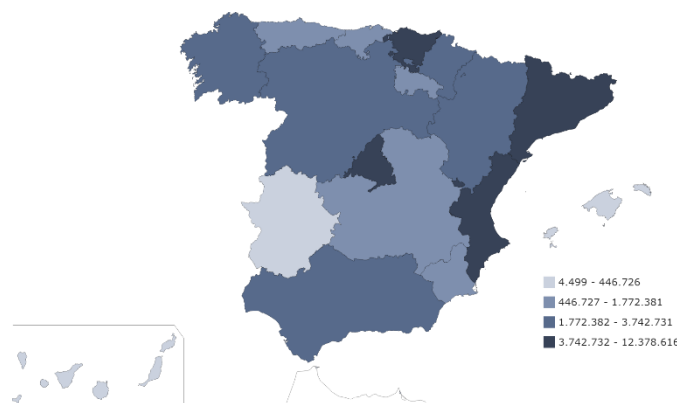


Figura 9. Industria manufacturera, sueldos y salarios (año 2015).

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=24750&L=0>)

De la idea expuesta en el ejemplo surge la motivación del trabajo: determinar qué comunidades son más competitivas, dada esta falta de relación directa entre los costes laborales y el nivel tecnológico de la industria, teniendo también en cuenta el importe que destinan a I+D dichas comunidades y el número de personas ocupadas en este sector.

La metodología DEA permitirá identificar las regiones eficientes (competitivas) y las que no lo son. Posteriormente, se pondrá el foco en el análisis de estas últimas, para ver a cuáles de las eficientes pueden tratar de asemejarse para llegar a ser también competitivas y de qué forma podrían hacerlo, mediante una serie de recomendaciones en términos de política industrial.

3 DATOS

3.1 Información extraída directamente del INE

La información estadística requerida para la valoración de la eficiencia o competitividad de las CC. AA. de España ha sido tomada en su totalidad de las bases de datos del Instituto Nacional de Estadística (INE). Corresponde a los años 2015 y 2016, dado que son los dos últimos periodos de los que se tienen las cifras relativas a todas las variables. Tampoco se consideran los datos de años anteriores ya que para algunas variables solo están disponibles los resultados nacionales y no por comunidades autónomas.

En primer lugar, se expondrán las tablas de datos extraídos directamente del INE, y posteriormente aquellos obtenidos a partir de los anteriores.

Del estudio se descarta la Región de Murcia por la razón que se indicará en el apartado 3.2.1.

3.1.1 Coste Laboral Medio

	Coste Laboral Medio Industria Manufacturera (€)	
	2015	2016
Andalucía	33.989	33.862
Aragón	35.510	35.597
Asturias	39.337	41.873
Baleares	31.132	30.402
Canarias	29.931	30.183
Cantabria	37.007	36.748
Castilla y León	34.138	34.397
Castilla - La Mancha	31.209	31.295
Cataluña	40.687	40.602
Comunidad Valenciana	30.952	30.797
Extremadura	28.112	27.729
Galicia	31.928	32.710
Comunidad de Madrid	45.432	46.582
Navarra	38.700	38.842
País Vasco	42.853	43.284
La Rioja	31.346	31.774

Tabla 2. Datos de Coste Laboral Medio.

Fuente: INE (<https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9131>) y elaboración propia.

3.1.2 Gasto en I+D en Industria de Alta Tecnología

	Gasto I+D Alta Tecnología (millones de €)	
	2015	2016
Andalucía	116,1	149,9
Aragón	89,5	84,4
Asturias	9,6	8,8
Baleares	1,2	2,1
Canarias	0,6	0,6
Cantabria	13,5	12,7
Castilla y León	70,0	98,7
Castilla - La Mancha	58,3	63,9
Cataluña	727,4	826,0
Comunidad Valenciana	123,8	128,2
Extremadura	1,0	1,1
Galicia	64,4	60,4
Comunidad de Madrid	670,5	661,6
Navarra	72,2	75,1
País Vasco	267,6	282,8
La Rioja	2,8	2,2

Tabla 3. Datos de Gasto en I+D.

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t14/p057/a2015/10/&file=01010.px&L=0>; <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t14/p057/a2016/10/&file=01010.px&L=0>) y elaboración propia.

3.1.3 Número de Ocupados en la Industria Manufacturera

Año 2015
(personas)

	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Navarra	País Vasco	Ríoja
10. Industria de la alimentación	42.744	9.287	6.252	3.089	7.765	4.973	31.618	17.713	70.600	27.343	8.439	25.767	16.364	10.645	10.126	3.965
11. Fabricación de bebidas	5.105	1.249	595	833	2.045	143	3.945	5.115	9.202	3.786	820	2.578	3.597	1.368	2.990	2.516
12. Industria del tabaco					.	.				43	.		399			.
13. Industria textil	2.294	563	231	515	350	448	1.191	902	15.632	12.050	157	1.830	1.862	335	657	445
14. Confección de prendas de vestir	4.322	957	456	165	147	149	974	3.006	11.251	3.940	410	9.590	3.673	266	652	338
15. Industria del cuero y del calzado	2.964	1.202	.	1.282	.	.	.	.	2.857	23.290	.	.	809	205	103	3.143
16. Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	4.367	1.903	854	1.064	646	788	4.323	3.509	6.940	6.395	1.126	7.027	2.382	1.044	2.911	953
17. Industria del papel	2.328	2.421	458	122	441	286	2.142	1.276	12.950	6.929	198	1.564	5.053	1.963	3.415	492
18. Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	4.855	1.429	814	1.195	1.515	468	1.645	1.522	15.839	6.146	543	2.710	15.086	910	2.677	401
19. Coquerías y refino de petróleo	.		.				.	.	.	.	.	.	1.205		.	.
20. Industria química	6.155	3.622	1.629	222	377	1.154	1.952	3.342	33.699	13.535	617	1.454	6.108	866	3.726	485
21. Fabricación de productos farmacéuticos	.	1.503	.	73	.	.	2.092	1.310	20.684	217		584	9.285	1.327	.	.
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	5.038	3.513	872	83	424	1.146	7.847	2.374	21.857	16.407	644	3.738	5.954	3.189	11.984	2.176
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	9.684	2.564	2.285	1.260	1.377	973	6.374	4.754	10.033	23.833	1.432	5.739	5.656	1.621	4.144	972
24. Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	4.789	2.175	7.839	9	101	2.426	2.747	1.275	6.043	2.877	543	4.136	2.021	2.759	17.061	64
25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	20.175	7.903	7.718	2.305	2.589	4.413	11.206	10.644	47.198	18.771	2.744	13.646	17.579	7.447	38.615	2.664
26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1.647	1.685	111	75	47	123	240	586	7.955	1.953	30	962	5.531	532	4.511	9
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	4.481	6.851	604	25	121	1.489	1.919	2.343	13.155	3.515	167	1.400	7.475	4.626	11.094	181
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	5.875	8.018	1.920	116	101	1.290	3.346	2.570	24.329	8.253	789	3.272	11.368	5.202	20.118	641
29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	3.551	13.698	791	39	67	2.560	18.235	2.396	37.544	17.833	99	12.962	9.782	11.607	11.700	1.037
30. Fabricación de otro material de transporte	9.110	1.052	777	105	35	59	.	2.410	.	.	.	3.735	11.003	143	.	.
31. Fabricación de muebles	7.489	3.609	514	884	853	214	1.946	4.235	7.783	8.661	632	3.199	5.440	1.014	2.388	1.223
32. Otras industrias manufactureras	4.217	1.517	621	1.134	614	365	916	1.161	10.628	5.746	717	1.602	7.690	678	2.074	118
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	10.336	2.274	4.134	2.587	2.818	1.174	2.850	1.833	14.694	5.074	496	7.363	11.600	2.044	5.653	281
C. Industria manufacturera - grupo 33	153.576	76.721	35.526	14.596	20.297	23.861	105.560	76.838	389.971	213.667	20.454	108.429	155.322	57.746	160.614	22.586

Tabla 4. Datos de Número de Ocupados en la Industria Manufacturera (año 2015).

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=24750>) y elaboración propia.

Año 2016
(personas)

	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Navarra	País Vasco	Rioja
10. Industria de la alimentación	46.303	10.130	6.411	3.392	7.913	5.423	33.112	18.791	75.340	29.332	9.460	27.192	17.745	11.686	10.608	4.228
11. Fabricación de bebidas	5.635	1.340	574	828	2.247	133	4.557	5.682	9.343	4.482	873	2.894	3.691	1.666	3.537	2.695
12. Industria del tabaco	0	0	0	0	.	.	0	0	0	.	.	0	255	0	0	.
13. Industria textil	2.625	713	272	536	349	481	1.157	929	16.686	12.752	147	2.036	2.157	340	575	317
14. Confección de prendas de vestir	4.642	853	431	166	203	169	963	3.023	11.411	4.492	305	9.306	3.974	303	861	378
15. Industria del cuero y del calzado	2.810	1.233	31	1.414	22	7	147	3.574	2.926	21.866	17	296	976	191	113	3.373
16. Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	4.770	1.881	791	1.104	547	788	4.146	3.547	7.302	6.326	1.153	7.273	2.564	1.132	2.585	935
17. Industria del papel	2.537	2.250	594	124	448	360	2.226	1.522	13.198	7.021	242	1.639	4.847	2.009	3.343	436
18. Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	5.291	1.280	743	960	1.348	381	1.882	1.551	15.657	6.438	584	2.976	15.009	1.029	3.066	396
19. Coquerías y refino de petróleo	.	0	.	0	0	0	.	1.201	1.217	.	.	.	1.293	0	.	.
20. Industria química	6.195	3.481	1.586	202	448	1.197	2.061	3.679	35.061	14.218	678	1.548	6.757	900	4.190	430
21. Fabricación de productos farmacéuticos	.	1.492	.	75	.	.	2.200	1.338	21.784	338	0	.	9.624	1.214	.	.
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	5.244	2.999	793	118	393	1.177	8.673	2.413	21.981	17.859	721	3.421	6.095	3.493	13.046	2.213
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	10.449	3.061	2.256	1.245	1.604	1.018	6.824	5.187	10.754	24.474	1.545	6.064	5.779	1.554	4.191	793
24. Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	4.714	2.336	7.874	11	110	2.873	2.808	1.449	6.227	2.987	525	4.556	2.564	2.887	17.310	70
25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	21.132	8.755	8.191	2.457	2.432	4.693	12.279	10.141	49.096	19.886	2.931	14.874	18.369	7.652	40.569	2.722
26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1.757	1.755	111	57	41	149	225	637	8.530	2.120	42	892	5.422	605	.	.
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	5.002	7.028	633	27	116	1.453	2.611	2.726	13.412	4.463	161	1.292	6.460	4.401	11.109	206
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	6.511	7.927	2.395	125	120	1.072	3.379	2.981	25.240	8.917	840	3.649	11.934	5.346	20.095	677
29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	3.718	15.522	764	32	118	2.871	19.955	2.548	37.828	17.325	118	13.911	10.094	11.954	13.975	1.066
30. Fabricación de otro material de transporte	9.153	1.073	836	91	.	76	.	2.482	3.060	1.355	.	4.000	11.789	154	.	.
31. Fabricación de muebles	8.565	3.671	525	938	799	267	1.986	4.422	7.555	9.028	808	3.393	5.470	998	2.505	1.118
32. Otras industrias manufactureras	4.744	1.548	598	1.058	646	414	1.069	1.181	11.063	5.567	774	1.781	8.041	743	2.212	111
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	10.711	2.108	4.383	2.978	2.881	1.384	3.137	1.677	15.233	5.135	548	7.458	13.382	2.139	6.300	370
C. Industria manufacturera - grupo 33	164.192	80.327	36.744	14.957	20.624	25.447	113.033	81.004	404.671	222.167	22.250	114.313	160.911	60.258	168.332	22.882

Tabla 5. Datos de Número de Ocupados en la Industria Manufacturera (año 2016).

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=28388&L=0>) y elaboración propia

3.1.4 Número de ocupados en el Sector Industrial

Se refiere al número de personas empleadas en el sector secundario, tanto en las actividades que pertenecen a la industria manufacturera como en las que no.

Número de ocupados en el Sector Industrial (miles de personas)								
	2015				2016			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Andalucía	218,8	238,6	236,3	221,3	231,7	247,0	268,0	255,8
Aragón	103,8	111,1	113,1	111,3	110,4	103,7	102,4	104,3
Asturias	58,3	56,6	58,3	52,3	53,4	57,0	56,6	62,7
Baleares	36,1	37,2	40,3	37,7	36,8	35,4	35,8	33,6
Canarias	33,9	35,6	36,5	37,1	39,1	40,0	43,7	39,0
Cantabria	33,9	34,9	35,7	34,5	35,5	36,7	36,9	39,2
Castilla y León	151,6	151,3	155,9	154,2	157,6	162,0	167,6	167,7
Castilla - La Mancha	109,6	110,1	117,5	112,9	116,4	118,1	120,8	126,6
Cataluña	563,6	584,8	590,3	589,7	585,1	590,5	577,4	581,2
Comunidad Valenciana	329,7	337,0	326,1	321,1	320,7	308,7	313,3	335,2
Extremadura	35,9	37,1	38,6	34,8	37,4	36,6	38,0	38,0
Galicia	153,0	161,9	164,0	159,3	157,9	158,0	166,2	165,5
Comunidad de Madrid	268,5	264,2	250,6	241,1	235,9	229,5	228,6	241,4
Navarra	67,8	68,8	64,6	69,7	68,4	75,0	74,1	74,7
País Vasco	64,3	63,0	65,3	65,0	64,4	66,0	68,0	70,3
La Rioja	179,4	177,8	190,2	186,1	196,7	198,9	199,2	209,4

Tabla 6. Datos de Número de Ocupados en el Sector Industrial.

Fuente: INE (<https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=3977>) y elaboración propia.

3.2 Datos obtenidos a partir de los anteriores

3.2.1 Porcentajes de Industria de Alta y Media Tecnología

Merece especial atención la recopilación de los datos sobre nivel tecnológico. Por un lado, volviendo a la Tabla 1, la columna de la derecha muestra a qué nivel tecnológico se asocia cada grupo de la clasificación CNAE 2009 a dos dígitos en este proyecto.

- Alta tecnología: grupos 20, 21, 26, 27, 28, 29 y 30.
- Media tecnología: grupos 19, 22, 23, 24 y 25.
- Baja tecnología: grupos del 10 al 18, 31 y 32.

Por otro, hay que aclarar que son calculados a partir del número de ocupados que se ubican en sectores de alta y media tecnología de la industria manufacturera (tablas Tabla 4 y Tabla 5). En el Anexo I. se explica en profundidad de qué forma se obtienen.

De las 17 comunidades (Ceuta y Melilla, por ser ciudades autónomas, se consideran fuera del estudio) se

descarta la Región de Murcia, dado que la información sobre número de ocupados necesaria para estimar los porcentajes de tecnología se encontraba incompleta. Al no tener datos para Murcia de una de las variables que intervienen en el estudio, se desestima su inclusión en el mismo. Para otras comunidades también existían cifras desconocidas, pero fueron estimadas, ya que la incompletitud de los datos no era tan relevante. Esta cuestión también forma parte del contenido que recoge el Anexo I.

	Industria Alta Tecnología (%)		Industria Media Tecnología (%)	
	2015	2016	2015	2016
Andalucía	21,5%	21,0%	26,0%	25,4%
Aragón	47,5%	47,7%	21,1%	21,4%
Asturias	16,8%	18,0%	52,7%	52,1%
Baleares	4,5%	4,1%	25,1%	25,6%
Canarias	6,2%	7,6%	22,1%	22,0%
Cantabria	29,2%	28,5%	37,5%	38,4%
Castilla y León	26,9%	27,5%	26,8%	27,2%
Castilla - La Mancha	19,5%	20,2%	26,3%	25,2%
Cataluña	36,1%	35,8%	21,9%	22,1%
Comunidad Valenciana	22,1%	21,9%	29,1%	29,7%
Extremadura	9,5%	9,5%	26,3%	26,0%
Galicia	22,5%	23,2%	25,4%	25,4%
Comunidad de Madrid	39,0%	38,6%	20,9%	21,2%
Navarra	42,1%	40,8%	26,0%	25,9%
País Vasco	37,6%	37,5%	45,0%	45,0%
La Rioja	13,6%	13,4%	26,2%	25,5%

Tabla 7. Datos de porcentajes de Alta y Media Tecnología.

3.2.2 Número de Ocupados en el Sector Industrial (Promedio anual)

Se determina calculando el promedio de los datos trimestrales presentes en la Tabla 6 para cada periodo de estudio y para cada comunidad.

	Número de ocupados en el Sector Industrial (personas)	
	2015	2016
Andalucía	228.750	228.750
Aragón	109.825	109.825
Asturias	56.375	56.375
Baleares	37.825	37.825
Canarias	35.775	35.775
Cantabria	34.750	34.750
Castilla y León	153.250	153.250
Castilla - La Mancha	112.525	112.525
Cataluña	582.100	582.100

	Número de ocupados en el Sector Industrial (personas)	
	2015	2016
Comunidad Valenciana	328.475	328.475
Extremadura	36.600	36.600
Galicia	159.550	159.550
Comunidad de Madrid	256.100	256.100
Navarra	64.400	64.400
País Vasco	183.375	183.375
La Rioja	33.700	33.700

Tabla 8. Datos de Número de Ocupados promedio en cada periodo en el sector industrial.

3.2.3 Coste Laboral Total en el Sector Industrial

Se calcula a partir del Coste Laboral Medio en la Industria (Tabla 2) y el Número de Ocupados en dicho sector (Tabla 8).

	Coste Laboral Total Sector Industrial (millones €)	
	2015	2016
Andalucía	7.774,9	8.486,7
Aragón	3.899,8	3.744,8
Asturias	2.217,6	2.404,6
Baleares	1.177,6	1.076,2
Canarias	1.070,8	1.220,9
Cantabria	1.286,0	1.362,4
Castilla y León	5.231,6	5.631,7
Castilla - La Mancha	3.511,8	3.770,2
Cataluña	23.683,7	23.693,4
Comunidad Valenciana	10.167,1	9.838,8
Extremadura	1.028,9	1.039,9
Galicia	5.094,2	5.295,7
Comunidad de Madrid	11.635,0	10.893,2
Navarra	2.492,3	2.609,2
País Vasco	7.858,1	8.702,2
La Rioja	1.056,4	1.045,4

Tabla 9. Datos de Coste Laboral Total en el Sector Industrial.

3.2.4 Gasto Medio en I+D en Industria de Alta Tecnología

Se determina dividiendo el Gasto en I+D en alta tecnología (Tabla 3) por el Número de Ocupados en la industria manufacturera sin contar el grupo 33 (Tabla 4 y Tabla 5, última fila).

	Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología (miles de € / ocupado en la ind. manif.)	
	2015	2016
Andalucía	0,756	0,913
Aragón	1,166	1,051
Asturias	0,270	0,239
Baleares	0,083	0,142
Canarias	0,027	0,031
Cantabria	0,567	0,501
Castilla y León	0,663	0,873
Castilla - La Mancha	0,758	0,788
Cataluña	1,865	2,041
Comunidad Valenciana	0,579	0,577
Extremadura	0,048	0,051
Galicia	0,594	0,529
Comunidad de Madrid	4,317	4,111
Navarra	0,402	0,366
País Vasco	1,250	1,246
La Rioja	1,666	1,680

Tabla 10. Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología.

3.3 Representación de la situación de las CC.AA. españolas en 2016 y justificación de la validez de la metodología DEA como herramienta en este estudio

Para conocer de una forma más ilustrativa el escenario real en el que se encuentran las comunidades autónomas españolas, se realiza una representación gráfica que tenga en cuenta los datos anteriores. La similitud entre los dos periodos considerados hace que no sea relevante representar ambos, por lo que se representará solo el año 2016. En esta representación se emplean los datos que corresponden al planteamiento final que se dará al problema de la competitividad de las regiones españolas (ver capítulo 6.3.2).

La mayor parte de los datos anteriores se expresan en valor absoluto. De cara a la representación, es necesario relativizar dichos valores para que sea posible realizar una comparativa entre las regiones. No se puede afirmar que Andalucía destine más fondos a inversión en I+D que La Rioja, porque es cierto que la cuantía es mayor, 149,9 frente a 2,2 millones de euros, pero también es verdad que la extensión territorial andaluza es 17 veces la de la comunidad riojana, y del mismo modo, el número de empleados en el sector secundario es muy superior en Andalucía (más de 7 veces mayor que en La Rioja). Así, los valores representados en las gráficas serán:

- Coste Laboral Medio (CMeL), en euros por empleado (Tabla 2).
- Gasto Medio en I+D en todo el sector industrial, resultado de dividir el Gasto Total en I+D (Tabla 3) por el Total de Ocupados en la Industria (Tabla 8). Se añade a continuación la tabla que recoge esta información.

	Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología (€ / empleado sector industrial)	
	2015	2016
Andalucía	508	598
Aragón	815	803
Asturias	170	153
Baleares	32	60
Canarias	16	16
Cantabria	389	344
Castilla y León	457	603
Castilla - La Mancha	518	530
Cataluña	1.250	1.415
Comunidad Valenciana	377	401
Extremadura	27	30
Galicia	404	373
Comunidad de Madrid	2.618	2.829
Navarra	1.121	1.118
País Vasco	1.459	1.407
La Rioja	84	65

Tabla 11. Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología.

- Porcentajes de Alta Tecnología tal cual se recogen en la Tabla 7, puesto que los porcentajes son variables relativas.

Se elaboran tres gráficos, dos de ellos escogiendo como variable dependiente el coste laboral medio, y como variable independiente el gasto medio en I+D y el nivel de tecnología respectivamente. El tercero, expresa el porcentaje de alta tecnología frente al gasto medio en I+D, para poder comparar ambas salidas.

Valores iniciales

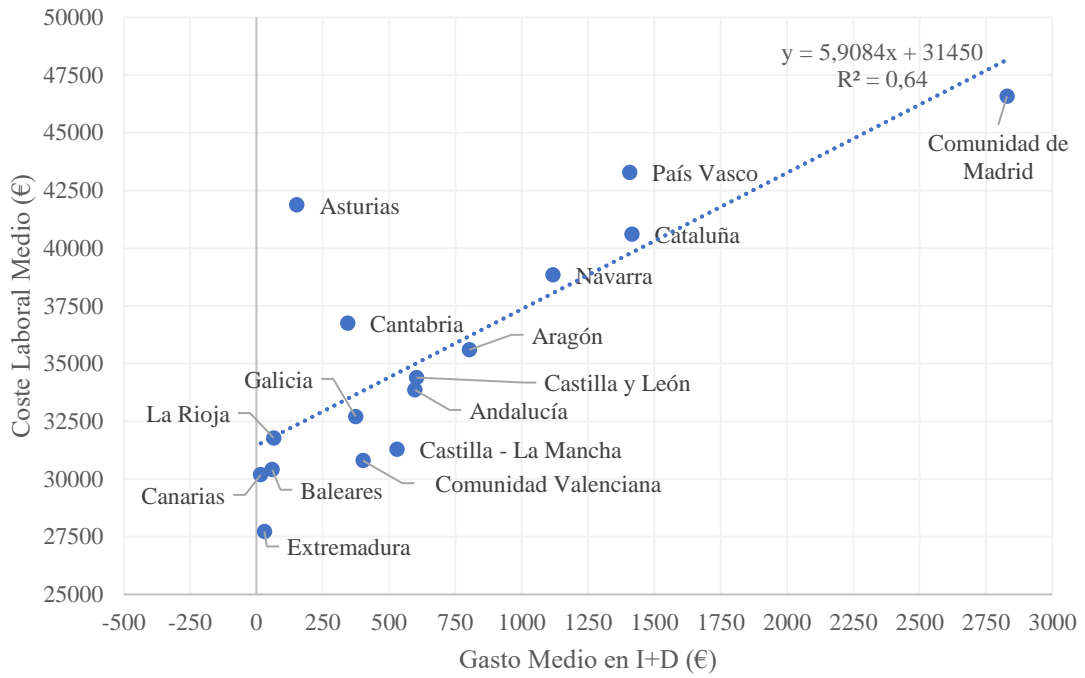


Figura 10. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D. Valores iniciales.

Valores iniciales

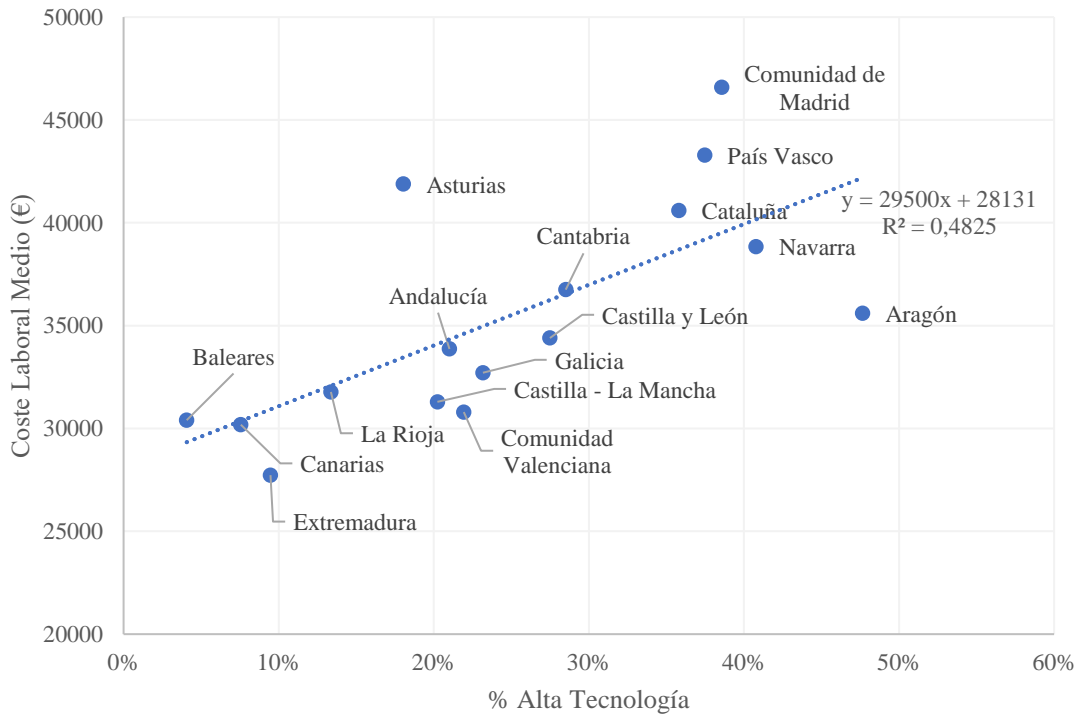


Figura 11. Coste Laboral Medio frente a porcentaje de Alta Tecnología. Valores iniciales.

Valores iniciales

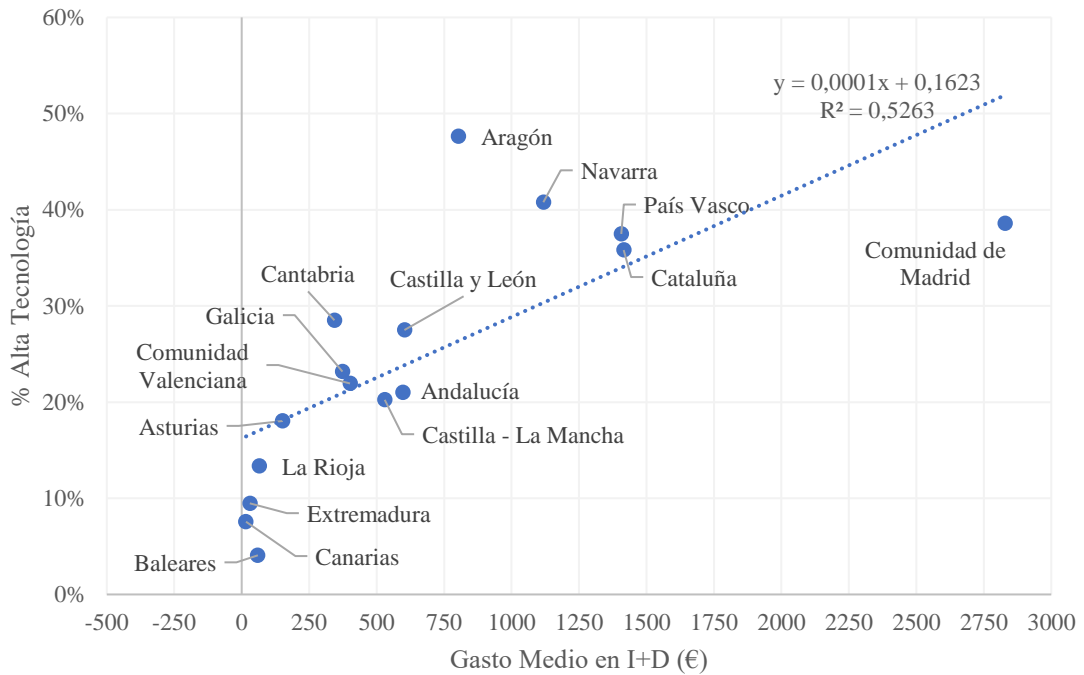


Figura 12. Porcentaje de Alta Tecnología frente a Gasto Medio en I+D. Valores iniciales.

Los tres son gráficos de dispersión en los que se representa su recta de regresión, de la cual se indica la ecuación explícita y el parámetro R^2 . Este coeficiente se conoce como “coeficiente de determinación”, y da una idea de la calidad del modelo. Una nube de puntos cuya recta de regresión posee un $R^2 > 0,8$, tiene una dispersión aceptable. Sin embargo, en estas tres gráficas, R^2 es menor que 0,8 por lo que, por el grado de dispersión de los puntos no es aconsejable emplear herramientas de regresión básicas para evaluarlos. Esto permite justificar la elección de DEA como instrumento idóneo para evaluar de forma conjunta las variables presentes en el problema, más allá de que ésta sea una técnica frecuentemente aplicada a la evaluación de eficiencia.

4 INTRODUCCIÓN AL DEA

Al comienzo del capítulo 2 se expusieron una serie de definiciones del término competitividad. Éstas eran diferentes dependiendo de en qué contexto se pretenda medir, así como de la institución que las formule. Una de las definiciones más sencillas la ofrece el Foro Económico Mundial: la competitividad es “*el conjunto de instituciones, políticas y factores que determinan el nivel de productividad de un país*”. En cualquier caso, se puede concluir que la competitividad está estrechamente relacionada con el concepto de “productividad” (Cann, O. (2016)).

Es precisamente por esto que una herramienta apropiada para la resolución del problema que se plantea en este Trabajo Fin de Grado es el Análisis por Envoltura de Datos, metodología cuyo objetivo es la medida de la productividad de una serie de unidades de decisión evaluada en base a una serie de variables. En nuestro caso, las unidades de decisión serán las comunidades autónomas españolas, y las variables empleadas, costes laborales, gasto en I+D en alta tecnología, número de empleados y nivel tecnológico regional.

4.1 Conceptos básicos y utilidad del DEA

El Análisis por Envoltura de Datos (*Data Envelopment Analysis*), en adelante DEA, es una metodología basada en modelos de programación lineal que estudia la eficiencia relativa de una serie de unidades productivas que se pretende comparar entre sí, por lo que han de presentar características similares. Estas unidades productivas, llamadas DMUs (*Decision Making Unit*), deben generar unos productos (salidas u outputs) a partir del consumo de unos recursos (entradas o inputs). Tienen la capacidad de modificar la cantidad de recursos y productos que están siendo utilizados, y a ello se debe el nombre de “unidades de decisión” que se les otorga en la literatura anglosajona. Esta característica de las DMUs es lo que da sentido a la evaluación de la productividad (Villa, G. (2005)).

Aunque esta cuestión merece más detenimiento, se va a entender la productividad como el cociente de salida entre entrada (Villa, G. (2005)).

$$Productividad = \frac{Producción\ creada}{Recurso\ consumido} = \frac{Salida}{Entrada}$$

Es muy importante definir las entradas y salidas de forma correcta, de manera que las primeras vayan realmente ligadas a las segundas e influyan en ellas.



Figura 13. Esquema de una DMU.

En términos de eficiencia, una DMU eficiente será aquella que maximice su producción utilizando el mínimo de recursos.

El resultado que proporciona esta técnica es la identificación de las unidades productivas que son eficientes dentro del conjunto de estudio, además de revelar a qué se debe la ineficiencia de las que no lo son, indicando a cuáles de las eficientes deberían imitar y de qué forma para mejorar su productividad y llegar a serlo también.

4.2 Tecnologías CRS y VRS. Orientación de entrada y de salida

Como ya se ha mencionado, es de gran importancia que las DMU elegidas posean características similares para poder compararlas entre sí. Sin embargo, una diferencia que puede existir o no entre ellas es la de su tamaño. Por ejemplo, al analizar la eficiencia de varios hoteles, podrían darse distintos casos:

- Que todos los hoteles ofrezcan una variedad de servicios y posean instalaciones similares.
- Que los hoteles que se consideren pertenezcan a distintos estatus, de manera que los recursos que poseen y los servicios que ofrecen sean en algunos casos más variados y en otros menos.

En general, un hotel de 5 estrellas contará con muchos más recursos que un hotel de una categoría inferior (tamaño de las habitaciones, número de zonas de ocio, preparación de los trabajadores...), y esto repercutirá probablemente en la satisfacción de los clientes, la ocupación, o la valoración por empresas dedicadas a ello. Se pone de manifiesto claramente que un hostel no puede llegar a funcionar al ritmo de un gran hotel, pero no por ello tiene que operar de manera ineficiente. Si todos los hoteles tienen un tamaño parecido, las unidades eficientes serán la referencia para todas las demás, pero, si existen distintos tamaños, cada unidad ineficiente deberá tender a parecerse a las que lo sean dentro de su estatus. Por lo tanto, en función de la homogeneidad o no en tamaño de las DMUs que se consideren, nos encontraremos ante Retornos de Escala Constantes (*Constant Returns to Scale*, CRS) o Retornos de Escala Variables (*Variable Returns to Scale*, VRS).

Los **Retornos de Escala Constantes** (CRS) consideran que, sin importar el tamaño de la unidad productiva, esta puede llegar a ser eficiente. Es decir, una DMU que no es eficiente tiene posibilidad de alcanzar, variando de alguna manera su funcionamiento, la productividad de la que sí lo es. Se analiza la **eficiencia global**, al ser la DMU de referencia la misma para todas las demás, ya que, por lo general, la frontera eficiente la determinará una única unidad, la de mayor productividad del problema.

Para un caso de una entrada y una salida, la representación de la tecnología CRS sería la siguiente:

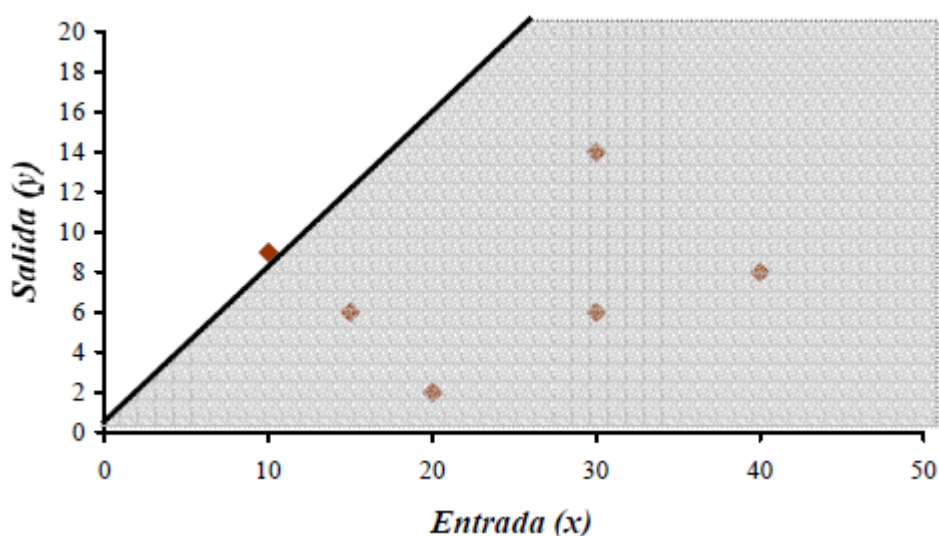


Figura 14. Tecnología CRS.

Fuente: Villa, G. (2005)

La línea gruesa representa la frontera eficiente. La unidad productiva que se encuentra en ella es la DMU eficiente en este caso, la que ofrece la mayor productividad: mínimos recursos y máxima producción. La zona grisácea, donde se encuentran todas las demás, es la zona de operación, y está limitada por la frontera eficiente. Por encima de la frontera no puede trabajar ninguna DMU, ya que ésta marca la máxima productividad que se puede exigir.

Por su parte, el concepto de **Retornos de Escala Variables (VRS)** se refiere a que una DMU ineficiente no puede asemejarse en su comportamiento a cualquiera de las unidades eficientes, sino que solo podrá alcanzar la productividad de aquellas que estén dentro de su rango en tamaño. En este caso, se analiza la **eficiencia técnica**, es decir, se compara la productividad de cada unidad a la de la que presenta un mejor comportamiento en su tamaño.

Del mismo modo, para una entrada y una salida, la tecnología VRS presenta el siguiente aspecto:

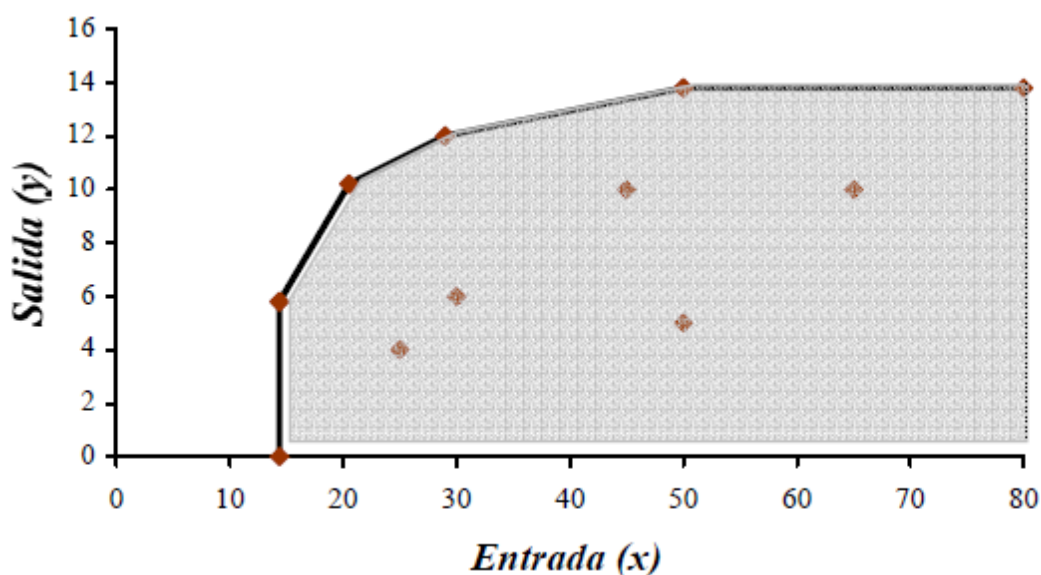


Figura 15. Tecnología VRS.

Fuente: Villa, G. (2005)

Mientras en CRS se obtiene un único punto eficiente, en VRS existen varios. Tal y como se observa en la Figura 15, la zona de tecnologías admisibles queda delimitada por la frontera, que ahora presenta dos zonas diferenciadas: **frontera eficiente y frontera tecnológica**. Ésta última, representada en línea discontinua en la Figura 16, engloba el primer tramo (vertical) y el tramo final (horizontal), y sobre ella nunca se proyectará ninguna unidad ineficiente.

Fijándonos por ejemplo en el tramo vertical, cualquier punto por debajo de A tendrá el mismo valor para la entrada, 1, y un valor inferior para la salida, por lo que en cualquiera de ellos la productividad sería menor que en A. Análogamente, cualquier punto perteneciente al tramo horizontal de la frontera tecnológica contaría con el mismo valor de output, 5.5, y un mayor input que D, por lo cual su productividad es menor que la de este. Cualquier DMU ineficiente que trate de proyectarse sobre la frontera tecnológica, acabará encontrando su DMU de referencia en la que determine el comienzo o fin de la frontera eficiente (en este caso, A o D, respectivamente). Para la unidad J_1 , su zona de mejora coincide con la zona sombreada, por lo que nunca se proyectaría sobre la frontera tecnológica. En cambio, si el problema tuviese orientación de entrada, J_2 acabaría chocando con ésta, y proyectándose finalmente sobre A como veremos más adelante.

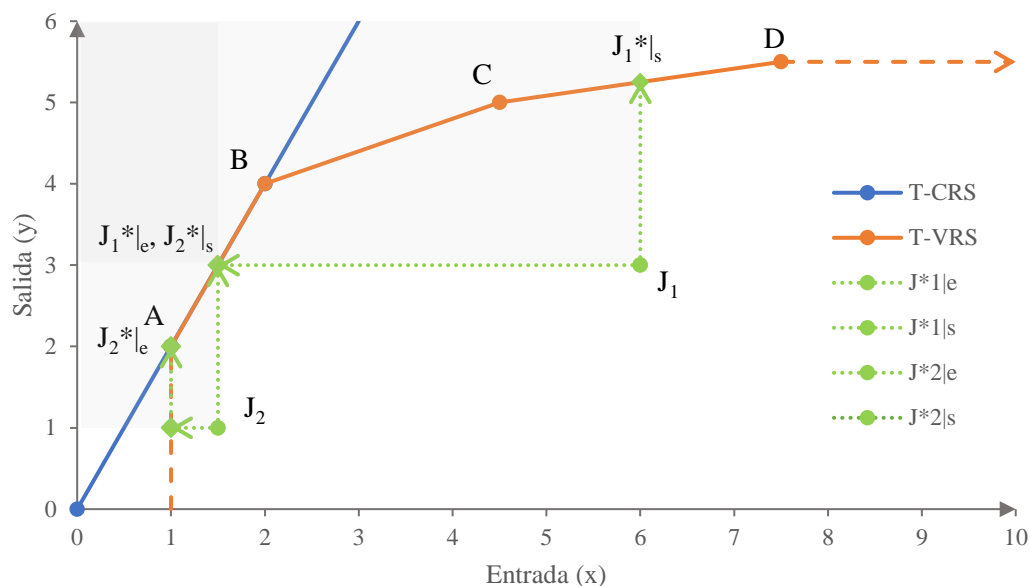


Figura 16. Fronteras CRS y VRS. Orientaciones de entrada y salida.

Fuente: Elaboración propia.

Una vez identificadas las unidades eficientes, hay que determinar a cuáles de ellas tratarán de asemejarse las ineficientes para mejorar su productividad según su tamaño. En DEA se habla de “proyección” de unas unidades sobre otras para explicar los resultados que se obtienen tras la resolución del problema. Es necesario introducir esta idea para comprender el concepto de orientación del problema, de la que dependerá el cálculo de la eficiencia técnica.

Si el objetivo es reducir los recursos que se consumen, es decir, aumentar la productividad a costa de la disminución de recursos, el problema tiene **orientación de entrada**.

Si se trata de aumentar la producción, es decir, aumentar la salida de la DMU para alcanzar una mayor productividad, el problema tiene **orientación de salida**.

Desde el punto de vista de la eficiencia, no es posible considerar aumentar las entradas o disminuir las salidas porque ambas acciones disminuirían la productividad.

También podría darse el caso de un problema sin orientación, para el cual DEA solo implementaría una parte de su procedimiento habitual.

4.3 Eficiencia de escala

La eficiencia global y técnica se hallan mediante las siguientes formulaciones:

$$\text{Eficiencia relativa global (DMU)} = \frac{\text{Productividad}|_{DMU}}{\text{Productividad}|_{m\acute{a}xima}}$$

$$\text{Eficiencia relativa t\acute{e}cnica (e, s)}|_{DMU} = \frac{\text{Productividad}|_{DMU}}{\text{Productividad (e, s)}|_{m\acute{a}xima \text{ en su tama\~{n}o}}$$

En ambos casos, si la eficiencia es igual a 1, la unidad productiva es eficiente; si es inferior a uno, la unidad es ineficiente. El cálculo de la eficiencia técnica depende de la orientación del problema.

La **eficiencia de escala** da una idea de si una DMU tiene el tamaño correcto que le permitiría llegar a ser la mejor del problema. Se calcula como el cociente de las dos anteriores:

$$\text{Eficiencia de escala } (e, s)|_{DMU} = \frac{\text{Eficiencia global}|_{DMU}}{\text{Eficiencia técnica } (e, s)|_{DMU}}$$

Las DMUs con el tamaño ideal son aquellas que pueden proyectarse sobre el tramo de frontera en el que coinciden las tecnologías CRS y VRS. En la Figura 17 se corresponde con el tramo AB.

Si el problema tiene orientación de entrada, J_1 podría llegar a ser la mejor del problema, porque se proyectaría sobre el tramo AB. En cambio, con orientación de salida se proyectaría entre los puntos C y D. La zona azul representa el área de la región admisible donde la eficiencia de escala con orientación de entrada es unitaria. En el caso de J_2 , ésta será eficiente de escala con orientación de salida⁵, ya que se proyecta directamente sobre el tramo AB. El área amarilla delimita la zona donde cualquier DMU sería eficiente de escala con orientación de salida. Una unidad que se encuentra en la zona donde se superponen ambos colores, es eficiente de escala para cualquier orientación del problema.

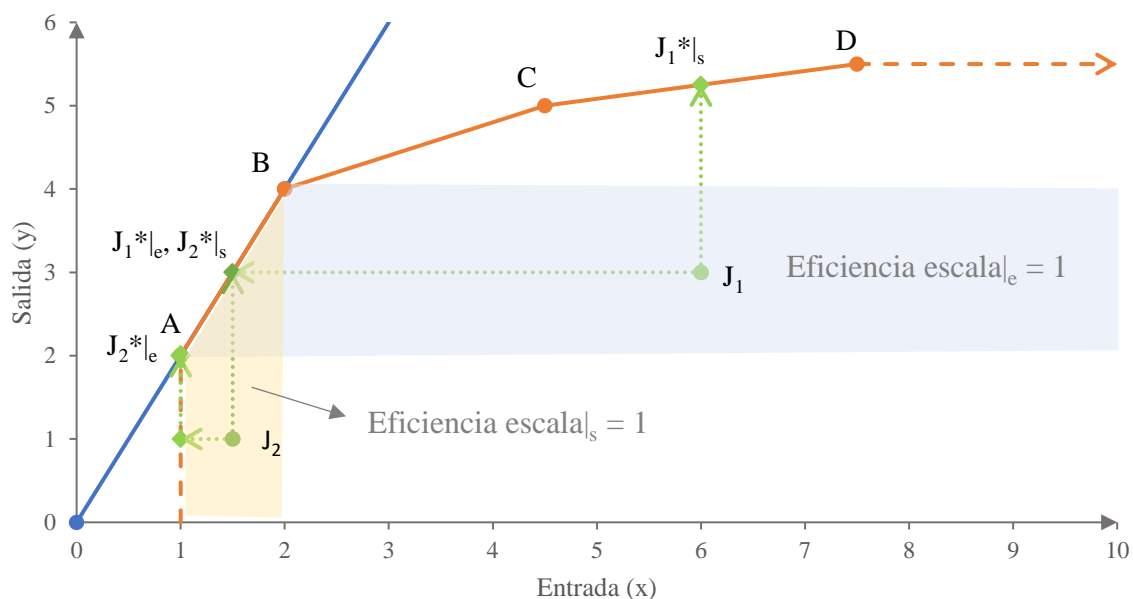


Figura 17. Eficiencias de escala.

Fuente: Elaboración propia.

Habitualmente, los problemas a los que se aplica DEA no se ciñen al caso aquí planteado, sino que cuentan con mayor número de entradas y/o salidas y, por tanto, mayor número de dimensiones. Debido a esto, no es posible realizar el cálculo de las eficiencias de la forma más o menos sencilla que en este subcapítulo se describe, sino que su cálculo presenta una dificultad mayor, siendo necesaria la aplicación de otros medidores, como podría ser el MED, *Measure of Efficiency Dominance*, entre otros muchos. Sin embargo, al no ser objeto

⁵ En realidad, J_2 también sería eficiente de escala con orientación de entrada, ya al encontrarse con la frontera tecnológica, acaba proyectándose sobre la DMU A.

del presente trabajo, no se hace mayor hincapié en esta cuestión, simplemente se pretende que el lector adquiera una idea de cómo se pueden comparar las unidades productivas entre sí mediante el estudio de la eficiencia, aunque, realmente, se trata de un aspecto más complejo de lo que en el texto se detalla.

4.4 Modelos tradicionales

Tras conocer los conceptos anteriormente presentados, es posible adentrarse en el abanico de posibilidades que ofrece la metodología DEA mediante los distintos modelos que se han ido desarrollando.

Según las características que definan el problema que se vaya a abordar, es necesario emplear un modelo u otro. Los modelos DEA tradicionales se clasifican, por un lado, según el tipo de tecnología que posea el problema y, por otro, dependiendo de la orientación de este.

El Modelo Ratio-Form constituye la base de todos los demás. Según cómo se linealice, da lugar a los distintos modelos que se relacionan en el esquema de la Figura 18:

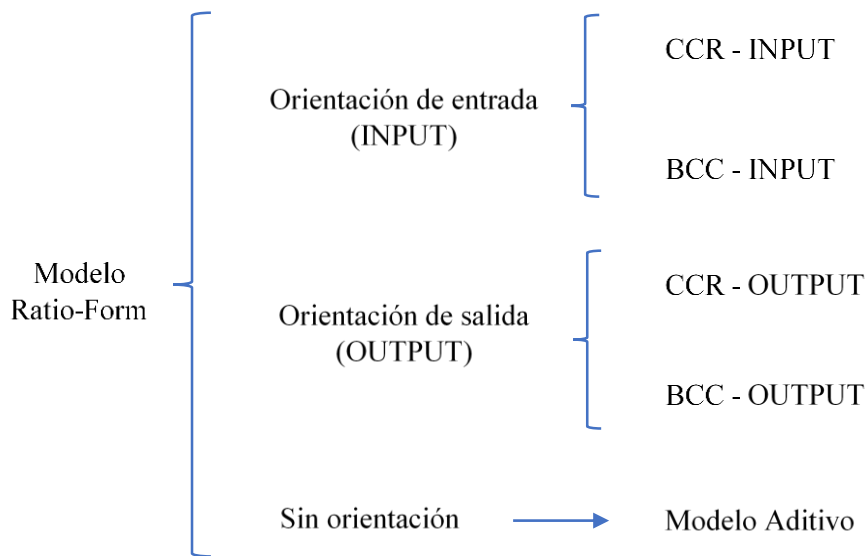


Figura 18. Modelos DEA Tradicionales.

Los modelos correspondientes a la tecnología CRS son los modelos CCR, cuyas siglas hacen referencia a sus autores, Charnes, Cooper y Rhodes, quienes comenzaron a hablar de DEA por primera vez en 1978 (Charnes, Cooper y Rhodes (1978)) y establecieron los modelos más básicos de esta metodología. Posteriormente, se desarrollarían los modelos para la tecnología VRS, llamados BCC, propuestos por Banker y, de nuevo, Charnes y Cooper (Banker, Charnes y Cooper (1984)). En ambos casos es posible el tratamiento de problemas con orientación tanto de entrada como de salida.

Todos los modelos mencionados son modelos lineales en los que se maximiza una función objetivo que, según si la orientación es de entrada o salida, se relaciona con la eficiencia o su inversa, acompañada de una serie de restricciones. Para aplicar la metodología DEA, se suele prescindir de dicha formulación, conocida como forma multiplicativa, empleándose su modelo dual, o forma envolvente. La forma envolvente, como veremos en el próximo apartado, puede dividirse en dos problemas, donde el resultado del primero tiene influencia en el segundo. Se establecen así las dos fases de la metodología DEA: **fase radial** y **fase rectangular**.

Además, para los problemas que no tienen orientación, se formuló el Modelo Aditivo, en el cual solo se aplica la fase rectangular del método.

4.5 Metodología DEA

Para mostrar la arquitectura de estos modelos y qué información se puede extraer de la metodología DEA, se va a tomar a modo de ejemplo explicativo el modelo CCR-INPUT. Aunque todos ellos son muy similares entre sí, existen ciertas diferencias que determinan la orientación y la tecnología sobre la que se aplican. Estas variaciones respecto al ejemplo se comentarán al final del capítulo.

4.5.1 Modelo Ratio-Form

Sea $J = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ el conjunto de DMUs que forman parte de un problema con m entradas, $x_j = \{1, \dots, i, \dots, m\}$, y s salidas, $y_k = \{1, \dots, k, \dots, s\}$.

El Modelo Ratio-Form, del que derivan los demás, se basa en escoger, para una DMU genérica, DMU_J , de las n DMUs disponibles, los valores de los pesos u_{ij} y v_{kj} que maximicen su eficiencia:



Figura 19. DMU de estudio, DMU_J .

De este modo, analíticamente, el modelo se expresa como sigue:

$$\text{Max} \quad \frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij}}$$

s. a.

$$\frac{\sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj}}{\sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij}} \leq 1 \quad \forall j = 1, 2, \dots, n$$

$$v_{kj}, u_{ij} \geq \varepsilon \quad k = 1, 2, \dots, s; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Se trata de resolver n problemas de optimización, uno para cada una de las n unidades productivas, donde las entradas y salidas para la DMU de estudio son conocidas, y se trata de hallar los pesos que maximizan lo que se quiere evaluar de ellas, su eficiencia. Por lo tanto, las variables del modelo son los pesos: u_{ij} referidos a las entradas y v_{kj} referidos a las salidas.

La función objetivo es la eficiencia de la DMU de estudio, y está sujeta a n restricciones, una por cada DMU del problema. Estas restricciones son lo más generales posibles, para poder así aplicar el modelo a un amplio conjunto de problemas⁶, y obligan a que todas las unidades, para los pesos seleccionados, tengan una eficiencia no superior a 1. Además, los pesos han de ser mayores o iguales a ε , que representa un valor positivo

⁶ Realmente, solo sería aplicable a problemas CRS, ya que, como se verá próximamente, para los casos de tecnología VRS hay que añadir una restricción adicional.

lo más cercano a cero posible, y que se denomina constante no-arquimediana⁷. Esto garantiza que las variables, los pesos, no sean nulas, ya que no se daría ninguna importancia a la entrada o salida a la que se refieren.

Tras la resolución de los n problemas, se obtendrá el conjunto de unidades eficientes, para las que la función objetivo será igual a 1. El resto, serán consideradas ineficientes.

El Modelo Ratio-Form es interesante desde un punto de vista teórico porque permite entender el modo de operar de la metodología DEA. En la práctica no se utiliza ya que no es lineal: como su nombre indica, maximiza un ratio, lo cual dificulta su resolución.

4.5.2 Modelo CCR-INPUT

Es posible linealizar la función objetivo anterior de múltiples formas, pero son dos las que determinan las orientaciones de entrada y salida, que son las que nos interesan.

Situándonos en retornos de escala constantes, para un caso de orientación de entrada, se obtiene el modelo CCR-INPUT:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max} \quad \sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj} \\
 & \text{s. a.} \\
 & \sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n \\
 & \sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij} = 1 \\
 & v_{kj}, u_{ij} \geq \varepsilon \quad k = 1, 2, \dots, s; \quad i = 1, 2, \dots, m
 \end{aligned}$$

Su objetivo es maximizar la eficiencia, representada por el sumatorio de las salidas multiplicadas por sus respectivos pesos (numerador de la función objetivo del Modelo Ratio), obligando a que la suma de las entradas multiplicadas por sus pesos sea constante e igual a 1 (denominador de la función objetivo del Modelo Ratio). Este modelo equivale al antiguo debido a que maximizar un cociente es lo mismo que maximizar su numerador y mantener constante el denominador.

El modelo CCR-OUTPUT se presenta de forma análoga: la función objetivo representa la inversa de la eficiencia, minimizándose la suma de los productos de las entradas por sus respectivos pesos, y se obliga a que el numerador de la antigua función objetivo, suma de los productos de las salidas por sus pesos, valga 1.

⁷ La introducción de la constante no-arquimediana tiene la finalidad de sustituir por una restricción de \geq la restricción $v_{kj}, u_{ij} > 0$, ya que el signo mayor estricto constituye un concepto puramente matemático.

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij}$$

s. a.

$$\sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj} - \sum_{i=1}^m u_{ij} \cdot x_{ij} \leq 0 \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^s v_{kj} \cdot y_{kj} = 1$$

$$v_{kj}, u_{ij} \geq \varepsilon \quad k = 1, 2, \dots, s; \quad i = 1, 2, \dots, m$$

Ambos modelos aparecen expresados en forma multiplicativa, y en ella las variables que participan no son adecuadas para observar la geometría del problema. Formulando el problema dual, la forma envolvente, es posible ver de forma clara su orientación.

Se sigue a partir de aquí con el modelo CCR-INPUT, cuya forma envolvente tiene la siguiente estructura:

$$\text{Min} \quad \theta_j - \varepsilon \cdot \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} = \theta_j \cdot x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{i=1}^n \lambda_j \cdot y_{kj} = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad h_i^-, h_k^+ \geq 0; \quad \theta_j \text{ libre}$$

El problema dual cuenta con n variables λ_j , una por cada restricción de desigualdad del primal, una serie de holguras h_i^- y h_k^+ , tantas como entradas y salidas respectivamente y una variable libre θ_j , referida a la unidad de estudio. Como ya se comentó, es posible dividir el modelo en dos partes, distinguiéndose la fase radial (donde se obtiene θ_j óptima, θ_j^*) y la fase rectangular (de la cual se extraen, a partir de θ_j^* , los valores óptimos del resto de variables, $\lambda_j^*, h_i^{-*}, h_k^{+*}$).

4.5.2.1 Fase Radial

Particularizando el problema a uno con una entrada y una salida ($m = 1, s = 1$), para que sea posible su representación gráfica, el modelo de fase radial queda:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \theta_J \\ & \text{s. a.} \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_j \leq \theta_J \cdot x_J \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot y_j \geq y_J \\ & \lambda_j \geq 0, \theta_J \text{ libre} \end{aligned}$$

Coordenadas de cualquier punto de la tecnología

Al eliminar las holguras de la función objetivo, podemos prescindir de ellas en las restricciones, quedando ahora en forma de desigualdad. El objetivo es minimizar θ_J , de forma que θ_J^* estará situado sobre la frontera eficiente, en la intersección de ésta con la horizontal. Un vector de λ adecuado da el valor que minimiza la función objetivo.

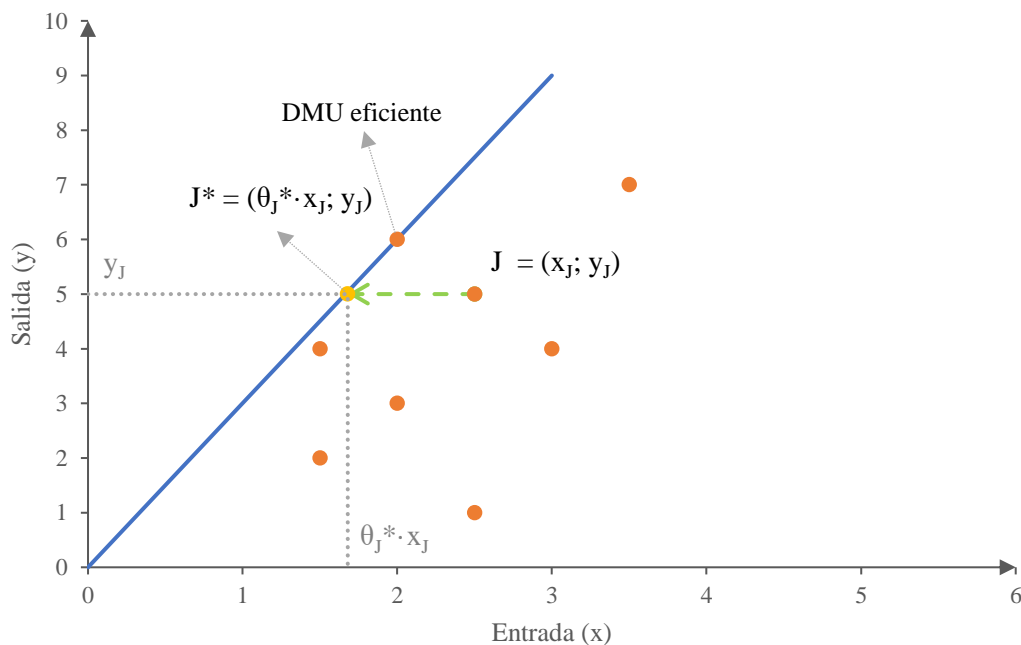


Figura 20. Fase radial con una entrada y una salida.

Fuente: Elaboración propia.

θ_J toma valores en el intervalo $(0,1]$. Una DMU cuya θ_J^* vale 1 es eficiente, está situada sobre la frontera (en caso de que haya más de una entrada y/o salida, en la fase radial las holguras han de ser nulas para que la DMU sea eficiente), y cualquier valor menor que la unidad representa a una unidad ineficiente, indicando a

qué valor se debería reducir el input para lograr la eficiencia, es decir, x_j debería reducirse a $\theta_j^* \cdot x_j$, disminuir su valor un $1 - \theta_j^*$ (en tanto por 1).

En el caso de una entrada y una salida, con la fase radial es suficiente para resolver el problema. Si introducimos otro input, el problema tendría tres dimensiones y la zona admisible pasaría de tener forma de triángulo, delimitada solo por dos aristas, a tener forma de prisma, pues la definirían más aristas.

Para analizar un caso de estas características, se consideran dos entradas x_1 y x_2 y una salida y . Poniendo las entradas en función de la salida (o, lo que es lo mismo, para un valor de y constante), se tiene una “vista 2D” del problema tridimensional.

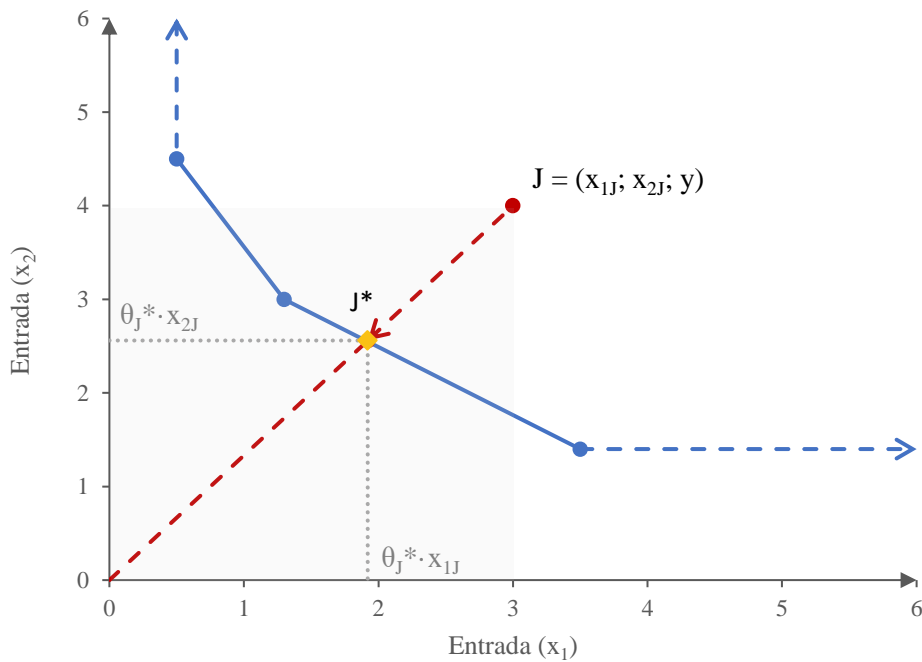


Figura 21. Fase radial con dos entradas y salida constante.

Fuente: Elaboración propia.

En este caso, se diferencia frontera tecnológica y eficiente, y como el objetivo es minimizar tanto x_1 como x_2 , la zona de mejora es la que se muestra, hacia el origen de los ejes. La reducción radial actúa sobre las dos entradas por igual hasta que J se encuentra con la frontera en J^* . Para esos nuevos valores $\theta_J^* \cdot x_{1J}$ y $\theta_J^* \cdot x_{2J}$, la DMU de estudio J sería eficiente.

4.5.2.2 Fase rectangular

La reducción equiproporcional de los outputs puede llevar a la unidad a proyectarse sobre la frontera tecnológica. Ya se vio que la frontera tecnológica delimita la tecnología, pero los puntos que la integran son puntos ineficientes, ya que en todos ellos se consumen más recursos o se produce menos que en aquellos que marcan el comienzo y fin de la frontera eficiente. Es por ello que, tras la fase radial, pueden ser necesarios desplazamientos sobre la propia frontera para proyectar el punto de estudio sobre la zona eficiente. La fase radial se representa mediante el siguiente modelo lineal, particularizado para el caso de dos entradas y una salida:

$$\text{Max } h^+ + h_1^- + h_2^-$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{1j} = \theta_j^* \cdot x_{1j} - h_1^-$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{2j} = \theta_j^* \cdot x_{2j} - h_2^-$$

Punto sobre la frontera tecnológica que se obtiene de la aplicación de la fase radial

$$\sum_{i=1}^n \lambda_j \cdot y_j = y_j + h^+$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad h_1^-, h_2^-, h^+ \geq 0$$

El objetivo es maximizar la suma de las holguras, por lo que a cada entrada y a cada salida se le añadirá el mayor valor que puedan tomar h_1^- , h_2^- y h^+ . En este caso, como las holguras siguen presentes en el modelo, las restricciones mantienen el signo de igualdad del modelo base.

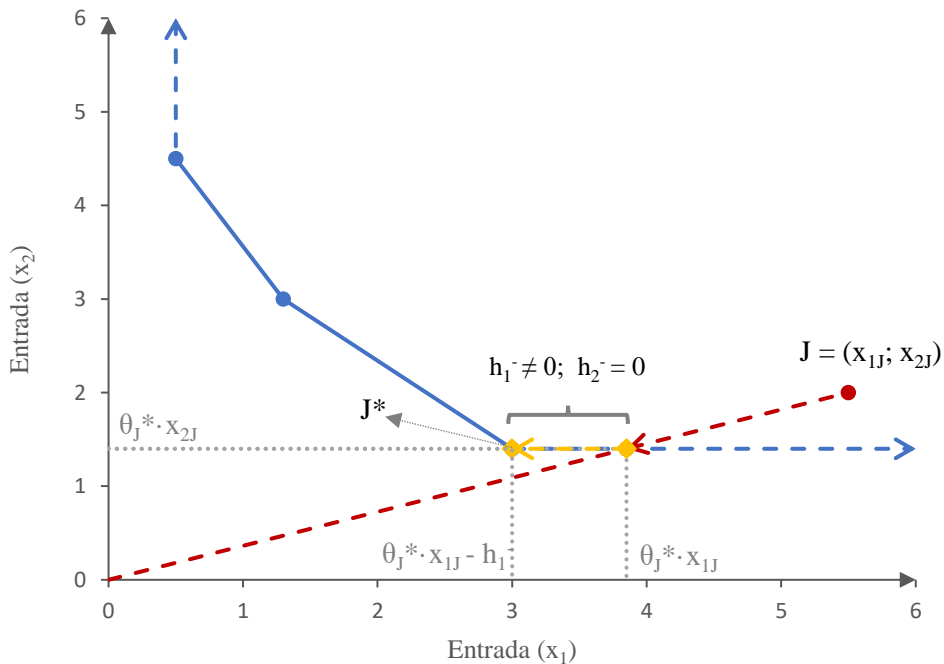


Figura 22. Fase rectangular

Fuente: Elaboración propia

En el ejemplo de la Figura 22 se observa que, tras la fase radial, J se proyecta sobre la frontera tecnológica. Para alcanzar la frontera eficiente debe desplazarse horizontalmente, es decir, reducir su entrada x_1 un determinado valor h_1^- . La entrada x_2 no es necesario variarla, pues con la reducción radial ha alcanzado el mínimo valor admisible, luego h_2^- será nula. Para la representación se expresan ambas entradas en función de la salida y , tomándose y como constante, por lo que no se tiene en cuenta la participación de h^+ en el problema

(se eliminaría la restricción referida a la salida).

4.6 Comentarios sobre los demás modelos DEA

Toda la explicación de la metodología DEA se ha basado en el modelo CRS y orientación de entrada, CCR-INPUT. Las diferencias que se presentan en el resto de modelos con respecto a este (en su forma envolvente) se comentan brevemente a continuación.

- Si en lugar de orientación de entrada el problema tiene orientación de salida, la función objetivo es de maximizar y θ_j es “sustituida” por γ_j , que representa la inversa de la eficiencia, y toma valores mayores o iguales que 1. La fase radial maximiza γ_j , de forma que γ_j^* indica lo que tiene que aumentar una salida para que la DMU alcance la eficiencia, y la fase rectangular maximiza la suma de las holguras.

Por su parte, las restricciones son análogas a las anteriores, con la diferencia de que ahora son las salidas referidas a la DMU_j las que van multiplicadas por γ_j .

$$\text{Max} \quad \gamma_j + \varepsilon \cdot \left[\sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right]$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot y_{kj} = \gamma_j \cdot y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad h_i^-, h_k^+ \geq 0; \quad \gamma_j \text{ libre}$$

- Los problemas sin orientación se resuelven con el Modelo Aditivo, en el cual solo se ejecuta segunda fase del método. Le corresponde la siguiente formulación:

$$\text{Max} \quad \sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^-$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot x_{ij} = x_{ij} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot y_{kj} = y_{kj} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0; \quad h_i^-, h_k^+ \geq 0$$

- Si nos encontramos en un caso de tecnología VRS, se mantiene lo anterior referente a la orientación, y la única modificación que habría que añadir sería una restricción que normalice las λ_j : $\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$.

4.7 Entradas y salidas particulares

Hasta aquí se ha asumido que cualquier input u output que se maneja en un problema que se quiere resolver mediante DEA puede aumentar o disminuir. No es extraño encontrar problemas en los que algunos de ellos no se puedan o no se deban modificar, bien por mandato del decisor o bien por la naturaleza de los datos. Estas entradas y salidas no modificables reciben el nombre de **no discrecionales**. Para tratarlas debidamente, son separadas de las discrecionales en la formulación del problema, de manera que no se ven afectadas por θ_j o, en su defecto, γ_j , ni llevan asociadas holguras.

Por otro lado, y entendiendo como entradas los recursos que emplea la DMU y como salidas los productos que genera, en ocasiones puede interesar que algunos recursos aumenten, es decir, que aumente alguna entrada, o reducir la producción de alguno de los productos resultantes, esto es, disminuir alguna salida.

La metodología DEA, tal y como la hemos descrito, no permite estas acciones. Por ello, cuando se da esta situación, las entradas con estas características se definen como salidas, y viceversa. Se las conoce como **entradas y salidas no deseadas**, y su tratamiento se detallará en mayor profundidad en capítulos posteriores en base al problema al que en este trabajo se trata de dar solución.

5 MODELOS QUE PERMITEN LA INCLUSIÓN DE VARIABLES RATIO

El ámbito en el que se encasilla el problema que se plantea en este Trabajo Fin de Grado está plagado de información que se expresa mediante porcentajes, costes medios, cifras calculadas como cociente de otras que son desconocidas...

Como indican Olesen, Petersen y Podinovski (2015) el Análisis por Envoltura de Datos es ampliamente empleado en evaluación de eficiencia. Sin embargo, una de las cuestiones más controvertidas es la validez de introducir como entradas y salidas variables de tipo ratio.

Banker, Charnes y Cooper (1984) definieron una serie de axiomas que debían cumplirse en CRS y VRS. De no ser satisfecho alguno de ellos, el modelo de producción deja de ser consistente, de forma que un análisis basado en él no aporta unos resultados aceptables.

El empleo de variables ratio entra en conflicto con algunas de estas suposiciones, sobre todo con la que establece que la tecnología (CRS o VRS) es un conjunto convexo en todas las dimensiones, determinadas por el conjunto de entradas y salidas. Siguiendo a Olesen et al. (2015), esta cuestión ha sido estudiada y discutida por distintos autores con anterioridad: Olesen y Petersen (2006, 2009), Emrouznejad y Amin (2009).

5.1 Tratamiento de las variables ratio con anterioridad al desarrollo de los nuevos modelos

La frecuente necesidad de trabajar con ratios hace que en la literatura relativa a DEA se encuentren diferentes alternativas que permiten su inclusión en los modelos tradicionales. Sin embargo, estas alternativas presentan ciertas limitaciones.

Una de las más comunes es descomponerlos en numerador y denominador, variables volumétricas, y añadir éstos como entrada y salida (si el ratio es una salida, el numerador se introducirá como salida y el denominador como entrada, y si el ratio es una entrada, al contrario). Sin embargo, esta aproximación tampoco resulta del todo apropiada por una serie de razones. Entre ellas, que los datos volumétricos no estén disponibles, o que estos sean de carácter sensible y no deban ser expuestos; que el ratio forme parte de la toma de decisiones, por lo que, aunque las variables volumétricas estén disponibles se requiere la variable original; o bien que numerador y denominador no tengan sentido en el contexto del modelo (ver Olesen et al. (2015)).

Otra opción es el empleo del modelo *Free Disposal Hull* (FDH), que no asume el axioma de la convexidad, por lo que podría integrar variables ratio además de volumétricas. Sin embargo, por esa misma razón puede dar lugar a que la determinación de eficiencias e ineficiencias no sea del todo acertada, sobre todo si la muestra es de pequeño tamaño.

5.2 Modelos matemáticos

Todo lo anterior se convierte en la motivación que lleva a estos tres autores a desarrollar unos nuevos modelos que permitan la integración de este tipo de inputs y outputs sin que tengan que sufrir ninguna transformación. Estos modelos, a los que llaman Ratio-CRS y Ratio-VRS (R-CRS y R-VRS), requieren una redefinición de los axiomas fijados para los modelos CRS y VRS estándar, y en el caso de CRS una clasificación de los distintos tipos de ratio ya que, para cada uno, será necesario añadir restricciones específicas al modelo.

Sean los conjuntos de entradas y salidas:

$$X = (X^V, X^R)$$

$$Y = (Y^V, Y^R)$$

donde X^V e Y^V son los subconjuntos de entradas y salidas volumétricas, y X^R e Y^R los subconjuntos de variables ratio.

$J = \{1, \dots, j, \dots, n\}$ representa las muestra de las n DMUs observadas. Cada una de ellas se expresa de la forma:

$$(X_j, Y_j) = (X_j^V, X_j^R, Y_j^V, Y_j^R)$$

Al igual que ocurría en los modelos estándar de DEA, estos modelos se resuelven iterando tantas veces como DMUs se consideren, fijando cada vez una de ellas como referencia.

Sea la unidad de decisión de referencia $(X_j, Y_j) = (X_j^V, X_j^R, Y_j^V, Y_j^R)$, la expresión matemática de la tecnología R-VRS con orientación de entrada es la siguiente:

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot Y_j^V \geq Y_j^V \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot X_j^V \leq \theta_j \cdot X_j^V \quad (1.2)$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^R - Y_j^R) \geq 0 ; \quad \forall j \in J \quad (1.3)$$

$$\lambda_j \cdot (X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R) \leq 0 ; \quad \forall j \in J \quad (1.4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (1.5)$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre} \quad (1.6)$$

Las restricciones (1.1) y (1.2) corresponden a las variables volumétricas, mientras que las (1.3) y (1.4) se refieren a las ratio. La (1.5) constituye la condición de normalización de las λ_j que, como ya vimos en el capítulo 4, es necesario incluirla en tecnología VRS. La condición (1.4) no es lineal, por lo que es preciso linealizarla.

Se expresa en su forma equivalente $\begin{cases} \lambda_j = 0 \\ X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R \leq 0 \end{cases}$. Que se cumpla cualquiera de estas dos condiciones hace que esta restricción sea verdadera. Se introduce un vector $\partial \in \{0,1\}^n$ de n componentes binarios que permite formular las siguientes inecuaciones lineales en sustitución de la (1.4):

$$\lambda_j \leq \partial_j ; \quad \forall j \in J \quad (1.7)$$

$$X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R \leq L_1 \cdot (1 - \partial_j) ; \quad \forall j \in J \quad (1.8)$$

donde L_1 es un vector de tantas componentes como entradas ratio, constantes y de un valor lo suficientemente alto. Se le pueden asignar valores arbitrarios, por ejemplo, del orden de un millón, ya que no ofrece serios problemas que impidan resolver el modelo, aunque es posible estimarlo.

Se define un vector \tilde{X}^R de tantas componentes como entradas ratio, de forma que cada componente \tilde{X}_i^R sea

igual a la máxima X_{ji}^R :

$$\tilde{X}_i^R = \max X_{ji}^R \quad \forall j \in J$$

De esta forma, se toma L_1 tal que:

$$L_1 \geq \tilde{X}^R$$

Analizamos los 3 casos posibles:

$\theta_j = 0$; $\lambda_j = 0$:

Es consistente con (1.4) ya que se cumple $\lambda_j = 0$. Además $X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R \leq L_1$, que por la definición de L_1 se cumpliría cuando $\theta_j \geq 0$.

$\theta_j = 1$; $\lambda_j = 0$:

Es consistente con (1.4) porque se cumple $\lambda_j = 0$ y también $X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R \leq 0$.

$\theta_j = 1$; $\lambda_j \geq 0$:

Es consistente con (1.4) porque, aunque no se cumple $\lambda_j = 0$, si es verdadera la desigualdad $X_j^R - \theta_j \cdot X_j^R \leq 0$.

Este modelo representa la primera fase de la metodología DEA, la fase radial. Tanto en Olesen et al. (2017) como en este proyecto el principal objetivo es el cálculo de eficiencias, cuestión que resuelve dicha fase. La fase rectangular se aplica cuando se pretenden encontrar los targets, por lo que no será implementada en el desarrollo de este trabajo.

El modelo R-VRS con orientación de salida es análogo al anterior:

$$\text{Max} \quad \gamma_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot Y_j^V \geq \gamma_j \cdot Y_j^V \quad (2.1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot X_j^V \leq X_j^V \quad (2.2)$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^R - \gamma_j \cdot Y_j^R) \geq 0 ; \quad \forall j \in J \quad (2.3)$$

$$\lambda_j \cdot (X_j^R - X_j^R) \leq 0 ; \quad \forall j \in J \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \quad (2.5)$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \gamma_j \text{ libre} \quad (2.6)$$

En este caso, la restricción no lineal es la (2.3), que se puede descomponer en $\begin{cases} \lambda_j = 0 \\ Y_j^R - \gamma_j \cdot Y_j^R \geq 0 \end{cases}$. Vuelve a ser necesaria la definición de la variable binaria $\partial \in \{0,1\}^n$, de modo que el nuevo par de inecuaciones resulta:

$$\lambda_j \leq \partial_j; \quad \forall j \in J \quad (2.7)$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^R - Y_j^R \leq L_2 \cdot (1 - \partial_j); \quad \forall j \in J \quad (2.8)$$

L_2 es un vector constante de tantas componentes como salidas ratio existan en el problema cuyos componentes son lo suficientemente grandes. Al igual que L_1 es posible estimar L_2 .

L_2 ha de cumplir la inecuación:

$$L_2 \geq M \cdot Y_j^R$$

siendo M una constante de valor mayor o igual que 1. Siguiendo a Olesen, Petersen y Podinovski (2017) la estimación de la constante M resulta algo tediosa, ya que es necesario calcular dos valores, M_1 y M_2 , entre los cuales se elige atendiendo a varios criterios como la naturaleza de los outputs que se ven afectados por la expansión radial o el punto de vista computacional. Dichos valores son calculados para cada DMU. En la práctica, se opta por calcular un único valor M^* que es el máximo de las M evaluadas para cada unidad de decisión j . No se explica más en detalle cómo se desarrolla esta última cuestión. Se realizaría una comprobación similar a la realizada en el modelo anterior para comprobar la idoneidad de la estimación propuesta.

La fase rectangular del método se obvia por la misma razón que antes.

El modelo R-CRS resulta más complejo de implementar. En Olesen et al. (2015) se explica que es necesario resolver un modelo de programación no lineal. Además, es preciso identificar los tipos de ratio que se tienen, puesto que cada uno de ellos requiere la adición de restricciones específicas al modelo.

En Olesen et al. (2017) identifican un caso particular que ofrece una solución más simple: aquel en el que todas las variables ratio son de tipo fijo⁸, es decir, no varían cuando las variables volumétricas lo hacen respecto a un cierto parámetro. Su expresión matemática es igual a la de los modelos R-VRS, pero eliminando la condición de normalización de las λ_j (restricciones (1.5) en orientación de entrada y (2.5) en orientación de salida). Esto hace que la linealización de las inecuaciones no lineales se realice de una forma diferente en R-CRS.

Dado que el problema descrito en este proyecto se ubica dentro de la tecnología R-VRS, no se profundizará más en la tecnología R-CRS.

⁸ Olesen, Petersen y Podinovski (2015) diferencian dos tipos principales de ratios fijos:

- Variables contextuales: Se encuentran en el entorno del problema, pero no influyen directamente en él. Se consideran no discretionales.
- Factores cualitativos resultantes del cociente de dos variables volumétricas que varían en la misma proporción: esto hace que el ratio permanezca constante.

6 MODELADO DEL PROBLEMA PARA LA RESOLUCIÓN MEDIANTE DEA

En este capítulo se realiza un recorrido por la evolución a la que se ha enfrentado el planteamiento del problema de la competitividad de las regiones para poder ser resuelto haciendo uso de DEA.

6.1 Definición del primer modelo DEA

6.1.1 Variables del problema

Las variables de las que se parte para la medición de la competitividad de las comunidades autónomas son las siguientes:

- Coste laboral medio (euros)
- Gasto en I+D (miles de euros)
- Porcentaje de industria de alta tecnología
- Porcentaje de industria de media tecnología

Como no podía ser de otra manera, se emplean los costes laborales y los niveles tecnológicos que despiertan un mayor interés desde el punto de vista del desarrollo industrial, los de media y alta tecnología. Adicionalmente, se introduce el gasto en I+D, pues esta inversión económica se considera un elemento esencial para promover el desarrollo tecnológico del sector industrial.

Para hacer uso de la metodología DEA, el primer paso consiste en la definición de un modelo en el que se especifique cuáles son las DMUs de estudio, además del conjunto de entradas y salidas que permitan medir su productividad. Sin embargo, en este caso la determinación de qué variables intervienen como entradas y cuáles como salidas no es una cuestión trivial.

6.1.1.1 Entradas y salidas no deseadas

Como ya se explicó en el capítulo relativo a la metodología DEA, la productividad de las unidades de decisión se mide a partir de las entradas y salidas. Las dos formas más directas de aumentar la productividad eran disminuir el denominador, las entradas (problema con orientación de entrada), o aumentar el numerador, las salidas (problema con orientación de salida).

Si volvemos al problema que se plantea aquí y tratamos de hallar cuáles son los recursos o entradas que hacen posible generar productos o salidas, lo más lógico es pensar que tanto la inversión en I+D como el nivel tecnológico de la comunidad pueden dar lugar al mayor o menor coste que supone un trabajador. Podría definirse el modelo DEA así:

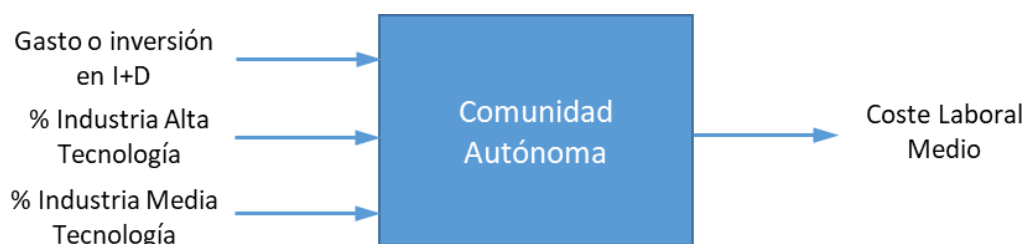


Figura 23. Tentativa de modelo DEA.

El valor del coste laboral (CMeL) es fruto del desarrollo tecnológico alcanzado (% AT, % MT) y la inversión que dedica a I+D (I+D) cada comunidad autónoma.

No obstante, desde el punto de vista de la productividad (la competitividad), el modelo que se acaba de formular no parece ser el más adecuado, ya que las variables que se han definido como entradas, aspirarían a mantenerse o disminuir su valor por el hecho de ser inputs, y la lógica invita a pensar que no resulta deseable una reducción del gasto en I+D y la capacidad tecnológica de las comunidades si se pretende mejorar la competitividad.

Rescatando el concepto mencionado en capítulo 4, las entradas del modelo anterior constituyen entradas no deseadas. De forma análoga se define una salida no deseada. Su tratamiento se describe brevemente en Olesen et al. (2015): si una entrada puede o debe tomar valores mayores, se define como una salida tecnológica. Del mismo modo, una salida que puede tomar valores inferiores al que posee, debería modelarse como una entrada.

Asumiendo que el avance tecnológico de la industria contribuye de forma positiva en la competitividad de las regiones, y que, por tanto, % AT y % MT serían entradas no deseadas que se modelan como salidas, se podrían plantear 3 enfoques del problema:

1. Aumentar la tecnología mediante un gasto mínimo en I+D y un coste laboral relativamente bajo para las empresas. En este planteamiento, ambas variables, I+D y CMeL serían entradas (y respecto al planteamiento previo, CMeL sería una salida no deseada).
2. Aumentar la tecnología con un gasto mínimo en I+D, y permitiendo que los salarios suban. Aquí, I+D sería una entrada y CMeL una salida junto con los % AT y % MT.
3. Aumentar la tecnología ajustando el CMeL, garantizando que la región mantendrá o incrementará el importe destinado a I+D. El CMeL actuará como entrada (salida no deseada) y el I+D como salida (entrada no deseada).

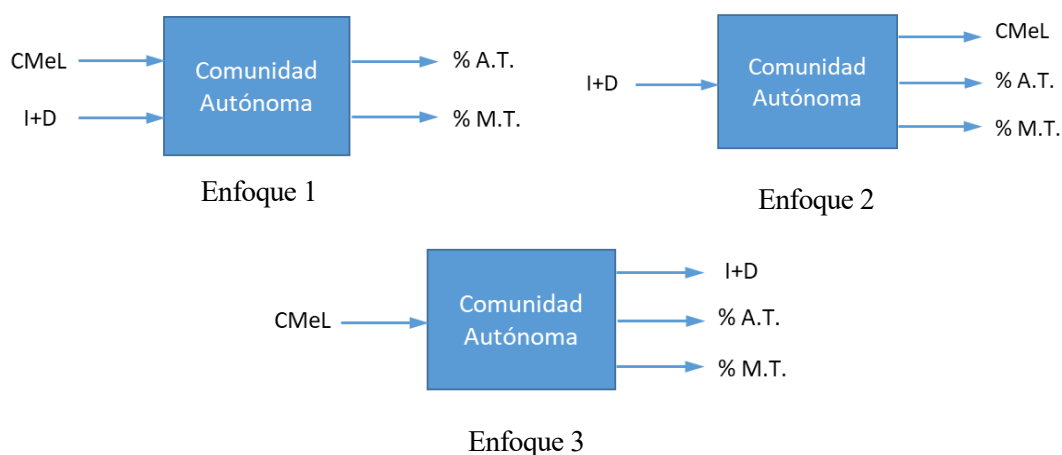


Figura 24. Posibles enfoques del problema.

La elección de la alternativa más adecuada se basa en un razonamiento sencillo. El impulso de políticas orientadas a la inversión en I+D es fácil de justificar, puesto reporta beneficios de distinta índole y en distintas “direcciones”. Citando textualmente a Romero, Sanz y Hernández (2007) encontramos tres argumentos que justifican este gasto:

“La inversión en I+D tiene tres rasgos específicos. Primero, es un bien público al ser parcialmente excluible y no rival (Arrow, 1962). Segundo, genera externalidades positivas ya que parte del nuevo conocimiento es aprovechado por otras empresas que operan en el mismo sector, en otros sectores e incluso en otros países (spill-over) (véanse los surveys de Griliches, 1992, y Nadiri, 1993). Por último, la inversión en I+D tiene efectos sobre el crecimiento y la productividad (para una discusión véase OCDE, 2001).”

Por ello, se decide definir el gasto en I+D como una entrada no deseada, para que funcione como una salida, de manera que sea factible un posible incremento de este como forma de alcanzar el éxito económico en una comunidad ineficiente competitivamente hablando.

Por su parte, el CMeL quedaría obligado a ejercer como entrada (salida no deseada), puesto que es necesario para el modelo definir al menos un input. Aunque desde el punto de vista de los empleados una reducción salarial no es bien aceptada, desde el lado de la empresa puede ser una forma de mejorar su eficiencia. De cualquier modo, el modelo se enfocará de manera que una reducción del C.L. sea la última opción.

Con todo, el modelo DEA más adecuado sería el descrito por el enfoque 3.



Figura 25. Modelo DEA.

- DMU: Comunidad Autónoma
- Entrada: Coste Laboral Medio
- Salidas: Gasto en I+D y porcentajes de niveles tecnológicos

Los datos que se emplean para la resolución de este modelo son los correspondientes a las tablas Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 7 del capítulo 3.

6.1.2 Tecnología y orientación

Teniendo en cuenta las grandes diferencias que presentan las comunidades autónomas de España tanto en extensión territorial como en la composición de su tejido industrial, la tecnología corresponde a retornos de escala variables: Tecnología VRS.

Al ser preferible un incremento de la tecnología y/o de la inversión en investigación más desarrollo a una reducción del salario de los trabajadores, se considera que la orientación ha de ser de salida. Sin embargo, todos los casos se resuelven con la dos orientaciones para estudiar un mayor número de opciones.

6.2 Cuestiones reveladas tras la resolución del primer modelo planteado

El modelo de la Figura 25 fue resuelto mediante el empleo del paquete de optimización LINGO 17.0 introduciendo una serie de condiciones adicionales en términos de no discrecionalidad de algunas de las variables de entrada y salida, que dieron lugar a tres casos diferentes:

- Caso 1: Todas las entradas y salidas son discretionales.
- Caso 2: I+D es no discrecional.
- Caso 3: % AT y % MT son no discretionales.

La resolución de todos ellos, tanto para orientación de entrada como de salida, señalaba las mismas comunidades no competitivas, solo 5 de las 16 que se analizan: Andalucía, Baleares, Canarias, Castilla – La Mancha y La Rioja. Tanto el bajo número de unidades ineficientes como la similitud entre los resultados obtenidos, llevaba a pensar que era conveniente realizar modificaciones para lograr unos resultados algo más atractivos.

La obtención de un número tan pequeño de unidades ineficientes se debe a un sobredimensionamiento del

problema. La metodología DEA proporciona mejores resultados cuando se tiene un gran número de DMUs. Algunos autores aconsejan que para obtener resultados fiables el tamaño de la muestra ha de ser igual o superior al doble de la suma de las entradas más las salidas, mientras que otros, como Banker, establecen que el número de unidades de decisión debe ser mayor o igual al triple del total de variables incluidas en el modelo (Ver Cooper, Seiford y Tone (2006)).

Sin embargo, el cumplimiento de esa restricción no garantiza que el modelo esté correctamente dimensionado (en este caso se cumple: $4 \text{ variables} \cdot 3 = 12 \text{ DMUs}$ como mínimo; y, aun así, con 16 unidades, el problema sigue quedando sobredimensionado).

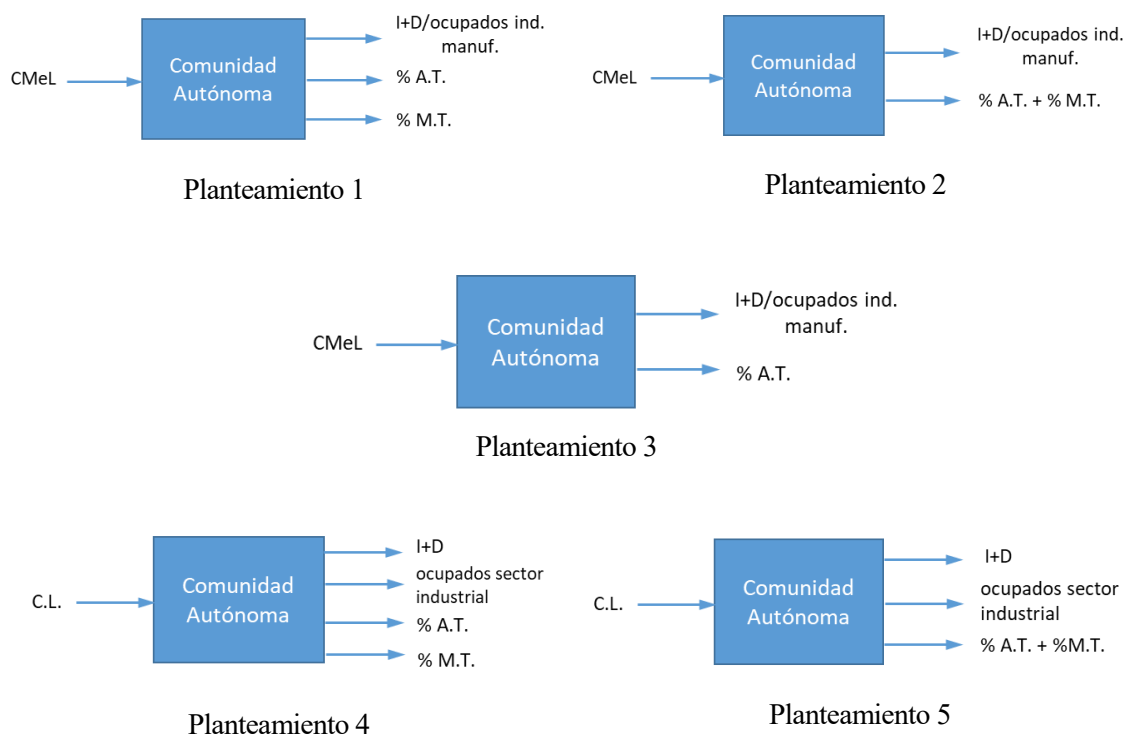
Además, se detecta un error en la resolución del problema relacionado con la naturaleza de la variable CMeL. Volviendo a la Figura 25, los datos de coste laboral hacen referencia a la media en cada comunidad, por lo que, al estar calculados como coste laboral del sector industrial de la comunidad por número de trabajadores de la industria en dicha comunidad, se deberían considerar como variables de tipo ratio, y no como variables volumétricas como se hizo.

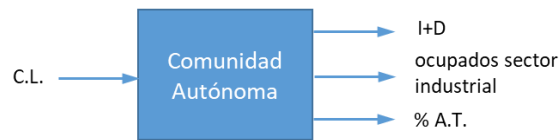
Por ambas razones, se decide desechar los resultados obtenidos y reformular el modelo anterior.

6.3 Modificaciones necesarias para la mejora del modelo

Se estiman dos modificaciones principales, que dan lugar a 6 nuevos planteamientos del problema:

1. **Reducción del número de variables del problema**, lo que se traduce en modificar las salidas relacionadas con los niveles tecnológicos. En algunos casos se unifican en una sola variable que consiste en la suma de % AT y % MT; en otros, se prescinde el introducir en el modelo % MT.
2. **Redefinir la forma de introducir el coste laboral en el modelo**, descomponiendo el CMeL en C.L. total del sector industrial (numerador) y número de empleados u ocupados en dicho sector (denominador). C.L. permanecería como entrada y el número de ocupados entraría a formar parte del conjunto de salidas.





Planteamiento 6

Figura 26. Nuevos planteamientos del problema.

Hay que aclarar que, en los distintos planteamientos, el número de ocupados representa dos informaciones diferentes según el caso.

Con respecto al modelo previo que se definió, los tres primeros planteamientos mantienen como variable de entrada el coste laboral medio, por lo que para que el modelo sea congruente, el gasto en I+D también se introduce ahora como variable relativa, dividiendo dicha inversión por **el número de ocupados en la industria manufacturera**, datos que fueron empleados para el cálculo de los porcentajes tecnológicos.

En los planteamientos 4, 5 y 6, el coste laboral se emplea en valor absoluto. Los datos de coste laboral medio hacían referencia a total del sector industrial y no solo a las actividades manufactureras, por lo que, al descomponerlo en numerador y denominador, este último representa, del mismo modo, el **número de ocupados en todo el sector industrial**.

Se desestima la consideración de no discrecionalidades para estos nuevos casos debido a que en el modelo inicial no supusieron variaciones relevantes en los resultados. Además, el pasar de 1 a 6 casos de análisis conllevaría que el número de problemas a resolver aumentase de forma muy significativa. Igual que antes, se resuelve cada caso tanto para orientación de entrada como de salida.

6.3.1 Análisis de los nuevos planteamientos

Todos los enfoques descritos son muy similares entre sí, pero es importante aclarar qué variables son tratadas como ratio y cuáles como volumétricas (absolutas) de cara al empleo de los modelos DEA que permiten el uso de variables tipo ratio.

	Variables Volumétricas	Total V.V.	Variables Ratio	Total V.R.	Total variables
Modelo inicial	I+D	1	CMeL (mal definida) ⁹	3	4
			% AT		
			% MT		
Planteamiento 1	-	0	CMeL	4	4
			I+D/ocupados		
			% AT		
			% MT		
Planteamiento 2	-	0	CMeL	3	3
			I+D/ocupados		

⁹ En la resolución de este modelo, como se explicó anteriormente, esta variable fue tratada erróneamente como volumétrica.

	Variables Volumétricas	Total V.V.	Variables Ratio	Total V.R.	Total variables
			% AT + % MT		
Planteamiento 3	-	0	CMeL	3	3
			I+D/ocupados		
			% AT		
Planteamiento 4	C.L.	3	% AT	2	5
	I+D		% MT		
	Ocupados				
Planteamiento 5	C.L.	3	% AT + % MT	1	4
	I+D				
	Ocupados				
Planteamiento 6	C.L.	3	% AT	1	4
	I+D				
	Ocupados				

Tabla 12. Variables en los distintos planteamientos.

De los 6 modelos, solo en dos de ellos se consigue reducir el número de variables de las cuatro del modelo inicial a tres (planteamientos 2 y 3). En el planteamiento 4 incluso se aumenta a cinco, ya que al descomponer el C.L. en dos variables, CMeL y número de ocupados, se introduce una adicional.

Por su parte, los planteamientos 1, 5 y 6, mantienen cuatro variables. En el planteamiento 1 la única variación respecto al modelo previo se encuentra en la ponderación del gasto en I+D en alta tecnología por el número de empleados en la industria de alta tecnología. En 5 y 6, queda una variable ratio que modelar frente a tres volumétricas.

6.3.2 Elección del modelo final

Los datos de los dos periodos que se analizan en el proyecto son muy similares entre sí. Para acelerar el proceso de elección de la alternativa que proporcione los mejores resultados, se resuelven los seis planteamientos únicamente con los datos correspondientes a 2015. Las DMUs ineficientes para cada uno de ellos se indican en la siguiente tabla:

	Orientación de entrada		Orientación de salida	
	Número de comunidades ineficientes	Comunidades ineficientes	Número de comunidades ineficientes	Comunidades ineficientes
Planteamiento 1	3	Baleares, Canarias y La Rioja	3	Baleares, Canarias y La Rioja

	Orientación de entrada		Orientación de salida	
	Número de comunidades ineficientes	Comunidades ineficientes	Número de comunidades ineficientes	Comunidades ineficientes
Planteamiento 2	4	Baleares, Canarias, Cantabria y La Rioja	4	Baleares, Canarias, Cantabria y La Rioja
Planteamiento 3	5	Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria y La Rioja	5	Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria y La Rioja
Planteamiento 4	3	Andalucía, Baleares y Canarias	3	Andalucía, Baleares y Canarias
Planteamiento 5	4	Andalucía, Baleares, Canarias y Galicia	4	Andalucía, Baleares, Canarias y Galicia
Planteamiento 6	5	Andalucía, Asturias, Baleares, Canarias y País Vasco	5	Andalucía, Asturias, Baleares, Canarias y País Vasco

Tabla 13. Comunidades ineficientes en los distintos planteamientos.

El número de ineficiencias continúa siendo menor del esperado. Los casos que resultan más favorables son el tercero y el sexto, en los que 5 de las 16 comunidades autónomas no serían competitivas en el marco en el que estamos definiendo la competitividad. En el Planteamiento 3, las comunidades no competitivas son Asturias, Baleares, Canarias, Cantabria y La Rioja; en el Planteamiento 6, Andalucía, Asturias, Baleares, Canarias y País Vasco.

Ante estos resultados, se concluye que el tamaño de la muestra sigue siendo demasiado pequeño para lo que exigiría este caso de estudio. Como el número de CC.AA. no es ampliable y un modelo en el que interviniesen menos de cuatro variables sería un tanto pobre, no se encuentra otra alternativa que permita lograr unos mejores resultados.

Entre los planteamientos 3 y 6 se estima que el que permite realizar un análisis más completo y puede aportar unas mejores conclusiones para este proyecto es el número 6. Además, éste cuenta con variables de los dos tipos, volumétricas y ratio, mientras que en el 3 solo entran en juego variables ratio.

Al igual que con el modelo inicial, el problema se resuelve con orientación de entrada y de salida, con el objeto de realizar un análisis más exhaustivo. Sin embargo, por el mismo motivo, se considerará más conveniente la orientación de salida.

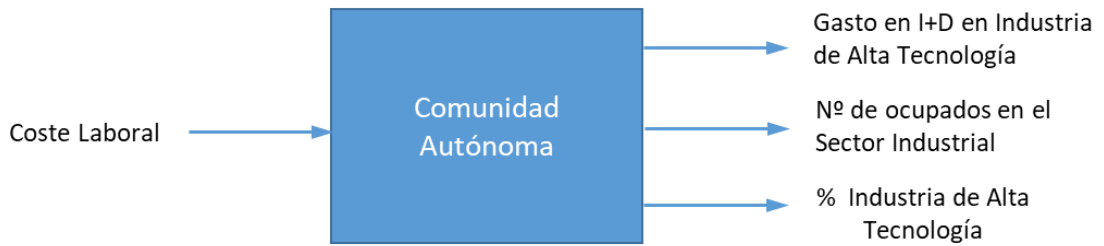


Figura 27. Modelo final: Planteamiento 6.

- DMU: Comunidad Autónoma
- Entrada: Coste Laboral (Total)
- Salidas: Gasto en I+D, número de ocupados en el sector industrial y porcentaje de alta tecnología

Los datos que se emplean para la resolución de este modelo son los correspondientes a las tablas Tabla 3, Tabla 7, Tabla 9 y Tabla 8 del capítulo 3.

7 MODELOS MATEMÁTICOS Y PROGRAMACIÓN EN LINGO

Una vez decidido el enfoque final que dar a la evaluación de la competitividad regional en España, se pasa a resolver el modelo propuesto aplicando la metodología DEA mediante la adaptación del problema a uno de los modelos matemáticos que se expusieron en el capítulo 5, que tolere la inclusión de variables tipo ratio. En el caso que nos ocupa, estas variables son las relativas a los porcentajes de industria de alta tecnología que podemos encontrar en cada una de las comunidades autónomas de nuestro país.

Este modelo DEA se programa en LINGO 17.0, paquete de optimización que nos proporciona los resultados que se recogen en el capítulo siguiente, así como los que ya se adelantaban en el punto anterior en relación con las unidades ineficientes para permitirnos decidir que el planteamiento 6 sería el finalmente elegido.

7.1 Modelo matemático

El modelo matemático que representa el problema aquí definido y que lo resuelve con orientación de entrada es el siguiente:

$$\text{Max } \gamma_J$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq \gamma_J \cdot Y_J^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}} \geq \gamma_J \cdot Y_J^{\text{ocupados}}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq X_J^{C.L.}$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.} - \gamma_J \cdot Y_J^{A.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \gamma_J \text{ libre}$$

El modelo para orientación de salida es más complejo que para orientación de entrada puesto que presenta una restricción no lineal. Es aquella que modela la salida de tipo ratio. Como se vio en el capítulo 5, el par de restricciones que la linealizan es:

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_J \cdot Y_J^{A.T.} - Y_J^{A.T.} \leq L_2 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

El modelo linealizado queda:

$$\text{Max } \gamma_J$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq \gamma_J \cdot Y_J^{I+D}$$

$$\sum_{i=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{ocupados} \geq \gamma_J \cdot Y_J^{ocupados}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq X_J^{C.L.}$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_J \cdot Y_J^{A.T.} - Y_J^{A.T.} \leq L_2 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \gamma_J \text{ libre}$$

L_2 se toma igual a 1.000.000.

7.1.1 Modelo con Orientación de Entrada

Aunque se opta por que el modelo tenga orientación de salida, también se resuelve con orientación de entrada. Su expresión matemática es la siguiente:

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq \theta_j \cdot X_j^{C.L.}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq Y_j^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{ocupados} \geq Y_j^{ocupados}$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

Al “sustituirse” γ_j por θ_j , la restricción de la variable ratio se vuelve lineal. Las demás siguen siendo lineales.

7.2 Programación en LINGO

Aunque la programación de los modelos suponía un elemento relativamente insignificante, la necesidad de replantear el problema varias veces ha requerido de modificaciones sucesivas del código inicial, tanto para solucionar los nuevos casos que se definían como para realizar diferentes pruebas a lo largo del desarrollo de este Trabajo Fin de Grado.

Gran parte de los códigos Lingo con los que se ha trabajado se recogen en el Anexo II. En este apartado solo se refleja el relativo al caso final de estudio, con orientación de salida.

Tal y como exige este lenguaje, el código se divide en diferentes secciones (Ivorra, C. (2011)):

```
Lingo Model - Plant6_Salida_2015 - copia

SETS:

!conjuntos primitivos;

DMU/1..16/:X, GAMMA, YR, DELTA;
SALIDA/1..2/:SOLYVR;

!conjuntos derivados;

DMU_SALIDAR (DMU, SALIDA):YV, SOLYV;
ITERACION (DMU):LANDAR, SOLX, SOLYR;
DMU_ITERACION (DMU, ITERACION):LANDA;

ENDSETS

DATA:

!Importamos los datos desde una hoja excel;

X, YR, YV = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\IFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 6\Resultados\Plant6_Salida_2015.xlsx', 'X', 'YR', 'YV');

!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;

@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\IFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 6\Resultados\Plant6_Salida_2015.xlsx', 'LANDA', 'GAMMA', 'XSOL', 'YVSOL', 'YRSOL')=LANDA, GAMMA, SOLX, SOLYV, SOLYR;

ENDDATA
```

Figura 28. Código Lingo: Secciones SETS y DATA.

Las variables con las que opera Lingo son las siguientes:

- X: Coste Laboral (entrada)
- YV: Gasto en I+D y número de ocupados (salidas volumétricas)
- YR: Porcentaje de Alta Tecnología (salida ratio)
- GAMMA
- LANDA
- DELTA: Variable introducida por las restricciones que linealizan el modelo.
- SOLX, SOLYV, SOLYR: En ellas se guardan los nuevos valores que toman X, YV e YR al resolver.
- SOLXR, SOLYVR, SOLYRR, GAMMAR, LANDAR: Variables adicionales que guardan los valores de algunas de las variables anteriores en cada iteración.

En la sección SETS se introducen los conjuntos de índices, que permiten darle un tamaño determinado a las variables que se les asocian.

El conjunto llamado “DMU” lleva asociadas variables que requieran 16 posiciones de almacenamiento, como por ejemplo X e YR, que guardan los datos de coste laboral y porcentaje de nivel tecnológico alto, respectivamente, para cada comunidad autónoma. El conjunto “SALIDA” permite distinguir las dos salidas volumétricas. Estos son los conjuntos básicos del modelo.

Por otro lado, se tienen los conjuntos derivados, que requieren de los dos anteriores. DMU_SALIDAR permite que las variables asociadas a él tengan un subíndice referido a la comunidad autónoma (DMU, que va de 1 a 16) y otro que indique la variable volumétrica, gasto en I+D en industria de alta tecnología o número de empleados en la industria, mediante un 1 o un 2, respectivamente (SALIDA, que va de 1 a 2). ITERACION se relaciona con las 16 iteraciones que es necesario realizar para resolver el problema, tomando cada vez una comunidad autónoma como unidad J de referencia según definíamos el modelo matemático. Finalmente, DMU_ITERACION crea una matriz de 16x16, el tamaño que ha de tener la variable LANDA.

En la sección DATA se asignan los datos del problema a las variables correspondientes, convirtiéndolas así en constantes. Los datos se leen directamente de un archivo Excel y se guardan en X, YV e YR mediante la función @OLE. La misma función permite exportar los resultados guardados en SOLX, SOLYV y SOLYR a una hoja Excel tras ejecutar el solver.

```

Lingo Model - Plant6_Salida_2015 - copia

SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MAX= GAMMAR;

!Restricciones;
@SUM(DMU(J):
    LANDAR(J)*X(J) <= X(R);
SOLXR=@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*X(J));
@FOR(SALIDA(K):
    @SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,K)) >= GAMMAR*YV(R,K);
@FOR(DMU(J):
    LANDAR <= DELTA(J);
    GAMMAR*YR(R)-YR(J) <= 1000000*(1-DELTA(J));
    !LANDAR(J)*(YR(J)-GAMMAR*YR(R))>=0); !Hay que linealizar;
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,1)) = SOLYVR(1);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,2)) = SOLYVR(2);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YR(J)) = SOLYRR;

@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR(DMU(J):LANDAR(J)>=0);
@FOR(DMU(J):@BIN(DELTA(J)));
ENDSUBMODEL

```

Figura 29. Código Lingo: Sección SUBMODEL.

```

Lingo Model - Plant6_Salida_2015 - copia

CALC:
@SET('TERSEO', 2);
@FOR(ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLX(ITER)=SOLXR;
GAMMA(ITER)=GAMMAR;
SOLYV(ITER,1)=SOLYVR(1);
SOLYV(ITER,2)=SOLYVR(2);
SOLYR(ITER)=SOLYRR;
@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 30. Código Lingo: Sección CALC.

En la tercera sección, SUBMODEL, se escribe el modelo con su función objetivo y restricciones correspondientes. A diferencia de las demás secciones, SUBMODEL requiere que se le asigne un título, "Ratio" en este caso. Es necesario para poder resolverlo mediante la instrucción @SOLVE situada en la parte final del código.

La línea en color verde (línea comentada) es la restricción no lineal. Al tratar de resolver el modelo con esta restricción, Lingo no daba una solución válida, por lo que fue sustituida por el par de expresiones que la linealizan, las dos líneas de código anteriores a ella.

La sección CALC es útil cuando el modelo requiere que se realicen ciertos cálculos con los datos. En ella es posible modificar el valor de una variable definida en DATA. Es la última sección de nuestro código, y en ella se incluye la instrucción @SOLVE(Ratio) de la que se hablaba antes. Se resuelven 16 modelos Ratio en total, uno por cada comunidad tomada como unidad J. En cada iteración, se guardan los resultados obtenidos en la posición ITER de las variables SOLX, SOLYV, SOLYR, GAMMA y LANDA, que es la posición asociada a la comunidad J para la que se resuelve el modelo. Ellas permiten, a través de la instrucción @OLE, que se vuelquen los resultados en un Excel (ver sección DATA).

8 RESULTADOS

El objetivo de este capítulo es mostrar los resultados obtenidos para el planteamiento elegido, para poder comentarlos y realizar una discusión que nos permita extraer conclusiones desde el punto de vista de una mejora de la competitividad de las regiones que lo requieran. Estas conclusiones se tratarán de traducir en posibles medidas ubicadas en el contexto de la política industrial que permitan conseguir dicha mejora competitiva.

Se estima que la orientación que mejor se ajusta al planteamiento elegido es la orientación de salida, y por ello, el análisis se centra en este caso. Al final del capítulo se muestran también los resultados que proporciona el caso con orientación de entrada, aunque de manera meramente expositiva.

8.1 Resultados para el caso con Orientación de Salida

La hoja Excel que recopila los resultados proporcionados por LINGO 17.0 tiene el aspecto que muestra la Figura 31.

	GAMMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Andalucía 1	1,029631	0	0	0	0	0	0	0	0	0,038875	0,365569	0	0,5795688	0,015748	0	0	0
Aragón 2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asturias 3	1,162954	0	0	0	0	0	0,895101	0	0	0	0,104899	0	0	0	0	0	0
Baleares 4	1,093146	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,016268	0,983732	0	0	0	0	0
Canarias 5	1,060459	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,004584	0,995416	0	0	0	0	0
Cantabria 6	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla y León 7	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla - La Mancha 8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Cataluña 9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Comunidad Valenciana 10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Extremadura 11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Galicia 12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Comunidad de Madrid 13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Navarra 14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
País Vasco 15	1,007101	0	0,488278	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,511722	0	0	0	0
La Rioja 16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

	XSOL	YVSOL	YRSOL
Andalucía 1	7774,949	121,4577	239,2711
Aragón 2	3899,846	69,47	109,635
Asturias 3	9217,611	25,09925	65,56156
Baleares 4	1177,558	2,977102	41,24826
Canarias 5	1070,785	1,542004	37,93791
Cantabria 6	1285,992	13,532	34,75
Castilla y León 7	5231,595	69,999	153,25
Castilla - La Mancha 8	3511,772	58,269	112,525
Cataluña 9	23683,7	727,358	582,1
Comunidad Valenciana 10	10167,07	123,802	328,475
Extremadura 11	1028,897	0,979	36,6
Galicia 12	5096,181	64,432	159,55
Comunidad de Madrid 13	11635,01	670,461	256,1
Navarra 14	2492,252	72,191	64,4
País Vasco 15	7858,105	386,7762	184,6772
La Rioja 16	1056,374	2,827	33,7

Figura 31. Resultados generados por Lingo. (Año 2015)

Las tablas a continuación recogen esta información de forma más clara y legible, permitiendo comparar los nuevos valores de las variables con los que tomaban inicialmente.

En primer lugar, se identifican las comunidades autónomas ineficientes, que son aquellas cuya γ es mayor que 1. Además, se determina sobre qué unidades han de proyectarse para mejorar su eficiencia:

AÑO 2015

			Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Comunidad de Madrid	Navarra	País Vasco	La Rioja
		GAMMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Andalucía	1	1,0296	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0389	0,3657	0	0,5797	0,0157	0	0	0
Aragón	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asturias	3	1,1630	0	0	0	0	0	0,8951	0	0	0	0,1049	0	0	0	0	0	0
Baleares	4	1,0931	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0163	0,9837	0	0	0	0	0
Canarias	5	1,0605	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0046	0,9954	0	0	0	0	0
Cantabria	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla y León	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla - La Mancha	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cataluña	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Comunidad Valenciana	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Extremadura	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Galicia	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Comunidad de Madrid	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Navarra	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
País Vasco	15	1,0071	0	0,4883	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5117	0	0	0
La Rioja	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 14. Valores de Gamma. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias. (Año 2015)

AÑO 2016

			Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Comunidad de Madrid	Navarra	País Vasco	La Rioja
		GAMMA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Andalucía	1	1,0439	0	0,1188	0	0	0	0	0	0	0	0,6404	0	0,1575	0,0832	0	0	0
Aragón	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asturias	3	1,2216	0	0	0	0	0	0,7350	0	0	0	0	0	0,2650	0	0	0	0
Baleares	4	1,0882	0	0	0	0	0	0	0	0,0104	0	0	0,9888	0	0,0008	0	0	0
Canarias	5	1,0705	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0206	0,9794	0	0	0	0	0
Cantabria	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla y León	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla - La Mancha	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cataluña	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Comunidad Valenciana	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Extremadura	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Galicia	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Comunidad de Madrid	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Navarra	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
País Vasco	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
La Rioja	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 15. Valores de Gamma. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias. (Año 2016)

En el año 2015 se detectan 5 comunidades no competitivas: Andalucía, Asturias, Baleares, Canarias y País Vasco. Ordenadas de menor a mayor eficiencia:

2015	Gamma (γ)	Eficiencia ($1/\gamma$)
Asturias	1,1630	0,8599
Baleares	1,0931	0,9148
Canarias	1,0605	0,9430
Andalucía	1,0296	0,9712
País Vasco	1,0071	0,9929

Tabla 16. Comunidades ineficientes año 2015.

A pesar de no ser lo suficientemente competitivas, las eficiencias son bastante altas en todos los casos. Asturias, por su parte, será la que más tendrá que emplearse en mejorar su situación, mientras que por el contrario el País Vasco roza innegablemente la frontera eficiente.

DEA sugiere a cuáles de las comunidades eficientes deben asemejarse éstas para lograr una mejora de su nivel de competitividad y en qué medida tienen que acercarse al funcionamiento de cada una de ellas. En términos de DEA, el grado de aproximación a unas comunidades u otras determina el lugar que llegarían a ocupar en la frontera eficiente si efectivamente las comunidades ineficientes consiguen alcanzar un valor de gamma igual a la unidad.

- Asturias, con una eficiencia del 85,99%, ha de aproximarse en funcionamiento a Cantabria en un 89,51% y a la Comunidad Valenciana en un 10,49%.
- Baleares, con una eficiencia del 91,48%, debe imitar sobre todo a Extremadura (98,37%), y en un pequeño porcentaje a la Comunidad Valenciana (1,63%)
- Canarias, que alcanza un nivel de competitividad del 94,3%, se proyecta sobre todo en la comunidad extremeña, en un 99,54% (el 0,46% restante, sobre Valencia).
- Andalucía, 97,12%, se proyecta sobre cuatro regiones: principalmente sobre la Comunidad Valenciana y Galicia, con unos porcentajes del 36,57% y 57,97% respectivamente, repartiéndose el resto entre Cataluña y Madrid (3,89% y 1,57%).
- El País Vasco, que roza la eficiencia con un valor del 99,29%, debería tomar como referencia a las comunidades de Aragón y Madrid casi a partes iguales (48,83% y 51,17% respectivamente).

La situación para el año 2016 es bastante similar:

2016	Gamma (γ)	Eficiencia ($1/\gamma$)
Asturias	1,2216	0,8186
Baleares	1,0882	0,9189
Canarias	1,0705	0,9341
Andalucía	1,0439	0,9580
País Vasco	1	1

Tabla 17. Comunidades ineficientes año 2016.

Cabe destacar que la región vasca se convierte en competitiva en dicho periodo. Su ineficiencia en 2015 era prácticamente nula, con lo que cualquier pequeña variación de las variables que se tienen en cuenta en este análisis puede haber propiciado que pase a formar parte del amplio grupo de DMUs competitivas que se

determinan. En 2016, las sugerencias de mejora en términos de aproximación a otras comunidades para las comunidades con eficiencia inferior a 1 son las siguientes:

- Asturias, con una eficiencia del 81,86%, debe tomar como referencia Cantabria y Galicia, en un 73,5% y un 26,5% respectivamente. Respecto a 2015, el protagonismo de Cantabria disminuye unos puntos, desapareciendo Valencia y entrando como nueva referencia la región gallega.
- Baleares, con un 91,89%, se proyecta sobre Castilla – La Mancha, Extremadura y Comunidad de Madrid, principalmente sobre la segunda, hasta alcanzar una similitud del 98,88%. En este caso, se sigue teniendo como principal referente a Extremadura, manteniéndose entorno al 98%.
- Canarias, 93,41%, también deberá asemejarse sobre todo a Extremadura, en un 97,94%, otorgando a la Comunidad Valenciana un pequeño porcentaje del 2,06%. Esta comunidad mantiene sus referentes respecto al periodo anterior.
- Andalucía, con una eficiencia del 95,8%, 1,32 puntos por debajo de la que mostraba en 2015, mantiene su abanico de cuatro referentes, aunque en este caso otorga mayor protagonismo a la Comunidad Valenciana, a la que deberá aproximarse en un 64,04%. Las otras tres son Aragón, Galicia y Comunidad de Madrid, con unos valores del 11,88%, 15,75% y del 8,32%, respectivamente.
- El País Vasco, cuya eficiencia alcanza el 100%, pasa a ser integrante de la frontera eficiente, aunque ninguna de las regiones que continúan siendo ineficientes se proyectan sobre ella, ya que probablemente se encuentre fuera de sus zonas de mejora.

Al elegir una orientación de salida, se da prioridad al aumento de los outputs, es decir, al posible incremento del gasto en I+D, del número de empleados y/o del porcentaje de alta tecnología. De hecho, la siguiente tabla muestra que el coste laboral, la única entrada del modelo, se mantiene sin variaciones en todos los casos: en las comunidades competitivas porque ya funcionan correctamente con dichos valores, y en las no competitivas porque las medidas no han de ir encaminadas a una disminución de estos costes.

	Coste Laboral Total Sector Industrial (millones €)			
	(entrada)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	7.774,9	7.774,9	8.486,7	8.486,7
Aragón	3.899,8	3.899,8	3.744,8	3.744,8
Asturias	2.217,6	2.217,6	2.404,6	2.404,6
Baleares	1.177,6	1.177,6	1.076,2	1.076,2
Canarias	1.070,8	1.070,8	1.220,9	1.220,9
Cantabria	1.286,0	1.286,0	1.362,4	1.362,4
Castilla y León	5.231,6	5.231,6	5.631,7	5.631,7
Castilla - La Mancha	3.511,8	3.511,8	3.770,2	3.770,2
Cataluña	23.683,7	23.683,7	23.693,4	23.693,4
Comunidad Valenciana	10.167,1	10.167,1	9.838,8	9.838,8
Extremadura	1.028,9	1.028,9	1.039,9	1.039,9
Galicia	5.094,2	5.094,2	5.295,7	5.295,7
Comunidad de Madrid	11.635,0	11.635,0	10.893,2	10.893,2
Navarra	2.492,3	2.492,3	2.609,2	2.609,2
País Vasco	7.858,1	7.858,1	8.702,2	8.702,2
La Rioja	1.056,4	1.056,4	1.045,4	1.045,4

Tabla 18. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Coste Laboral.

Las siguientes tablas recogen los resultados para cada una de las salidas del modelo. Para las comunidades eficientes, DEA mantiene los valores previos por el mismo motivo, mientras que para las que son ineficientes, en todos los casos se ha de producir un aumento de sus valores iniciales para la mejora de la competitividad.

También se incluyen las tablas de Coste Laboral Medio y Gasto Medio en I+D, ya que son los valores que se emplearán para la representación gráfica de los resultados al final de este capítulo.

	Número de Ocupados Total Sector Industrial (personas) (salida)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	228.750	239.271	250.625	262.060
Aragón	109.825	109.825	105.200	105.200
Asturias	56.375	65.562	57.425	70.149
Baleares	37.825	41.348	35.400	38.523
Canarias	35.775	37.938	40.450	43.303
Cantabria	34.750	34.750	37.075	37.075
Castilla y León	153.250	153.250	163.725	163.725
Castilla - La Mancha	112.525	112.525	120.475	120.475
Cataluña	582.100	582.100	583.550	583.550
Comunidad Valenciana	328.475	328.475	319.475	319.475
Extremadura	36.600	36.600	37.500	37.500
Galicia	159.550	159.550	161.900	161.900
Comunidad de Madrid	256.100	256.100	233.850	233.850
Navarra	64.400	64.400	67.175	67.175
País Vasco	183.375	184.677	201.050	201.050
La Rioja	33.700	33.700	32.900	32.900

Tabla 19. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Número de Ocupados.

	Coste Laboral Medio Sector Industrial (€/empleado)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	33.989	32.494	33.862	32.385
Aragón	35.510	35.510	35.597	35.597
Asturias	39.337	33.825	41.873	34.278
Baleares	31.132	28.479	30.402	27.937
Canarias	29.931	28.225	30.183	28.195
Cantabria	37.007	37.007	36.748	36.748
Castilla y León	34.138	34.138	34.397	34.397
Castilla - La Mancha	31.209	31.209	31.295	31.295
Cataluña	40.687	40.687	40.602	40.602
Comunidad Valenciana	30.952	30.952	30.797	30.797
Extremadura	28.112	28.112	27.729	27.729
Galicia	31.928	31.928	32.710	32.710

Coste Laboral Medio Sector Industrial (€/empleado)					
		2015		2016	
		Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Comunidad de Madrid		45.432	45.432	46.582	46.582
Navarra		38.700	38.700	38.842	38.842
País Vasco		42.853	42.550	43.284	43.284
La Rioja		31.346	31.346	31.774	31.774

Tabla 20. Coste Laboral Medio, calculado a partir del Coste Laboral Total entre el Total de Ocupados en la Industria.

Aunque el coste laboral total permanezca igual, dado que el número de ocupados sí ha de incrementarse en las comunidades no competitivas, el coste laboral medio variará.

Gasto en I+D en Alta Tecnología (millones €) (salida)					
		2015		2016	
		Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía		116,1	121,5	149,9	156,7
Aragón		89,5	89,5	84,4	84,4
Asturias		9,6	25,1	8,8	25,4
Baleares		1,2	3,0	2,1	2,3
Canarias		0,6	1,5	0,6	3,7
Cantabria		13,5	13,5	12,7	12,7
Castilla y León		70,0	70,0	98,7	98,7
Castilla - La Mancha		58,3	58,3	63,9	63,9
Cataluña		727,4	727,4	826,0	826,0
Comunidad Valenciana		123,8	123,8	128,2	128,2
Extremadura		1,0	1,0	1,1	1,1
Galicia		64,4	64,4	60,4	60,4
Comunidad de Madrid		670,5	670,5	661,6	661,6
Navarra		72,2	72,2	75,1	75,1
País Vasco		267,6	386,8	282,8	282,8
La Rioja		2,8	2,8	2,2	2,2

Tabla 21. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Gasto en I+D en Alta Tecnología.

En Asturias en 2015 se destina a este propósito una cantidad de 9,6 millones de euros, muy por debajo de la recomendación que ofrece el análisis por envoltura de datos, que estima que debería haber ascendido a los 25,1 millones. En 2016 ocurre algo muy parecido.

Sin embargo, en Andalucía, aunque también debería incrementar la inversión en algo más de 5 millones de euros en 2015, y en casi 7 millones en 2016, no es comparable a la situación de Asturias: para el año 2015, por ejemplo, la inversión en Asturias debería aumentar un 161,94%, mientras que en Andalucía debería hacerlo un 4,60% (las variaciones porcentuales se recogen más adelante en la Tabla 24).

El caso del País Vasco es un tanto peculiar, ya que, aunque se recomienda que este gasto ascienda a 386,8

millones, un incremento del 44,6%, al año siguiente, quedándose en los 282,8 millones alcanza la eficiencia. Esto puede deberse a que de un año a otro sus entradas y salidas se han visto modificadas, y aunque no hayan seguido las recomendaciones aquí obtenidas, pueden haber resultado fructíferas. DEA aporta una solución que permite alcanzar la competitividad, pero dicha solución no tiene por qué ser única.

	Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología (€/empleado)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	508	508	598	598
Aragón	815	815	803	803
Asturias	170	383	153	362
Baleares	32	72	60	60
Canarias	16	41	16	86
Cantabria	389	389	344	344
Castilla y León	457	457	603	603
Castilla - La Mancha	518	518	530	530
Cataluña	1.250	1.250	1.415	1.415
Comunidad Valenciana	377	377	401	401
Extremadura	27	27	30	30
Galicia	404	404	373	373
Comunidad de Madrid	2.618	2.618	2.829	2.829
Navarra	1.121	1.121	1.118	1.118
País Vasco	1.459	2.094	1.407	1.407
La Rioja	84	84	65	65

Tabla 22. Gasto Medio en I+D, calculado a partir del Gasto Total en I+D entre el Total de Ocupados en la Industria.

Es curioso observar que el gasto medio en I+D en Andalucía no varía, debido a que el gasto total se incrementa en la misma medida que el número de ocupados en la industria. Ocurre lo mismo para Baleares en 2016.

	Industria de Alta Tecnología (%) (salida)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	21,48	23,13	21,01	26,57
Aragón	47,48	47,48	47,65	47,65
Asturias	16,79	28,48	18,04	27,10
Baleares	4,49	9,73	4,07	9,61
Canarias	6,23	9,58	7,56	9,73
Cantabria	29,23	29,23	28,51	28,51
Castilla y León	26,94	26,94	27,49	27,49
Castilla - La Mancha	19,47	19,47	20,23	20,23

	Industria de Alta Tecnología (%) (salida)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Cataluña	36,11	36,11	35,81	35,81
Comunidad Valenciana	22,12	22,12	21,94	21,94
Extremadura	9,52	9,52	9,47	9,47
Galicia	22,47	22,47	23,17	23,17
Comunidad de Madrid	38,98	38,98	38,58	38,58
Navarra	42,09	42,09	40,78	40,78
País Vasco	37,58	43,13	37,48	37,48
La Rioja	13,59	13,59	13,37	13,37

Tabla 23. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Porcentaje de Industria de Alta Tecnología.

La Tabla 24 muestra los aumentos en tanto por ciento que deberían experimentar las salidas de nuestro problema. Permite observar la relación que existe entre la ineficiencia y la magnitud de la mejora de su modo de operación que debe realizar cada comunidad. Si recordamos el análisis de eficiencia, Asturias obtenía el valor más bajo en ambos periodos, por lo que en general, los incrementos de sus variables de salida son superiores a los que deberían experimentar las de Andalucía, por ejemplo, cuya eficiencia era la segunda mejor.

	Gasto I+D		Ocupados		% A.T.	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Asturias	161,94%	189,51%	16,30%	22,16%	69,61%	50,21%
Baleares	145,23%	8,82%	9,31%	8,82%	116,72%	136,00%
Canarias	176,84%	478,56%	6,05%	7,05%	53,71%	28,66%
Andalucía	4,60%	4,56%	4,60%	4,56%	7,69%	26,45%
País Vasco	44,55%	-	0,71%	-	14,77%	-

Tabla 24. Variaciones porcentuales de los outputs.

En general, la salida que más varía con respecto a los valores originales es la inversión destinada a I+D en el ámbito de la industria de tecnología más avanzada, seguida del porcentaje de industria de alta tecnología. Por último, aunque de forma menos representativa, debería aumentar el número de personas contratadas en el sector industrial.

También es interesante mostrar las variaciones que han de experimentar las variables relativas:

	Coste Laboral Medio		Gasto Medio I+D	
	2015	2016	2015	2016
Asturias	-14,01%	-18,14%	125,24%	137,00%
Baleares	-8,52%	-8,11%	124,33%	-
Canarias	-5,70%	-6,59%	161,06%	440,44%
Andalucía	-4,40%	-4,36%	-	-
País Vasco	-0,71%	-	43,53%	-

Tabla 25. Variaciones porcentuales las variables relativas.

8.2 Interpretación de los resultados

La gran similitud entre los datos y los resultados obtenidos para los dos periodos temporales estudiados, 2015 y 2016, hace que no resulte de especial interés un análisis exhaustivo de ambos espacios de tiempo. Por ello, se opta por centrar este apartado en la discusión de los resultados para el año 2016, el más reciente, para el caso de orientación de salida que, como se ha comentado repetidas veces, es el que realmente interesa por el contexto en el que se plantea el problema de la competitividad de las comunidades.

Una vez expuestos los resultados obtenidos para tratar de mejorar la competitividad de las comunidades ineficientes, se pretende ahora llevar a cabo una interpretación global de éstos, relacionándolos entre sí, que explique la realidad a la que se enfrentan las regiones españolas.

Las figuras a continuación, muy similares a las que se incluyeron en el capítulo de Datos, muestran la evolución que deberían experimentar las comunidades que se declaran como no competitivas si intentasen mejorar su eficiencia en base a lo comentado en el capítulo anterior.

Resultados

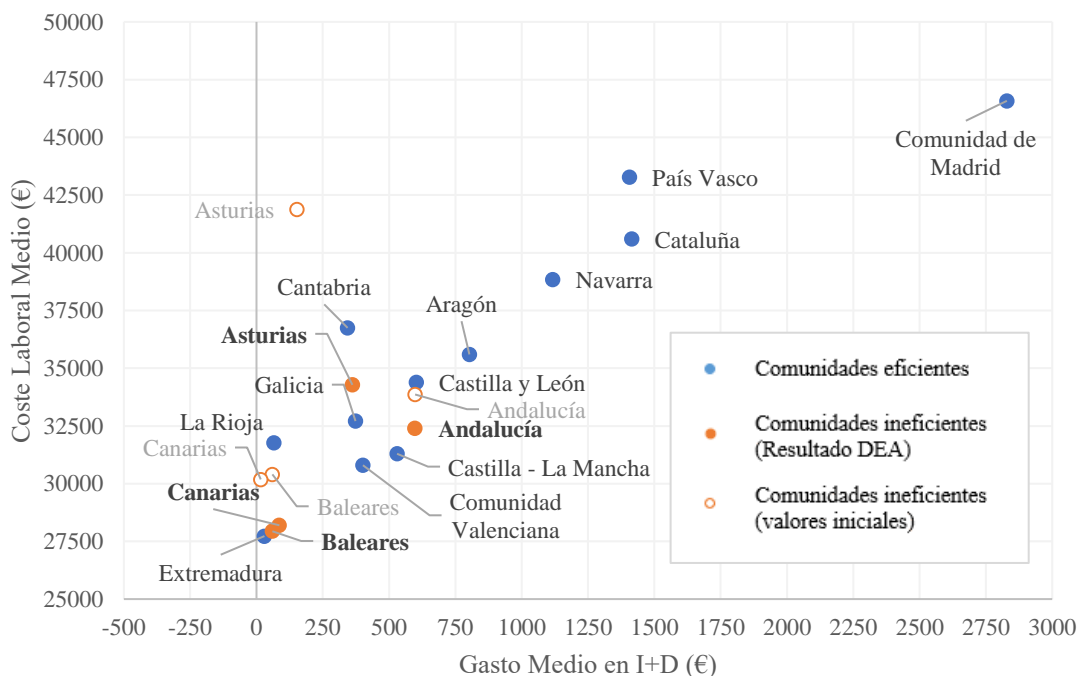


Figura 32. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D.

Resultados

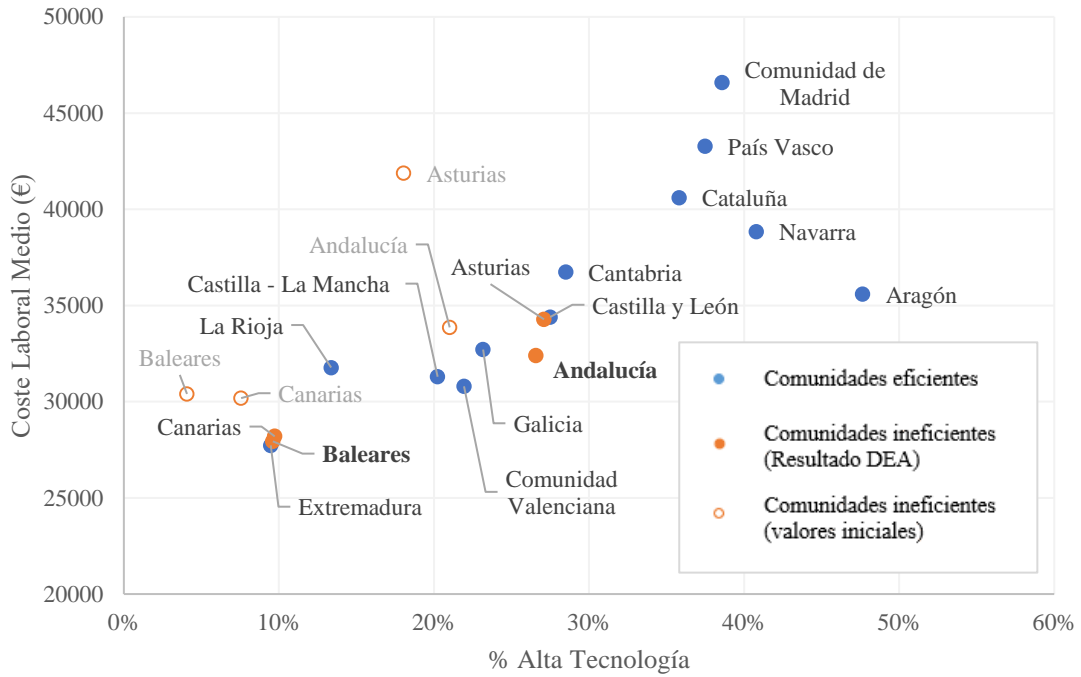


Figura 33. Coste Laboral Medio frente a Gasto Medio en I+D.

Resultados

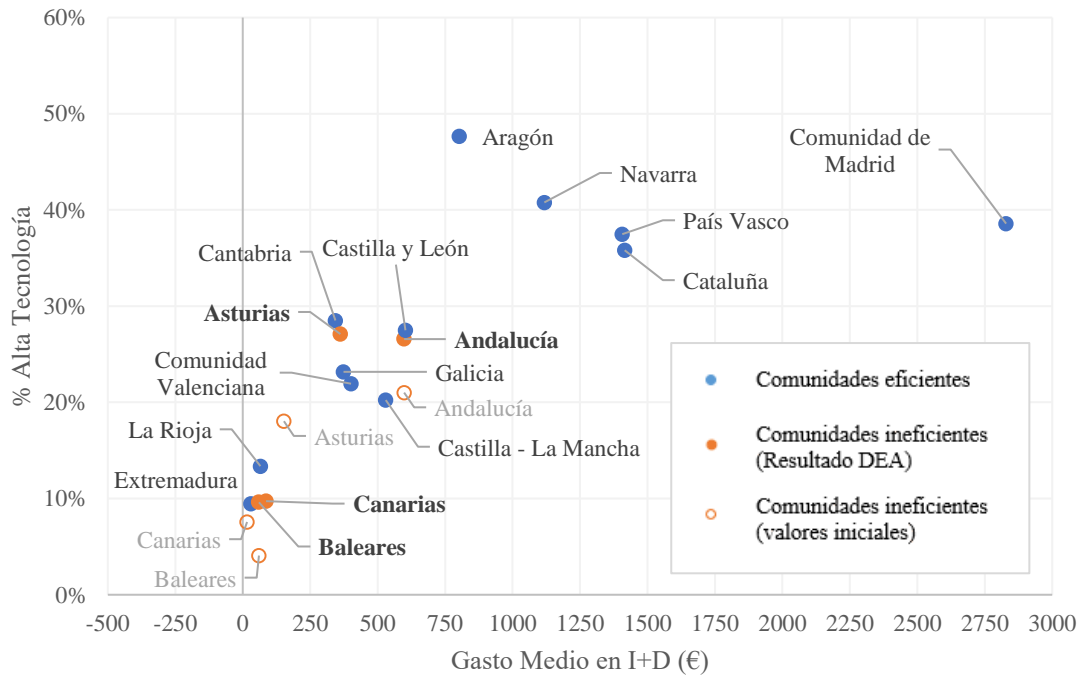


Figura 34. Porcentaje de Alta Tecnología frente a Gasto Medio en I+D.

Los puntos azules representan a las comunidades competitivas. Dichas comunidades, al ser ya eficientes, no requieren de la puesta en marcha de medidas para mejorar su situación, por lo que su ubicación en estas gráficas coincide con las del capítulo 3. Los puntos naranjas vacíos, representan los valores iniciales que tomaban las variables en las regiones no competitivas, y los rellenos, las nuevas posiciones a las que DEA propone que deben evolucionar mejorando su gestión.

Ambos **archipiélagos** se enfrentan a escenarios muy similares, desplazándose hacia ubicaciones que prácticamente coinciden. En términos generales, los costes laborales medios disminuyen entre 2.000 y 2.500 euros anuales, al mismo tiempo que se considera positivo un aumento del nivel tecnológico de ambas comunidades hasta alcanzar casi un 10% de industria de tecnología avanzada, variación que es más acusada en Baleares, que parte de un 4% (frente al 7,6% de Canarias). Por su parte, el gasto en I+D se debería mantener en Baleares mientras que en Canarias debería incrementarse desde los 16 millones que se invierten hasta los 86 millones de euros que se recomiendan.

Se considera que Baleares deber ser capaz de incrementar su nivel tecnológico en torno a un 6% adicional, mediante una reducción del coste laboral medio de unos 2.500 €/año y el mantenimiento de los fondos dedicados a investigación y desarrollo.

Canarias, del mismo modo, puede incrementar su industria altamente tecnológica en algo menos de un 2% adicional aumentando su inversión en I+D de forma más o menos significativa y llevando a cabo una reducción de los costes laborales un poco menor que en Baleares.

La realidad insular hace que el coste laboral promedio sea más elevado de lo que debería en relación con el nivel tecnológico que poseen ambas comunidades, lo que puede venir influido por el turismo, por ejemplo, ya que probablemente se estime preferible priorizar las subvenciones e inversiones en el sector servicios que en el desarrollo tecnológico del sector secundario, además de una serie de factores exógenos al análisis llevado a cabo.

En **Andalucía** también se estima conveniente una disminución salarial que haría descender el coste laboral medio alrededor de 1.500 euros anuales por trabajador, manteniéndose el gasto medio en I+D que se tiene, 598 €/empleado anuales, y buscando una manera de promocionar la industria de alta tecnología, que constituye el 21% del sector, hasta el 27%. Ya que no se considera el incremento del gasto en investigación y desarrollo en industria de alta tecnología, otras alternativas serían la adquisición de maquinaria y equipos más potentes que permitieran una modernización de las instalaciones industriales y una mejora la productividad de los procesos.

En el caso andaluz, el coste laboral medio es inferior al valor promedio en España, pero está justificado por el bajo nivel tecnológico por el que se caracteriza. Siendo a comienzos del siglo XIX la segunda región más industrializada del país, un siglo después su grado de industrialización había descendido a menos del 50%, tendencia negativa que continua con la posterior falta de potenciación de la tecnología. El tejido industrial es muy desigual en esta comunidad, encontrándose zonas muy industrializadas, sobre todo en las provincias de Málaga, Sevilla, Córdoba, el Campo de Gibraltar y la Ría de Huelva, frente a otras donde predominan actividades de otros sectores, como el turismo o la actividad agrícola. La mayoría de las industrias se dedican a la transformación de materias primas agrarias y minerales, y además son de pequeño tamaño. Otras son la industria química y petroquímica, la automovilística y la aeronáutica (Industria en Andalucía, s.f). Estas últimas se pueden ubicar dentro de la industria de alta tecnología, por lo que la potenciación de estos sectores ofrecería un aumento de la competitividad de esta comunidad dentro del panorama nacional e internacional.

Por último, **Asturias** es la comunidad que debe llevar a cabo los cambios más drásticos. Erigiéndose como la tercera comunidad autónoma con los costes laborales más elevados en 2016, es fácil deducir que los empleados en este sector perciben una remuneración que no concuerda con el nivel tecnológico regional, que es inferior incluso al de Andalucía, contando con sólo un 18% de industrias altamente tecnológicas. Ocupa el quinto peor puesto en el ranking de alta tecnología. De hecho, algunas de las actividades predominantes son la minería y la metalurgia, que se ubican en el estrato de nivel medio de tecnología. Además, la inversión media por empleado en investigación y desarrollo también es una de las más bajas, por lo que incluso sin haber llevado a cabo el análisis DEA podríamos haber concluido que esta comunidad no es competitiva en los términos en que aquí se evalúa la competitividad.

Como no puede ser de otro modo, los resultados obtenidos proponen una reducción significativa de los salarios y por tanto de los costes laborales, de los 41.800 €/año a algo menos de los 34.300 €/año, unos 7.500 € de

diferencia. Obviamente se considera necesario estimular el sector industrial de alta tecnología hasta conseguir que se sitúe en torno al 27%. Finalmente, se plantea un incremento del gasto medio en I+D de 153 euros por empleado a casi 362 euros, más del doble.

Aunque las comunidades menos competitivas son las que merecen una atención mayor, también es interesante analizar el caso de algunas de las comunidades que sí lo son.

El caso de **Extremadura** destacaría por tratarse de la comunidad con el coste laboral más bajo del país, aunque atendiendo a las otras variables no resulta extraño que “dentro de su tamaño” hablando en términos de DEA, es decir, dentro del grupo de comunidades que operan unas cantidades de recursos parecidas, resulte ser eficiente. Su nivel de tecnología es solamente superior a los que se tienen en las islas y, de hecho, DEA aconseja que ambos archipiélagos han de aproximarse al nivel tecnológico de la comunidad extremeña, superándolo incluso en un 1% (es decir, al encontrarse en el mismo rango, Baleares y Canarias, como ya vimos, toman a Extremadura como referente). Por otro lado, la inversión en I+D es bastante reducida, una de las más bajas. Si las islas tratasen de mejorar su situación según este análisis, quedaría relegada a la última posición en el ranking de I+D.

Resulta relevante comentar la situación de la **Comunidad de Madrid**, pues es la que se ubica más hacia el área superior derecha de las gráficas, ocupando además una posición que se aleja notablemente de las más cercanas, sobre todo si se presta atención a la inversión en I+D. Esto quiere decir que es la región española con mayores costes laborales, con más gasto en I+D, pero sin embargo no tiene el nivel de tecnología más elevado, siendo superada por Navarra y Aragón. Su eficiencia puede ser justificable dado que, aunque su nivel tecnológico no sea el más destacado, sí que lo es de forma evidente el gasto en I+D. Este gran compromiso con el desarrollo tecnológico indica que se está siguiendo el camino adecuado para en un futuro ser la comunidad con la industria más puntera.

Es también llamativa la situación de **Aragón**. Se trata de la comunidad con el mayor porcentaje de industria altamente tecnológica, superando a la Comunidad de Madrid, Cataluña, País Vasco y Navarra donde los costes laborales medios son más elevados y también se destinan más fondos a investigación más desarrollo. Por lo tanto, y aunque DEA otorgue a todas ellas el estatus de competitivas, se puede decir que la gestión llevada a cabo en Aragón es mejor que la de estas otras cuatro regiones, pues con menores costes laborales y menor gasto medio en I+D consigue tener una industria en la que los sectores altamente tecnológicos destacan sin duda. La comunidad aragonesa resultaría más atractiva que las otras para los inversores, pudiendo utilizar esto como reclamo para aumentar la inversión extranjera.

Por último, como ya se comentó, el **País Vasco** formaba parte del grupo de comunidades no competitivas en 2015, aunque cabe recordar que se encontraba al borde de conseguir la eficiencia. Esto lleva a pensar que alguna mejora en las variables que aquí se analizan se tradujeron de un año a otro en la mejora de su eficiencia de forma que se acabó transformando en competitiva. Como ya se comentó antes, resulta llamativo que esta mejora no coincida con la que propuso DEA para ella en el año 2015. Esto quiere decir que, aunque DEA propone una solución al problema de la competitividad, no tiene por qué ser la única viable.

8.3 Posibles medidas para alcanzar los objetivos anteriores

Llegado este punto, es necesario traducir los resultados obtenidos en medidas reales cuya implantación permita a las comunidades menos eficientes encaminarse hacia un impulso de su competitividad.

El coste laboral total (en valor absoluto), recordemos, era la variable con menor prioridad a ser modificada y, de hecho, sus valores se mantienen constantes. Sin embargo, el coste laboral medio requiere de forma generalizada una disminución en las regiones ineficientes, debida al disimulado incremento del número de empleados. Además, aunque el nivel tecnológico de las comunidades ha de potenciarse, no se llegará a alcanzar en ningún caso un nivel que explique el coste medio que representa un trabajador actualmente.

Una forma de llevar a cabo esta reducción del coste laboral medio pasa por la negociación de los convenios colectivos. Los sindicatos de trabajadores previsiblemente se opondrán a cualquier ajuste salarial, por lo que habrá que diseñar fórmulas que incluyan medidas compensatorias, como una disminución de horas de jornada laboral o un incremento de los pluses de nocturnidad o por ejecución de actividades peligrosas y de las primas por horas extras.

Para favorecer el desarrollo tecnológico, se deberían destinar fondos nacionales y europeos a subvenciones para aquellas empresas que muestren interés por ampliar sus horizontes tecnológicos y que cumplan una serie de requisitos que aseguren la inversión de esos fondos se realizará con los fines con que se conceden. También podrían organizarse jornadas en las que empresas ubicadas dentro de los sectores de alta tecnología y que hayan demostrado un compromiso real con el avance tecnológico, muestren en qué consiste su actividad y de qué forma la desarrollan para atraer a los jóvenes emprendedores hacia dichos sectores, así como a empresas similares a llevar a cabo cambios en su forma de operación. Podrían ofrecerse incentivos a las empresas que presenten ponentes a dichas conferencias.

En la misma línea, se podrían poner en marcha congresos donde se reúnan las confederaciones de empresarios y las cámaras de comercio regionales, en los que las comunidades mejor situadas en el ranking de competitividad expongan casos de éxito que sirvan de ejemplo a las demás y den idea a las regiones que no son lo suficientemente competitivas de qué comunidades han de tomar como espejo y, sobre todo, qué prácticas concretas podrían adoptar.

8.4 Análisis complementario

De forma complementaria, el problema se resuelve con orientación de entrada. En este caso, se prioriza la reducción del coste laboral, la única entrada, por lo que estos resultados son de menor interés que los del caso con orientación de salida desde el punto de vista desde el que se pretende analizar el problema de la competitividad. Sin embargo, al formar parte del desarrollo del proyecto, y porque permite mostrar la mayor conveniencia de la orientación de salida, se exponen a continuación los resultados que proporciona esta resolución. Finalmente, se realiza un breve comentario al respecto.

AÑO 2015			Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Comunidad de Madrid	Navarra	País Vasco	La Rioja
			TETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Andalucía	1	0,9442	0	0	0	0	0	0,3267	0	0	0	0,6214	0	0	0,0519	0	0	0
Aragón	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asturias	3	0,8590	0	0	0	0	0	0,7220	0	0,2780	0	0	0	0	0	0	0	0
Baleares	4	0,9063	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0042	0,9958	0	0	0	0	0
Canarias	5	0,9609	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Cantabria	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla y León	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla - La Mancha	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cataluña	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Comunidad Valenciana	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Extremadura	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Galicia	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Comunidad de Madrid	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Navarra	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
País Vasco	15	0,9912	0	0,4972	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5028	0	0	0
La Rioja	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 26. Valores de Teta. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias (Año 2015)

AÑO 2016			Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Comunidad de Madrid	Navarra	País Vasco	La Rioja
			TETA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Andalucía	1	0,9533	0	0	0	0	0	0,2172	0	0	0	0,6951	0	0	0,0877	0	0	0
Aragón	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Asturias	3	0,8109	0	0	0	0	0	0,7560	0	0,2440	0	0	0	0	0	0	0	0
Baleares	4	0,9756	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5107	0	0,0008	0	0	0,4886
Canarias	5	0,9271	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0105	0,9895	0	0	0	0	0
Cantabria	6	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla y León	7	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castilla - La Mancha	8	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Cataluña	9	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Comunidad Valenciana	10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Extremadura	11	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Galicia	12	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Comunidad de Madrid	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Navarra	14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
País Vasco	15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
La Rioja	16	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Tabla 27. Valores de Teta. Proyección sobre otras comunidades para mejorar las ineficiencias (Año 2016)

2015		2016	
	Eficiencia (θ)		Eficiencia (θ)
Asturias	0,8590	Asturias	0,8109
Baleares	0,9063	Canarias	0,9271
Andalucía	0,9442	Andalucía	0,9533
Canarias	0,9609	Baleares	0,9756
País Vasco	0,9912	País Vasco	1

Tabla 28. Comunidades ineficientes.

	Coste Laboral Total Sector Industrial (millones €) (entrada)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	7.774,9	7.341,4	8.486,7	8.090,1
Aragón	3.899,8	3.899,8	3.744,8	3.744,8
Asturias	2.217,6	1.904,9	2.404,6	1.949,9
Baleares	1.177,6	1.067,2	1.076,2	1.049,9
Canarias	1.070,8	1.028,9	1.220,9	1.131,9
Cantabria	1.286,0	1.286,0	1.362,4	1.362,4
Castilla y León	5.231,6	5.231,6	5.631,7	5.631,7
Castilla - La Mancha	3.511,8	3.511,8	3.770,2	3.770,2
Cataluña	23.683,7	23.683,7	23.693,4	23.693,4
Comunidad Valenciana	10.167,1	10.167,1	9.838,8	9.838,8
Extremadura	1.028,9	1.028,9	1.039,9	1.039,9
Galicia	5.094,2	5.094,2	5.295,7	5.295,7
Comunidad de Madrid	11.635,0	11.635,0	10.893,2	10.893,2
Navarra	2.492,3	2.492,3	2.609,2	2.609,2
País Vasco	7.858,1	7.789,2	8.702,2	8.702,2
La Rioja	1.056,4	1.056,4	1.045,4	1.045,4

Tabla 29. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Coste Laboral.

	Número de Ocupados Total Sector Industrial (personas) (salida)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	228.750	228.750	250.625	250.625
Aragón	109.825	109.825	105.200	105.200
Asturias	56.375	56.375	57.425	57.425
Baleares	37.825	37.825	35.400	35.400
Canarias	35.775	36.600	40.450	40.450

Número de Ocupados Total Sector Industrial (personas) (salida)				
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Cantabria	34.750	34.750	37.075	37.075
Castilla y León	153.250	153.250	163.725	163.725
Castilla - La Mancha	112.525	112.525	120.475	120.475
Cataluña	582.100	582.100	583.550	583.550
Comunidad Valenciana	328.475	328.475	319.475	319.475
Extremadura	36.600	36.600	37.500	37.500
Galicia	159.550	159.550	161.900	161.900
Comunidad de Madrid	256.100	256.100	233.850	233.850
Navarra	64.400	64.400	67.175	67.175
País Vasco	183.375	183.375	201.050	201.050
La Rioja	33.700	33.700	32.900	32.900

Tabla 30. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Número de Ocupados.

Coste Laboral Medio Sector Industrial (€/empleado)				
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	33.989	32.093	33.862	32.280
Aragón	35.510	35.510	35.597	35.597
Asturias	39.337	33.789	41.873	33.956
Baleares	31.132	28.215	30.402	29.659
Canarias	29.931	28.112	30.183	27.983
Cantabria	37.007	37.007	36.748	36.748
Castilla y León	34.138	34.138	34.397	34.397
Castilla - La Mancha	31.209	31.209	31.295	31.295
Cataluña	40.687	40.687	40.602	40.602
Comunidad Valenciana	30.952	30.952	30.797	30.797
Extremadura	28.112	28.112	27.729	27.729
Galicia	31.928	31.928	32.710	32.710
Comunidad de Madrid	45.432	45.432	46.582	46.582
Navarra	38.700	38.700	38.842	38.842
País Vasco	42.853	42.477	43.284	43.284
La Rioja	31.346	31.346	31.774	31.774

Tabla 31. Coste Laboral Medio, calculado a partir del Coste Laboral Total entre el Total de Ocupados en la Industria.

	Gasto en I+D en Alta Tecnología (millones €) (salida)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	116,1	116,1	149,9	149,9
Aragón	89,5	89,5	84,4	84,4
Asturias	9,6	26,0	8,8	25,2
Baleares	1,2	1,5	2,1	2,1
Canarias	0,6	1,0	0,6	2,5
Cantabria	13,5	13,5	12,7	12,7
Castilla y León	70,0	70,0	98,7	98,7
Castilla - La Mancha	58,3	58,3	63,9	63,9
Cataluña	727,4	727,4	826,0	826,0
Comunidad Valenciana	123,8	123,8	128,2	128,2
Extremadura	1,0	1,0	1,1	1,1
Galicia	64,4	64,4	60,4	60,4
Comunidad de Madrid	670,5	670,5	661,6	661,6
Navarra	72,2	72,2	75,1	75,1
País Vasco	267,6	381,6	282,8	282,8
La Rioja	2,8	2,8	2,2	2,2

Tabla 32. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable Gasto en I+D en Alta Tecnología.

	Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología (€/empleado)			
	2015		2016	
	Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía	508	508	598	598
Aragón	815	815	803	803
Asturias	170	461	153	439
Baleares	32	40	60	60
Canarias	16	27	16	61
Cantabria	389	389	344	344
Castilla y León	457	457	603	603
Castilla - La Mancha	518	518	530	530
Cataluña	1.250	1.250	1.415	1.415
Comunidad Valenciana	377	377	401	401
Extremadura	27	27	30	30
Galicia	404	404	373	373
Comunidad de Madrid	2.618	2.618	2.829	2.829
Navarra	1.121	1.121	1.118	1.118

Gasto Medio en I+D en Alta Tecnología (€/empleado)					
		2015		2016	
		Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
País Vasco		1.459	2.081	1.407	1.407
La Rioja		84	84	65	65

Tabla 33. Gasto Medio en I+D, calculado a partir del Gasto Total en I+D entre el Total de Ocupados en la Industria.

Industria de Alta Tecnología (%) (salida)					
		2015		2016	
		Valor inicial	Resultado DEA	Valor inicial	Resultado DEA
Andalucía		21,48	25,31	21,01	24,82
Aragón		47,48	47,48	47,65	47,65
Asturias		16,79	26,51	18,04	26,49
Baleares		4,49	9,57	4,07	11,40
Canarias		6,23	9,52	7,56	9,60
Cantabria		29,23	29,23	28,51	28,51
Castilla y León		26,94	26,94	27,49	27,49
Castilla - La Mancha		19,47	19,47	20,23	20,23
Cataluña		36,11	36,11	35,81	35,81
Comunidad Valenciana		22,12	22,12	21,94	21,94
Extremadura		9,52	9,52	9,47	9,47
Galicia		22,47	22,47	23,17	23,17
Comunidad de Madrid		38,98	38,98	38,58	38,58
Navarra		42,09	42,09	40,78	40,78
País Vasco		37,58	43,21	37,48	37,48
La Rioja		13,59	13,59	13,37	13,37

Tabla 34. Valores iniciales y valores sugeridos por DEA para la variable % de Industria de Alta Tecnología.

	Coste Laboral		Gasto I+D		Ocupados		% A.T.	
	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Asturias	-14,10%	-18,91%	171,04%	187,59%	-	-	57,89%	46,86%
Baleares	-9,37%	-2,44%	23,10%	-	-	-	113,33%	179,95%
Canarias	-3,91%	-7,29%	75,76%	279,84%	2,31%	-	52,78%	27,00%
Andalucía	-5,58%	-4,67%	-	-	-	-	17,85%	18,13%
País Vasco	-0,88%	-	42,62%	-	-	-	14,97%	-

Tabla 35. Variaciones porcentuales de las variables.

	Coste Laboral Medio		Gasto Medio I+D	
	2015	2016	2015	2016
Asturias	-14,10%	-18,91%	171,04%	187,59%
Baleares	-9,37%	-2,44%	23,10%	-
Canarias	-6,08%	-7,29%	71,80%	279,84%
Andalucía	-5,58%	-4,67%	-	-
País Vasco	-0,88%	-	42,62%	-

Tabla 36. Variaciones porcentuales de las variables relativas.

Como se comentó al principio del apartado, al considerarse orientación de entrada, el primer objetivo es la disminución de los inputs, es decir, del coste laboral. A diferencia del caso anterior, esta variable deberá disminuirse en todos los casos excepto en el caso del País Vasco en 2016, ya que se convierte en comunidad eficiente como también ocurría en orientación de salida.

Por su parte las salidas varían de forma diferente respecto al caso con orientación del salida. El número de ocupados no debería modificarse excepto en una de las nueve situaciones (años 2015 y 2016 para las 5 comunidades ineficientes sin contar el País Vasco en 2016), la inversión en I+D no tendrá que incrementarse en Andalucía, pero sí en el resto de comunidades, y el nivel tecnológico deberá aumentar de forma generalizada en diferentes medidas.

9 EL CASO DE ANDALUCÍA. COHERENCIA CON LA EIA 2020

Aprovechando que Andalucía es una de las comunidades que presentan problemas de competitividad, puede ser utilizada como ejemplo para analizar si los resultados aquí obtenidos guardan alguna similitud con las medidas actualmente propuestas por parte del gobierno regional para impulsar su industria.

Como se explicó en la conferencia ofrecida por Gómez Velarde (2018), la Estrategia Industrial de Andalucía 2020 (EIA 2020) se aprueba en 2013 como continuación del Plan Andaluz de Desarrollo Industrial 2008-2013 (PADI 2008-2013), con el objetivo de *“orientar la Política Industrial de Andalucía hacia la mejora del entorno empresarial y el apoyo al desarrollo de una base industrial fuerte y sostenible, con empresas capaces de competir mundialmente”*. De manera general, busca:

- El impulso de los niveles de inversión
- Reforzar la cadena de innovación
- Mejorar las condiciones y el acceso de las empresas a la financiación

El papel que juega la industria es muy importante, ya que genera un empleo más estable y de calidad que otros sectores y constituye una base más sólida para la economía. Por ello, si se pretende fortalecer la economía de una región y hacerla más competitiva, es necesario crear un tejido industrial diversificado, sostenible, fomentar la creación de empresas en sectores de alta tecnología, y que estas crezcan de la mano de la innovación.

La EIA 2020 se centra en la industria manufacturera y los servicios relacionados con la industria. Aunque para el cálculo de los porcentajes de niveles tecnológicos descartamos, como se indica en el Anexo I, el grupo 33 relativo a los servicios por considerarlos de algún modo alejados de la actividad cotidiana de la industria, hay que decir que tienen un papel muy importante en las cadenas de valor industrial, por lo que la EIA 2020 los incluye.

9.1 Rasgos de la industria andaluza

Haciendo uso del texto elaborado por la Junta de Andalucía para dar forma a la EIA 2020, se analizan a continuación los rasgos más importantes que caracterizan el tejido industrial de esta comunidad.

La importante extensión territorial de Andalucía contribuye a que sea una de las regiones con mayor tejido empresarial del país. Sin embargo, los niveles de VAB por habitante y por kilómetro cuadrado se encuentran por debajo de la media nacional y europea. Esto se debe al pequeño tamaño de las empresas; a que, aunque haya un gran número de empresas, son pocas con relación a la población; y a la baja tasa de VAB.

La **composición del tejido industrial** andaluz se muestra en el siguiente gráfico:

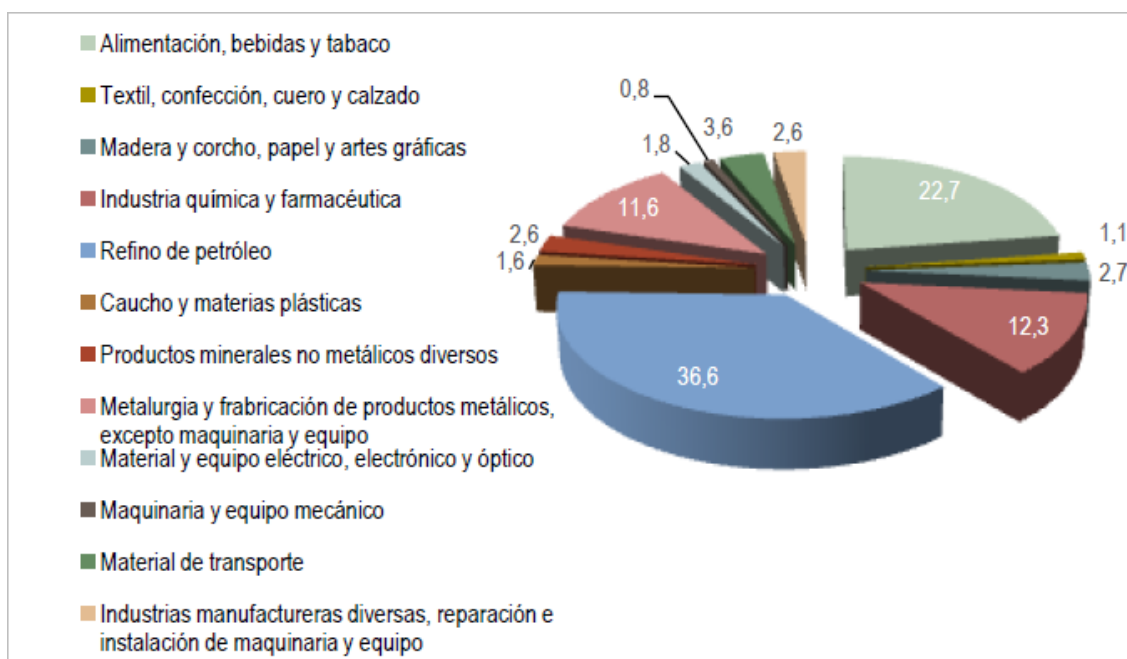


Figura 35. Porcentaje de cifra de negocio de las ramas manufactureras de Andalucía

Fuente: EIA 2020 (Encuesta Industrial de Empresas, IECA, 2012)

Las principales actividades son:

- Refino de petróleo, la que más aporta al VAB manufacturero de España.
- Alimentación, bebidas y tabaco, la que más empleo genera, con diferencia.
- Industria química y farmacéutica y metalurgia.
- Fabricación de productos metálicos.

Las demás representan tan solo una cuarta parte de la producción. Tres de estos sectores más importantes se sitúan en los niveles de tecnología media y alta (todos excepto alimentación, bebidas y tabaco).

Si comparamos la **cifra de negocios** de 2012 a la de 2016, periodo más actual de los que se estudian:

Cifra de negocios (millones de euros)	2012	2016
Alimentación, bebidas y tabaco (CNAE 10, 11, 12)	13.646	16.608
Textil, confección, cuero y calzado (CNAE 13, 14, 15)	664	723
Madera y corcho, papel y artes gráficas (CNAE 16, 17, 18)	1.629	1.511
Industria química y farmacéutica (CNAE 20, 21)	7.359	4.750
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	950	1.161
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	1.535	1.489
Metalurgia y fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo (CNAE 24, 25)	6.963	6.589

Cifra de negocios (millones de euros)	2012	2016
Material y equipo eléctrico, electrónico y óptico (CNAE 26, 27)	1.067	1.569
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	487	727
Material de transporte (CNAE 29, 30)	2.177	2.866
Industrias manufactureras diversas, reparación e instalación de maquinaria y equipo (CNAE 31, 32, 33)	1.583	1.915

Tabla 37. Cifra de negocios ramas manufactureras en 2012 y 2016.

Fuente: INE (<http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2537>; <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=28388>) y elaboración propia.

La industria química y farmacéutica ha visto empeorada su facturación en algo más de 2.500 millones euros, la metalúrgica más o menos se mantiene, y el sector de alimentación, bebidas y tabaco la aumenta en casi 3.000 millones. De refino de petróleo no se tienen datos puesto que están protegidos por secreto estadístico. La evolución no es del todo positiva, ya que el ámbito industrial que aumenta su cifra de negocios es el único que no pertenece a alta o media alta tecnología. La industria andaluza se caracteriza por un bajo porcentaje de industrias de alta y media tecnología comparado al de otras comunidades.

También experimentan un incremento de ingresos las industrias de material de transporte (en torno a 700 millones de euros) que, como ya se dijo en el capítulo anterior, se sitúan dentro de la industria de alta tecnología y cada vez cobra mayor protagonismo en Andalucía, así como las de material de equipo eléctrico, electrónico y óptico (500 millones aproximadamente).

En cuanto a la **distribución geográfica**, guardan una relación de proporcionalidad directa el tamaño de las empresas con la población de los municipios, concentrándose las más grandes en las capitales de provincias o núcleos de población más habitados. Las actividades de dichas áreas son distintas y a la vez presentan diferente **grado de diversificación**: por ejemplo, la industria química y petroquímica se concentra en la Ría de Huelva, mientras que las zonas de Málaga y Sevilla presentan una mayor diversificación. Por su parte, en el área del Campo de Gibraltar, destacan la industria química, metalúrgica y de refino de petróleo y gas.

Las empresas se caracterizan por tener un **tamaño** menor en media que en Europa y España: poseen menos empleados y menor cifra de negocios. Sin embargo, existen dos excepciones (refiriéndonos a datos de 2012 que son los que maneja la EIA 2020): la industria química y farmacéutica, con una cifra de negocios superior, y la industria aeronáutica, tanto en cifra de negocios como en número de empleados.

Además, su **productividad** varía mucho de una rama manufacturera a otra, siendo en general más discreta que la media española, tanto por hora trabajada como por ocupado. La **tasa de temporalidad** es alta, sobre todo asociada a la actividad agraria, y afectando en mayor medida a las mujeres. Sin embargo, experimentó una reducción de 2009 en adelante.

La **inversión en inmovilizado** material e inmaterial es moderada, aunque la tendencia de la segunda es creciente, por ser importante para la competitividad de las empresas. Su financiación depende de créditos bancarios, lo que ha ocasionado el cierre de muchas empresas viables económicamente a causa de las limitaciones al crédito. Además, la caída de la demanda ha hecho difícil la autofinanciación.

La **inversión extranjera** es muy baja en esta comunidad, resultando poco atractiva. Se debe en gran medida a que la inversión extranjera se imputa a la región donde se encuentra la sede de la empresa, que suele ser Madrid o Cataluña. Además, la mayor parte de esta procede de países de la UE.

A la fecha de aprobación de la EIA 2020, tan solo un 17% de las empresas consideraban necesaria la **innovación**. De ellas, muchas no lo hacían por dos motivos principales: su alto coste y la falta de financiación. Se diferencian dos tipos de innovación:

- Innovación tecnológica: I+D interna y adquisición de maquinaria, equipos, hardware y software avanzados. También, I+D externa y formación en innovación.
- Innovación no tecnológica: es más recurrente, sobre todo en tema de marketing y organización.

En cuanto a **nivel formativo de los empleados**, el nivel de idiomas es deficiente, aunque la formación en general de los ocupados en el sector industrial es notablemente mejor desde 2008. No obstante, esta mejora no se debe al aumento de personas más formadas, sino a que se ha prescindido de personal con menor preparación. La Junta de Andalucía ha tratado de crear entornos innovadores y de emprendimiento a través del Sistema Andaluz del Conocimiento (SAC), siendo claves los grupos investigadores de las Universidades Públicas.

Las **infraestructuras** por su parte son adecuadas, destacando los puertos comerciales. El único déficit es la ausencia de un modo de transporte alternativo a la carretera.

9.2 Objetivos de la EIA 2020

La EIA 2020 toma tres marcos de referencia: europeo, nacional y regional. Dichos marcos tienen en común una serie de líneas de actuación, entre las que se encuentran:

- Apoyo a las PYME: financiación de fases iniciales de inversión e innovación, aceleración del proceso de creación de empresas y que su coste máximo sea más o menos reducido...
- Apoyo a la internacionalización de las empresas: fomentar la cooperación entre socios internacionales, luchar contra la creación de obstáculos técnicos al comercio por parte de terceros países...
- Evolucionar hacia un modelo de movilidad más sostenible, que tendrá como actores principales las industrias automovilísticas y de transporte.
- Asegurar un suministro energético estable, competitivo y sostenible: Evolucionar de un modelo que dificulta la actividad industrial a otro que reduzca los costes energéticos y permita acceder a las energías más competitivas.
- Modernización industrial: estimulando la inversión en innovación y nuevas tecnologías, aumentando la productividad y haciendo un uso eficiente de los recursos.

Fijándonos directamente en el texto de la EIA 2020, los cinco objetivos principales que plantea, así como los indicadores que permiten medir el grado de consecución de los mismos son:

1. Desarrollar el tejido manufacturero andaluz
 - Elevar la aportación de la industria manufacturera y de los servicios avanzados científicos y técnicos al VAB de Andalucía hasta el 18%.
 - Aumentar en un 20% el número de empresas manufactureras y de servicios industriales de entre 10 y 50 personas trabajadoras.
 - Aumentar un 50% el VAB generado por las actividades de media y alta tecnología.
 - Reducir la intensidad energética de la industria andaluza en un 5%.
2. Aumentar el empleo industrial y su calidad
 - Incrementar el número de empleos situándolos en los niveles de antes de la crisis (533.798).
 - Reducir en un 10% la tasa de temporalidad del sector industrial manufacturero.
 - Disminuir la tasa de accidentes graves y mortales en la industria manufacturera y en los servicios avanzados científicos y técnicos en un 30%.
3. Mejorar la innovación en la industria
 - Duplicar el número de empresas manufactureras innovadoras en el sector industrial.
 - Elevar un 20% la intensidad de innovación de las empresas con actividades innovadoras del sector industrial.
 - Elevar el número de solicitudes de patentes nacionales un 50%.

- Duplicar el porcentaje de empresas del sector industrial que se incorporan al mercado digital.
4. Internacionalización de las empresas industriales fomentando la exportación
 - Aumentar un 20% el número de empresas exportadoras regulares con volumen de exportación superior a los 50.000 euros anuales.
 - Incrementar un 20% el importe de las exportaciones de las industrias manufactureras.
 - Aumentar un 50% la exportación de actividades de media y alta tecnología.
 - Elevar la Inversión Extranjera directa (IED) en la industria manufacturera y en los servicios avanzados científicos y técnicos un 30% en el marco 2014-2020.
 5. Incrementar el capital relacional del ecosistema industrial, fomentar la cooperación entre empresas.
 - Incrementar un 50% el número de empresas de la industria manufacturera con innovaciones en productos o procesos realizadas en colaboración.
 - Aumentar un 20% el porcentaje de directivas en empresas en la industria manufacturera y en los servicios avanzados científicos y técnicos.

Para tratar de lograr los objetivos anteriores se toman medidas de dos tipos:

- Horizontales: Dirigidas a todas las empresas industriales, sin importar el ámbito en el que se ubiquen. Se diferencian cinco ejes, dentro de los cuales se distinguen distintas medidas (se añaden algunas de ellas):
 - Eje 1. Industria eficiente y competitiva
 - Medida 1.3. Innovación tecnológica en procesos productivos.
 - Medida 1.4. Transformación industrial.
 - Medida 1.7. Gestión eficiente de recursos naturales.
 - Medida 1.9. Sostenibilidad ambiental de la industria.
 - Eje 2. Tecnologías Facilitadoras Esenciales.
 - Medida 2.1. Implantación de TIC en la industria.
 - Medida 2.4. Nuevos desarrollos TIC.
 - Eje 3. Empresas innovadoras y generadoras de empleo.
 - Medida 3.1. Apoyo a proyectos de I+D+I empresariales.
 - Medida 3.2. Empresas de base tecnológica.
 - Medida 3.7. Apoyo a la participación en convocatorias internacionales.
 - Medida 3.8. Protección de la propiedad industrial e intelectual.
 - Medida 3.9. Transferencia de tecnología.
 - Eje 4. Proyección exterior.
 - Medida 4.1. Internacionalización de la empresa.
 - Medida 4.2. Proyectos de cooperación internacional.
 - Medida 4.3. Captación de empresas.
 - Eje 5. Educación, talento y entornos creativos.
 - Medida 5.1. Incorporación de personas tecnólogas e investigadoras.
 - Medida 5.3. Cultura emprendedora.
 - Medida 5.4. Adaptación de la formación a la industria.
 - Eje 6. Innovación social.
 - Medida 6.7. Armonización regulatoria y simplificación administrativa.
 - Medida 6.8. Lucha contra la economía sumergida.

- Eje 7. Trabajar en red.
 - Medida 7.1. Cooperación empresarial.
 - Medida 7.5. Apoyo a la maduración de proyectos empresariales.
 - Medida 7.6. Sistemas de Información y sensibilización para la innovación.
- Eje 8. Infraestructuras.
 - Medida 8.1. Espacios de innovación.
 - Medida 8.4. Mejora de las infraestructuras de comunicación y suministro para la industria andaluza.
- Verticales: Inciden sobre sectores concretos. Se plantean sobre una serie de necesidades comunes, pero diferenciando las actuaciones a llevar a cabo en los diferentes tipos de industrias. Esas necesidades son en materia de:
 - Salud
 - Ambiental
 - Bienestar
 - Alimentación
 - Energía
 - Transporte
 - Logística
 - Industria 4.0

9.3 Coherencia de los resultados obtenidos con las medidas descritas en la EIA 2020

Todo lo expuesto deja claro que Andalucía se encuentra en el camino de convertirse en una comunidad competitiva, al menos, en intenciones. Es necesario que las orientaciones anteriores sobre política industrial incidan de forma eficaz sobre la industria territorial.

Volviendo a las conclusiones expuestas en el capítulo de Resultados acerca de las mejoras a llevar a cabo para transformar Andalucía en una comunidad competitiva en 2016 eran:

- Aumentar el porcentaje que representa la industria de alta tecnología del 21% al 27%.
- Mantener los fondos destinados a investigación y desarrollo en 598 millones de euros.
- Disminuir el coste laboral en 1.500 euros anuales por trabajador.

No es posible estimar los porcentajes de nivel tecnológico para la comunidad andaluza en 2012 tal y como hicimos para los periodos 2015 y 2016 ya que en el INE no están disponibles los datos de número de ocupados por ramas de actividad para este periodo, por lo que no podemos realizar una comparación de dicho porcentaje con respecto al 21% alcanzado en 2016. Muy probablemente, gracias a la puesta en marcha de las medidas anteriormente relacionadas, el nivel tecnológico se habrá visto incrementado. Sin embargo, DEA aconseja que debería haberse aumentado hasta el 27%, 6 puntos porcentuales más.

En cuanto a la inversión en I+D, ocurre algo similar. El INE ofrece datos similares a los que se tienen para 2016 pero no se consigue comprobar que hayan sido calculados de la misma manera que estos, por lo que no es posible realizar la comparativa entre periodos. Todo parece indicar que si la inversión en I+D no era suficiente a la fecha de 2012, se ha incrementado hasta un valor que, al menos para DEA, es suficiente. Por lo tanto, podría decirse que las medidas encaminadas a este propósito han resultado efectivas.

Por último, acerca del coste laboral medio no se especifican actuaciones concretas en la EIA 2020. Solo se menciona que en el marco nacional de referencia se debería realizar una optimización de los costes industriales, entre ellos, el laboral y el del transporte y la logística. Sin embargo, en el apartado que trata sobre

las tendencias que orientarán el futuro de la industria global en las próximas décadas, se considera que los costes laborales tendrán menos influencia en la competitividad debido el avance de la robótica: se necesitará más personas más cualificadas y se reducirá el número de puestos que requieran menor formación de forma generalizada. Esto llevará a que los países o regiones que tienen unos costes laborales más bajos pierdan dicha ventaja competitiva.

Se puede concluir, por tanto, que se camina por la senda de la mejora competitiva de Andalucía, pero probablemente no se alcanzarán los objetivos establecidos en la Estrategia Industrial.

10 CONCLUSIONES

El problema de la competitividad planteado en este Trabajo Fin de Grado encuentra finalmente una serie de respuestas en forma de medidas de política industrial basadas en los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología DEA. La resolución del caso pasa por una serie de fases de planteamiento, determinación de una herramienta idónea para su evaluación, obtención de resultados e interpretación de los mismos. Finalmente, se estudia el caso de la comunidad andaluza para conocer más en profundidad en qué dirección se está trabajando en la actualidad para tratar de potenciar la industria de nuestros territorios.

En primer lugar, se trató de averiguar si las variables consideradas para la evaluación de la competitividad regional eran válidas. La consulta de numerosos artículos, entre ellos algunos publicados en la revista de economía ICE, nos permitió comprobar que sí que lo eran, pues son ampliamente empleadas por distintos autores para elaborar indicadores de competitividad en distintos textos cuya temática era la competitividad regional.

Una vez se determina que las variables principales serían los costes laborales industriales, el gasto en I+D, el número de ocupados en la industria y el nivel tecnológico industrial de las comunidades, fue momento de comenzar a plantear el modelo.

Para que éste tuviese sentido desde el punto de vista de la metodología DEA, fueron necesarias sucesivas modificaciones para que el concepto de productividad en el que se basa DEA fuese respetado. Además, se encontró la dificultad de que el número de comunidades no competitivas que se obtenía era llamativamente bajo, sólo 5 de las 16 que participan en el estudio. Esto se debía a un sobredimensionamiento del problema, cuestión que se intentó salvar replanteando el modelo desde distintos puntos de vista, aunque finalmente no fue posible hallar una solución que ofreciese un mayor número de comunidades no eficientes susceptibles de ser analizadas. Esta cuestión, sin embargo, queda justificada por la literatura relativa a DEA, con lo que se continuó con el planteamiento que se consideró más interesante de cara al desarrollo del proyecto.

El problema se resolvió atendiendo a dos criterios, aunque el más adecuado al caso consiste en dar prioridad a posibles incrementos del gasto en I+D, el nivel tecnológico y el número de empleados y, por el contrario, mantener los costes laborales o reducirlos en la menor medida posible. En términos de DEA, este caso se corresponde con la resolución con orientación da salida (en el modelo final, gasto en I+D, número de ocupados y nivel de alta tecnología eran salidas, y el coste laboral total, la única entrada).

La solución concedía el título de no competitivas a las comunidades de Asturias, Baleares, Canarias, Andalucía y País Vasco. Esta última, sin embargo, solo lo es en el año 2015, en el cual su ineficiencia era mínima, de manera que en 2016 logró convertirse en competitiva.

Dada la similitud que presentaban los datos para los dos periodos considerados, se obtuvieron resultados bastante parecidos. Por ello, el análisis final se centró en el año 2016.

La interpretación directa de los resultados ofrecidos por DEA pasaba por identificar a cuáles de las comunidades competitivas deberían tomar como referentes las que se determinaban ineficientes y en qué magnitud debían cambiar su gestión para tratar de parecerse a cada una de ellas. Después, se compararon los valores de partida que tomaban las variables, los obtenidos del INE, con los valores a los que deberían haber llegado de haber llevado a cabo una gestión de sus recursos que las hubiese hecho ser competitivas. Esto permitió poner de manifiesto las fortalezas y debilidades las regiones no competitivas, relacionadas con las variables que se analizan.

Posteriormente, se trata de analizar la información de forma global para lo cual se representan tres gráficos contrastando las distintas variables del problema. Se comentan los casos más destacables: los de las cuatro comunidades no competitivas en 2016 (Andalucía, Asturias, Baleares y Canarias), el caso del País Vasco, y los de algunas regiones competitivas que resultaban llamativos. Todo esto con el fin elaborar una batería de propuestas que podrían ser puestas en marcha por los gobiernos regionales y estatal, tanto medidas concretas orientadas, por ejemplo, al fomento de la inversión en I+D y a destinar recursos económicos a formación de los trabajadores, como ideas que promuevan el contacto entre empresas y la transferencia de conocimientos.

Por último, se puso el foco en Andalucía, para comparar si los resultados obtenidos para esta comunidad y, en consecuencia, las actuaciones propuestas, guardaban relación con la Estrategia Industrial de Andalucía 2020. Se comprobó que, efectivamente, muchas de las medidas descritas en este documento estaban encaminadas al desarrollo tecnológico de la industria y a incrementar la inversión en I+D como motor de potenciación del sector secundario en la región. Sin embargo, se puede intuir que, aunque Andalucía marcha en la dirección correcta, aún queda mucho por hacer, y probablemente no se alcancen los objetivos establecidos para el año 2020.

11 REFERENCIAS

- ❖ Arrow, K. J. (1962): “Economic Welfare and the Allocation of Resources for Invention”, en NELSON, R. (ed.): *The Rate and Direction of Inventive Activity: Economic and Social Factors*, Princeton, Princeton University Press.
- ❖ Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984): “Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis”. *Management Science*, 30(9), pp. 1078-1092.
- ❖ Cann, O. (2016): “What is competitiveness? [¿Qué es la competitividad?]”. *World Economic Forum*. Recuperado de <https://es.weforum.org/agenda/2016/10/que-es-la-competitividad/>
- ❖ Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978): “Measuring the efficiency of decision making units”. *European Journal of Operational Research*, 2(6), pp. 429-444.
- ❖ Cooper, W. W., Seiford, L. M. & Tone, K. (2006). *Introduction to Data Envelopment Analysis and Its Uses with DEA-Solver Software and References*. Boston (MA): Springer.
- ❖ Emrouznejad, A. and G. R. Amin (2009): “DEA models for ratio data: Convexity consideration.” *Applied Mathematical Modelling* 33(1), pp. 486-498.
- ❖ Encuesta anual de coste laboral. Resultados por comunidades autónomas (2017). *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. Recuperado de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=9131>
- ❖ Encuesta de población activa. Resultados por comunidades autónomas (2017). Ocupados por grupo de edad, sexo y sector económico, por comunidad autónoma. *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. Recuperado de <https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=3977>
- ❖ Encuesta industrial de empresas. Serie 2008-2014. CNAE-2009. Principales variables económicas por agrupaciones de actividad (2018). *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. Recuperado de <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2537>
- ❖ Estadística Estructural de Empresas: Sector Industrial. Magnitudes regionalizadas según comunidades y ciudades autónomas y actividad principal (CNAE-2009 a 1 y 2 dígitos) (2018). *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. Recuperado de <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=24750> y de <http://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=28388&L=0>
- ❖ Gómez Velarde, M. A. (2018). La Estrategia Industrial de Andalucía. Conferencia llevada a cabo en Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Sevilla.
- ❖ Griliches, Z. (1992): “The Search for R&D Spillovers”, *Scandinavian Journal of Economics*, 94, pp. 29-47.
- ❖ Industria en Andalucía. En *Wikipedia*. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Industria_en_Andaluc%C3%ADa
- ❖ Ivorra, C. (2011): “Optimización con LINGO”. *Apuntes de la asignatura Matemáticas II*. Universidad de Valencia.
- ❖ Junta de Andalucía. Consejería de Empleo, Empresa y Comercio (2013). *Estrategia Industrial de Andalucía 2020*.
- ❖ López García, A. M., Méndez Alonso, J. J. y Dones Tacero, M. (2009): “Factores clave de la competitividad regional: innovación e intangibles”. *Información Comercial Española, ICE: Revista de Economía*, N.º 848: *Aspectos territoriales del desarrollo: presente y futuro*, pp. 125-140.

- ❖ López, M. A. (Dir.) (2008): “Panorama Regional. Análisis de las economías regionales de España”. Sexto informe anual del Centro de Predicción Económica (CEPREDE), en colaboración con Deloitte.
- ❖ Muñoz Machado, A. (2013). *La Política Industrial: Un reto en nuestro tiempo*. Díaz de Santos
- ❖ OCDE (2001): Science, Technology and Industry Outlook - Drivers of Growth: Information Technology, Innovation and Entrepreneurship.
- ❖ Olesen, O. B. & Petersen, N. C. (2009). “Target and technical efficiency in DEA: Controlling for environmental characteristics”. *Journal of Productivity Analysis*, 32(1), pp. 27-40.
- ❖ Olesen, O. B., & Petersen, N. C. (2006). “Controlling for socioeconomic characteristics in DEA”. *North American Productivity Workshop IV, 2006*. New York, United States.
- ❖ Olesen, O. B., Petersen, N. C. & Podinovski, V. V. (2015): “Efficiency analysis with ratio measures”. *European Journal of Operational Research*, 245(2), pp. 446-462.
- ❖ Olesen, O. B., Petersen, N. C. & Podinovski, V. V. (2017): “Efficiency measures and computational approaches for data envelopment analysis models with ratio inputs and outputs”. *European Journal of Operational Research*, 261(2), pp. 640-655.
- ❖ Porter, M. (2001): “The Microeconomics of Development”, Competitiveness and Development Vision and Priorities for Action, Caracas, Venezuela, junio.
- ❖ Principales indicadores de I+D en Alta Tecnología por comunidades autónomas (2018). *Instituto Nacional de Estadística (INE)*. Recuperado de <http://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t14/p057/a2015/10/&file=01010.px&L=0> y de <https://www.ine.es/jaxi/Tabla.htm?path=/t14/p057/a2016/10/&file=01010.px&L=0>
- ❖ Productividad total de los factores. En Wikipedia. Recuperado de https://es.wikipedia.org/wiki/Productividad_total_de_los_factores
- ❖ Real Academia de Ingeniería (2018): “Panorama de la Industria en la Comunidad de Madrid”.
- ❖ Reig Martínez, E. (Dir.) (2007): “Competitividad, crecimiento y capitalización de las regiones españolas”. Bilbao: Fundación BBVA.
- ❖ Romero Jordán, D., Sanz Sanz, J.F. y Hernández Rubio, C. (2007): “La fiscalidad de la inversión en I+D: un análisis comparado para los países de la UE-15”. *Información Comercial Española, ICE: Revista de Economía*, N° 835: *Nuevas tendencias en política fiscal*, pp. 141-151.
- ❖ Villa Caro, G. (2005): “Fundamentos del Análisis por Envoltura de Datos (DEA)”. *Apuntes de la asignatura Herramientas para la Toma de Decisiones*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla.
- ❖ Villaverde Castro, J. (2007): “La competitividad de las regiones españolas”. *Papeles de Economía Española*, N° 113: *Retos económicos: un balance en clave española*, pp. 34-50.

Anexo I. OBTENCIÓN DE LOS DATOS DE PORCENTAJES TECNOLÓGICOS

Al no ser posible obtener del INE información sobre el nivel tecnológico de la industria de las comunidades autónomas, se opta por estimarlos a partir de los datos de número de ocupados por sectores de actividad industrial según la clasificación CNAE-2009 a dos dígitos. El número de trabajadores empleados en cada sector industrial da una idea de la importancia de éste para el territorio, por lo que se considera un indicador válido para medir el nivel tecnológico de las regiones.

La Tabla 38, referida a 2016 (de los dos periodos estudiados, escogemos 2016 para desarrollar este Anexo), muestra esta información. Sin embargo, no está completa al existir ciertos valores que el organismo no puede hacer públicos por secreto estadístico (*missing data*), por lo que se estiman siguiendo el procedimiento que se describe a continuación.

1. Se decide eliminar una comunidad si en más de 5 sectores existe secreto estadístico. Por ello, se descarta del estudio la Región de Murcia.
2. Se determinan las comunidades de las que se posee información completa: Aragón, Baleares, Castilla - La Mancha, Cataluña, Madrid y Navarra. Se recogen en la Tabla 39.
3. Se calcula el total de empleados para cada sector que reúnen estas comunidades, así como la suma total de empleados en todos los sectores.
4. Estos valores permiten obtener los pesos medios relativos a cada actividad industrial respecto al total de ocupados en estas seis comunidades.
5. Utilizando dichos pesos, se calculan los *missing data* (Tabla 40). A modo de ejemplo, se toma el caso de Andalucía.

En Andalucía, no se tiene la información de los grupos 19 y 21 (Coquerías y Refino de Petróleo y Fabricación de productos farmacéuticos). Tras el cálculo de los pesos, los que se incluyen en la última columna de las tablas Tabla 39 y Tabla 40, sumamos los referidos a esos dos grupos: $0,44\% + 4,23\% = 4,67\%$. Los *missing data* de Andalucía representan el 4,67% de los trabajadores de su industria.

Por otro lado, se halla el número de trabajadores que reúnen ambos grupos, restando al total de ocupados en la industria andaluza los trabajadores del resto de grupos: 2.395 personas.

A partir de estos valores, se calcula el número de trabajadores que corresponderían a los grupos 19 y 21:

$$\text{Grupo 19: } 2.395 \cdot \frac{0,44\%}{4,63\%} = 227 \text{ personas}$$

$$\text{Grupo 21: } 2.395 \cdot \frac{4,23\%}{4,63\%} = 2.168 \text{ personas}$$

Repetiendo los pasos anteriores para todas las comunidades donde falta información, se completa la tabla de número de ocupados.

Con la tabla completa, es posible estimar los porcentajes de niveles tecnológicos. Los distintos sectores se clasifican en tres categorías que responden a la siguiente leyenda:

Alta tecnología
Media tecnología
Baja tecnología

Por un lado, se calcula el total de empleados en la industria manufacturera descartando el grupo 33, el cual se considera que forma parte del sector servicios. En el caso de Andalucía, 164.192 personas. Por otro, se suman las cantidades de empleados respondiendo a la clasificación anterior.

En Andalucía:

Alta tecnología	Media tecnología	Baja tecnología
34.504 personas	41.766 personas	87.922 personas

Finalmente, dividiendo respecto al total de personas, se calculan los porcentajes relativos a los tres niveles tecnológicos distinguidos:

Alta tecnología	Media tecnología	Baja tecnología
$(34.504/164.192) = 21,01\%$	$(41.766/164.192) = 25,44\%$	$(87.922/164.192) = 53,55\%$

Las tablas Tabla 41 y Tabla 42 recogen los valores obtenidos para todas las comunidades.

	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Murcia	Navarra	País Vasco	Rioja
10. Industria de la alimentación	46.303	10.130	6.411	3.392	7.913	5.423	33.112	18.791	75.340	29.332	9.460	27.192	17.745	20.373	11.686	10.608	4.228
11. Fabricación de bebidas	5.635	1.340	574	828	2.247	133	4.557	5.682	9.343	4.482	873	2.894	3.691	.	1.666	3.537	2.695
12. Industria del tabaco	0	0	0	0	.	.	0	0	0	.	.	0	255	.	0	0	.
13. Industria textil	2.625	713	272	536	349	481	1.157	929	16.686	12.752	147	2.036	2.157	.	340	575	317
14. Confección de prendas de vestir	4.642	853	431	166	203	169	963	3.023	11.411	4.492	305	9.306	3.974	2.887	303	861	378
15. Industria del cuero y del calzado	2.810	1.233	31	1.414	22	7	147	3.574	2.926	21.866	17	296	976	1.834	191	113	3.373
16. Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	4.770	1.881	791	1.104	547	788	4.146	3.547	7.302	6.326	1.153	7.273	2.564	.	1.132	2.585	935
17. Industria del papel	2.537	2.250	594	124	448	360	2.226	1.522	13.198	7.021	242	1.639	4.847	984	2.009	3.343	436
18. Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	5.291	1.280	743	960	1.348	381	1.882	1.551	15.657	6.438	584	2.976	15.009	1.597	1.029	3.066	396
19. Coquerías y refino de petróleo	.	0	.	0	0	0	.	1.201	1.217	.	.	.	1.293	.	0	.	.
20. Industria química	6.195	3.481	1.586	202	448	1.197	2.061	3.679	35.061	14.218	678	1.548	6.757	4.257	900	4.190	430
21. Fabricación de productos farmacéuticos	.	1.492	.	75	.	.	2.200	1.338	21.784	338	0	.	9.624	.	1.214	.	.
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	5.244	2.999	793	118	393	1.177	8.673	2.413	21.981	17.859	721	3.421	6.095	.	3.493	13.046	2.213
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	10.449	3.061	2.256	1.245	1.604	1.018	6.824	5.187	10.754	24.474	1.545	6.064	5.779	2.090	1.554	4.191	793
24. Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	4.714	2.336	7.874	11	110	2.873	2.808	1.449	6.227	2.987	525	4.556	2.564	715	2.887	17.310	70
25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	21.132	8.755	8.191	2.457	2.432	4.693	12.279	10.141	49.096	19.886	2.931	14.874	18.369	7.027	7.652	40.569	2.722
26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1.757	1.755	111	57	41	149	225	637	8.530	2.120	42	892	5.422	.	605	.	.
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	5.002	7.028	633	27	116	1.453	2.611	2.726	13.412	4.463	161	1.292	6.460	774	4.401	11.109	206
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	6.511	7.927	2.395	125	120	1.072	3.379	2.981	25.240	8.917	840	3.649	11.934	.	5.346	20.095	677
29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	3.718	15.522	764	32	118	2.871	19.955	2.548	37.828	17.325	118	13.911	10.094	325	11.954	13.975	1.066
30. Fabricación de otro material de transporte	9.153	1.073	836	91	.	76	.	2.482	3.060	1.355	.	4.000	11.789	.	154	.	.
31. Fabricación de muebles	8.565	3.671	525	938	799	267	1.986	4.422	7.555	9.028	808	3.393	5.470	5.243	998	2.505	1.118
32. Otras industrias manufactureras	4.744	1.548	598	1.058	646	414	1.069	1.181	11.063	5.567	774	1.781	8.041	767	743	2.212	111
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	10.711	2.108	4.383	2.978	2.881	1.384	3.137	1.677	15.233	5.135	548	7.458	13.382	2.159	2.139	6.300	370
C. Industria manufacturera - grupo 33	164.192	80.327	36.744	14.957	20.624	25.447	113.033	81.004	404.671	222.167	22.250	114.313	160.911	59.947	60.258	168.332	22.882

Tabla 38. Datos incompletos sobre número de ocupados.

	Aragón	Baleares	Castilla - La Mancha	Cataluña	Madrid	Navarra	TOTAL	PESO (%)
10. Industria de la alimentación	10.130	3.392	18.791	75.340	17.745	11.686	137.084	16,33%
11. Fabricación de bebidas	1.340	828	5.682	9.343	3.691	1.666	22.550	2,69%
12. Industria del tabaco	0	0	0	0	255	0	255	0,03%
13. Industria textil	713	536	929	16.686	2.157	340	21.361	2,54%
14. Confección de prendas de vestir	853	166	3.023	11.411	3.974	303	19.730	2,35%
15. Industria del cuero y del calzado	1.233	1.414	3.574	2.926	976	191	10.314	1,23%
16. Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	1.881	1.104	3.547	7.302	2.564	1.132	17.530	2,09%
17. Industria del papel	2.250	124	1.522	13.198	4.847	2.009	23.950	2,85%
18. Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	1.280	960	1.551	15.657	15.009	1.029	35.486	4,23%
19. Coquerías y refino de petróleo	0	0	1.201	1.217	1.293	0	3.711	0,44%
20. Industria química	3.481	202	3.679	35.061	6.757	900	50.080	5,96%
21. Fabricación de productos farmacéuticos	1.492	75	1.338	21.784	9.624	1.214	35.527	4,23%
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	2.999	118	2.413	21.981	6.095	3.493	37.099	4,42%
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	3.061	1.245	5.187	10.754	5.779	1.554	27.580	3,28%
24. Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	2.336	11	1.449	6.227	2.564	2.887	15.474	1,84%
25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	8.755	2.457	10.141	49.096	18.369	7.652	96.470	11,49%
26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1.755	57	637	8.530	5.422	605	17.006	2,03%
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	7.028	27	2.726	13.412	6.460	4.401	34.054	4,06%
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	7.927	125	2.981	25.240	11.934	5.346	53.553	6,38%
29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	15.522	32	2.548	37.828	10.094	11.954	77.978	9,29%
30. Fabricación de otro material de transporte	1.073	91	2.482	3.060	11.789	154	18.649	2,22%
31. Fabricación de muebles	3.671	938	4.422	7.555	5.470	998	23.054	2,75%
32. Otras industrias manufactureras	1.548	1.058	1.181	11.063	8.041	743	23.634	2,81%
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	2.108	2.978	1.677	15.233	13.382	2.139	37.517	4,47%
C. Industria manufacturera	82.435	17.935	82.681	419.904	174.293	62.397	839.645	
C. Industria manufacturera - grupo 33	80.327	14.957	81.004	404.671	160.911	60.258	802.128	

Tabla 39. Comunidades de las que se dispone de toda la información. Cálculo de los pesos.

	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Murcia	Navarra	País Vasco	Rioja	PESO (%)
10. Industria de la alimentación	46.303	10.130	6.411	3.392	7.913	5.423	33.112	18.791	75.340	29.332	9.460	27.192	17.745	20.373	11.686	10.608	4.228	16,33%
11. Fabricación de bebidas	5.635	1.340	574	828	2.247	133	4.557	5.682	9.343	4.482	873	2.894	3.691	-	1.666	3.537	2.695	2,69%
12. Industria del tabaco	0	0	0	0	3	8	0	0	0	59	4	0	255	-	0	0	2	0,03%
13. Industria textil	2.625	713	272	536	349	481	1.157	929	16.686	12.752	147	2.036	2.157	-	340	575	317	2,54%
14. Confección de prendas de vestir	4.642	853	431	166	203	169	963	3.023	11.411	4.492	305	9.306	3.974	2.887	303	861	378	2,35%
15. Industria del cuero y del calzado	2.810	1.233	31	1.414	22	7	147	3.574	2.926	21.866	17	296	976	1.834	191	113	3.373	1,23%
16. Industria de la madera y del corcho, excepto muebles; cestería y espartería	4.770	1.881	791	1.104	547	788	4.146	3.547	7.302	6.326	1.153	7.273	2.564	-	1.132	2.585	935	2,09%
17. Industria del papel	2.537	2.250	594	124	448	360	2.226	1.522	13.198	7.021	242	1.639	4.847	984	2.009	3.343	436	2,85%
18. Artes gráficas y reproducción de soportes grabados	5.291	1.280	743	960	1.348	381	1.882	1.551	15.657	6.438	584	2.976	15.009	1.597	1.029	3.066	396	4,23%
19. Coquerías y refino de petróleo	227	0	32	0	0	0	128	1.201	1.217	862	53	125	1.293	-		716	35	0,44%
20. Industria química	6.195	3.481	1.586	202	448	1.197	2.061	3.679	35.061	14.218	678	1.548	6.757	4.257	900	4.190	430	5,96%
21. Fabricación de productos farmacéuticos	2.168	1.492	303	75	470	437	2.200	1.338	21.784	338	0	1.195	9.624	-	1.214	6.851	339	4,23%
22. Fabricación de productos de caucho y plásticos	5.244	2.999	793	118	393	1.177	8.673	2.413	21.981	17.859	721	3.421	6.095	-	3.493	13.046	2.213	4,42%
23. Fabricación de otros productos minerales no metálicos	10.449	3.061	2.256	1.245	1.604	1.018	6.824	5.187	10.754	24.474	1.545	6.064	5.779	2.090	1.554	4.191	793	3,28%
24. Metalurgia; fabricación de productos de hierro, acero y ferroaleaciones	4.714	2.336	7.874	11	110	2.873	2.808	1.449	6.227	2.987	525	4.556	2.564	715	2.887	17.310	70	1,84%
25. Fabricación de productos metálicos, excepto maquinaria y equipo	21.132	8.755	8.191	2.457	2.432	4.693	12.279	10.141	49.096	19.886	2.931	14.874	18.369	7.027	7.652	40.569	2.722	11,49%
26. Fabricación de productos informáticos, electrónicos y ópticos	1.757	1.755	111	57	41	149	225	637	8.530	2.120	42	892	5.422	-	605	3.279	162	2,03%
27. Fabricación de material y equipo eléctrico	5.002	7.028	633	27	116	1.453	2.611	2.726	13.412	4.463	161	1.292	6.460	774	4.401	11.109	206	4,06%
28. Fabricación de maquinaria y equipo n.c.o.p.	6.511	7.927	2.395	125	120	1.072	3.379	2.981	25.240	8.917	840	3.649	11.934	-	5.346	20.095	677	6,38%
29. Fabricación de vehículos de motor, remolques y semirremolques	3.718	15.522	764	32	118	2.871	19.955	2.548	37.828	17.325	118	13.911	10.094	325	11.954	13.975	1.066	9,29%
30. Fabricación de otro material de transporte	9.153	1.073	836	91	247	76	645	2.482	3.060	1.355	269	4.000	11.789	-	154	3.596	178	2,22%
31. Fabricación de muebles	8.565	3.671	525	938	799	267	1.986	4.422	7.555	9.028	808	3.393	5.470	5.243	998	2.505	1.118	2,75%
32. Otras industrias manufactureras	4.744	1.548	598	1.058	646	414	1.069	1.181	11.063	5.567	774	1.781	8.041	767	743	2.212	111	2,81%
33. Reparación e instalación de maquinaria y equipo	10.711	2.108	4.383	2.978	2.881	1.384	3.137	1.677	15.233	5.135	548	7.458	13.382	2.159	2.139	6.300	370	4,47%
C. Industria manufacturera	174.903	82.435	41.127	17.935	23.505	26.831	116.170	82.681	419.904	227.302	22.798	121.771	174.293	62.106	62.397	174.632	23.252	
C. Industria manufacturera - grupo 33	164.192	80.327	36.744	14.957	20.624	25.447	113.033	81.004	404.671	222.167	22.250	114.313	160.911	59.947	60.258	168.332	22.882	

Tabla 40. Estimación de los "missing data" a partir de los pesos.

Ocupados por niveles tecnológicos	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Navarra	País Vasco	Rioja
Baja tecnología	87.922	24.899	10.970	10.520	14.525	8.431	51.245	44.222	170.481	107.363	14.367	58.786	64.729	20.097	29.405	13.989
Media tecnología	41.766	17.151	19.146	3.831	4.539	9.761	30.712	20.391	89.275	66.068	5.775	29.040	34.100	15.586	75.832	5.833
Alta tecnología	34.504	38.278	6.628	609	1.560	7.255	31.076	16.391	144.915	48.736	2.108	26.487	62.080	24.574	63.095	3.059
C. Industria manufacturera - grupo 33	164.192	80.328	36.744	14.960	20.624	25.447	113.033	81.004	404.671	222.167	22.250	114.313	160.909	60.257	168.332	22.882

Tabla 41. Suma ocupados por niveles tecnológicos. Total de personas sin contar el grupo 33.

% Niveles tecnológicos	Andalucía	Aragón	Asturias	Baleares	Canarias	Cantabria	Castilla y León	Castilla - La Mancha	Cataluña	Comunidad Valenciana	Extremadura	Galicia	Madrid	Navarra	País Vasco	Rioja
Baja tecnología	53,55%	31,00%	29,86%	70,33%	70,43%	33,13%	45,34%	54,59%	42,13%	48,33%	64,57%	51,43%	40,23%	33,35%	17,47%	61,14%
Media tecnología	25,44%	21,35%	52,11%	25,61%	22,01%	38,36%	27,17%	25,17%	22,06%	29,74%	25,96%	25,40%	21,19%	25,87%	45,05%	25,49%
Alta tecnología	21,01%	47,65%	18,04%	4,07%	7,56%	28,51%	27,49%	20,23%	35,81%	21,94%	9,47%	23,17%	38,58%	40,78%	37,48%	13,37%

Tabla 42. Porcentajes de niveles tecnológicos para cada comunidad.

Anexo II. MODELOS DE LOS CASOS ESTUDIADOS

II.I Planteamiento 1

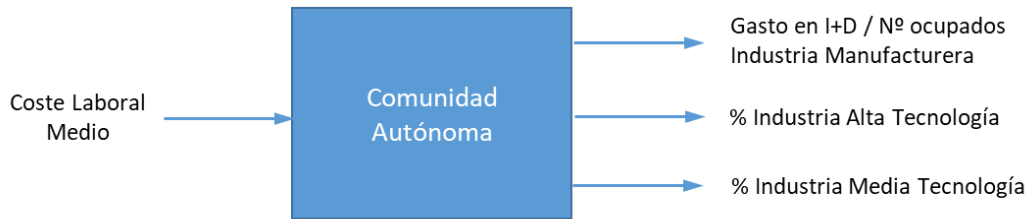


Figura 36. Modelo planteamiento 1.

II.I.I Orientación de salida

$$\text{Max } \gamma_j$$

s. a.

$$\lambda_j \cdot (X_j^{C.L.} - X_j^{C.L.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \leq L_1 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{M.T.} - Y_j^{M.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \gamma_j \text{ libre}$$

II.I.II Orientación de entrada

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\overline{X_j^{C.L.}} - \theta_j \cdot X_j^{C.L.} \leq L_2 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot \left(Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \right) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{M.T.} - Y_j^{M.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

II.II Planteamiento 2

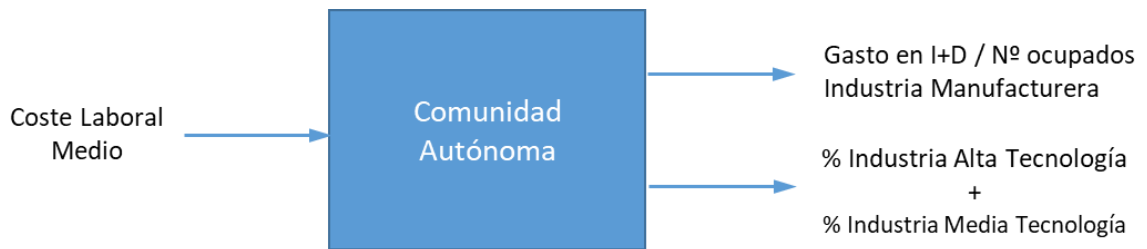


Figura 37. Modelo planteamiento 2.

II.II.I Orientación de salida

$$\text{Max } \gamma_j$$

s. a.

$$\lambda_j \cdot (X_j^{C.L.} - X_j^{C.L.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{A.T.+M.T.} - Y_j^{A.T.+M.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \gamma_j \text{ libre}$$

II.II.II Orientación de entrada

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$X_j^{C.L.} - \theta_j \cdot X_j^{C.L.} \leq L_2 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot \left(Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \right) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot \left(Y_j^{A.T.+M.T.} - Y_j^{A.T.+M.T.} \right) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{i=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

II.III Planteamiento 3

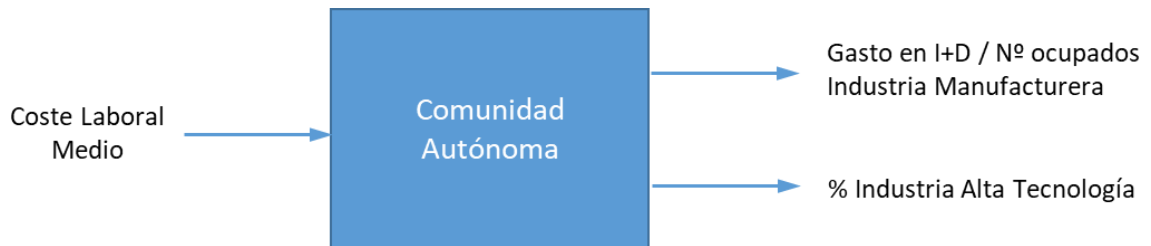


Figura 38. Modelo planteamiento 3.

II.III.I Orientación de salida

$$\text{Max } \gamma_j$$

s. a.

$$\lambda_j \cdot (X_j^{C.L.} - X_j^{C.L.}) \geq 0 ; \quad j = 1,2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1,2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1,2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1,2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \gamma_j \text{ libre}$$

II.III.II Orientación de entrada

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$X_j^{C.L.} - \theta_j \cdot X_j^{C.L.} \leq L_2 \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot \left(Y_j^{I+D/ocupados} - Y_j^{I+D/ocupados} \right) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

II.IV Planteamiento 4

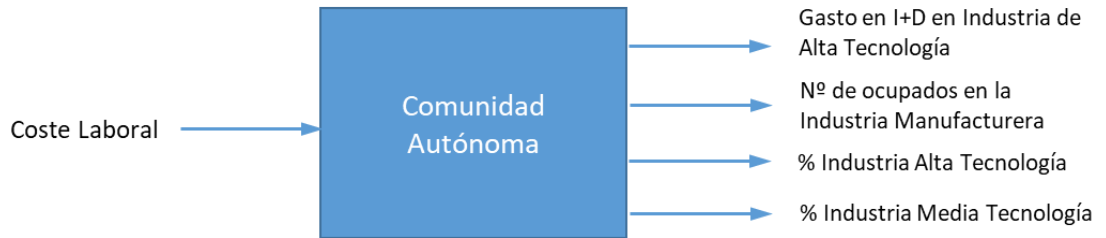


Figura 39. Modelo planteamiento 4.

II.IV.I Orientación de salida

$$\text{Max } \gamma_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq \gamma_j \cdot Y_j^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}} \geq \gamma_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq X_j^{C.L.}$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{M.T.} - Y_j^{M.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad \gamma_j \text{ libre}$$

II.IV.II Orientación de entrada

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq \theta_j \cdot X_j^{C.L.}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq Y_j^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{ocupados} \geq Y_j^{ocupados}$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.} - Y_j^{A.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2 \dots, 16$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{M.T.} - Y_j^{M.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2 \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

II.V Planteamiento 5

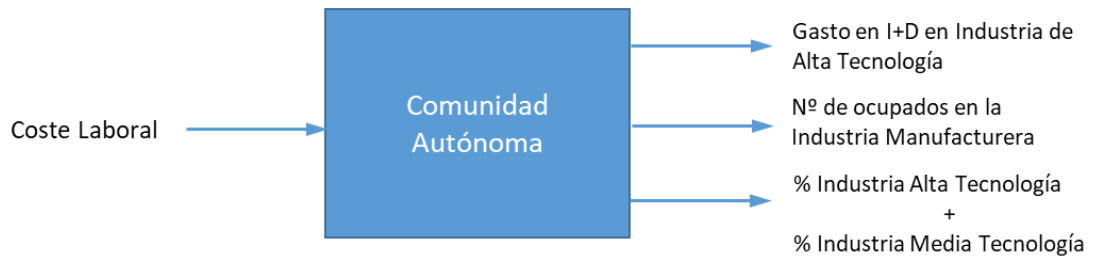


Figura 40. Modelo planteamiento 5.

II.V.I Orientación de salida

$$\text{Max } \gamma_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq \gamma_j \cdot Y_j^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}} \geq \gamma_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq X_j^{C.L.}$$

$$\lambda_j \leq \delta_j ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\gamma_j \cdot Y_j^{A.T.+M.T.} - Y_j^{A.T.+M.T.} \leq L \cdot (1 - \delta_j) ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \gamma_j \text{ libre}$$

II.V.II Orientación de entrada

$$\text{Min } \theta_j$$

s. a.

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot X_j^{C.L.} \leq \theta_j \cdot X_j^{C.L.}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{I+D} \geq Y_j^{I+D}$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j \cdot Y_j^{\text{ocupados}} \geq Y_j^{\text{ocupados}}$$

$$\lambda_j \cdot (Y_j^{A.T.+M.T.} - Y_j^{A.T.+M.T.}) \geq 0 ; \quad j = 1, 2, \dots, 16$$

$$\sum_{j=1}^{n=16} \lambda_j = 1$$

$$\lambda_j \geq 0, \theta_j \text{ libre}$$

II.VI Modelos LINGO

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:XR,GAMMA,DELTA;
SALIDAR/1..3/:SOLYRR;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU,SALIDAR):YR,SOLYR;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLXR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
XR,YR=@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 1\Resul
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 1\Resultados\Pl
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
MAX= GAMMAR;
!Restricciones;
@FOR(DMU(J): LANDAR(J)*(XR(J)-XR(R))<=0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*XR(J))=SOLXRR;
@FOR(SALIDAR(K):
@FOR(DMU(J):
LANDAR(J)<=DELTA(J);
GAMMAR*YR(R,K)-YR(J,K)<=1000000*(1-DELTA(J)));
!LANDAR(J)*(YR(J,K)-GAMMAR*YR(R,K))>=0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1))=SOLYRR(1);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2))=SOLYRR(2);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,3))=SOLYRR(3);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR(DMU(J):LANDAR(J)>=0);
@FOR(DMU(J):@BIN(DELTA(J)));
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO',2);
@FOR(ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLXR(ITER)=SOLXRR;
GAMMA(ITER)=GAMMAR;
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
SOLYR(ITER,3)=SOLYRR(3);
@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J);
);
ENDCALC

```

Figura 41. Programa LINGO para el planteamiento 1 con orientación de salida.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:XR,TETA,DELTA;
SALIDAR/1..3/:SOLYRR;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU,SALIDAR):YR,SOLYR;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLXR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
XR,YR = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 1\Resultados\PI
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 1\Resultados\Plant1_Ent
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MIN= TETAR;
!Restricciones;
@FOR (DMU(J):
LANDAR(J) <= DELTA(J);
XR(J)-TETAR*XR(R) <= 10000000*(1-DELTA(J));
!LANDAR(J)*(XR(J)-TETAR*XR(R)) <= 0; !Coste laboral medio; !HAY QUE LINEALIZAR;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*XR(J)) = SOLXRR;
@FOR (SALIDAR(K):
@FOR (DMU(J):
LANDAR(J)*(YR(J,K)-YR(R,K)) >= 0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1)) = SOLYRR(1); !I+D/ocupados;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2)) = SOLYRR(2); !%A.T.;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,3)) = SOLYRR(3); !%M.T.;
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR (DMU(J): LANDAR(J) >= 0);
@FOR (DMU(J): @BIN(DELTA(J))););
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO', 2);
@FOR (ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLXR(ITER)=SOLXRR;
TETA(ITER)=TETAR;
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
SOLYR(ITER,3)=SOLYRR(3);
@FOR (DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 42. Programa LINGO para el planteamiento 1 con orientación de entrada.

```

SETS:
    !conjuntos primitivos;
    DMU/1..16/:XR, GAMMA, DELTA;
    SALIDAR/1..2/:SOLYRR;

    !conjuntos derivados;
    DMU_SALIDAR(DMU, SALIDAR):YR, SOLYR;
    ITERACION(DMU):LANDAR, SOLXR;
    DMU_ITERACION(DMU, ITERACION):LANDA;

ENDSETS

DATA:
    !Importamos los datos desde una hoja excel;
    XR, YR = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 2\Result
    !Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
    @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 2\Resultados\Pl
ENDDATA

SUBMODEL Ratio:
    MAX= GAMMAR;

    !Restricciones;
    @FOR (DMU(J): LANDAR(J) * (XR(J) - XR(R)) <= 0);
    @SUM(DMU(J): LANDAR(J) * XR(J)) = SOLXRR;

    @FOR (SALIDAR(K):
        @FOR (DMU(J):
            LANDAR(J) <= DELTA(J);
            GAMMAR * YR(R, K) - YR(J, K) <= 1000000 * (1 - DELTA(J));
            !LANDAR(J) * (YR(J, K) - GAMMAR * YR(R, K)) >= 0);

        @SUM(DMU(J): LANDAR(J) * YR(J, 1)) = SOLYRR(1); !I+D/ocup;
        @SUM(DMU(J): LANDAR(J) * YR(J, 2)) = SOLYRR(2); !%A.T+M.T;

        @SUM(DMU(J): LANDAR(J)) = 1;

        @FOR (DMU(J): LANDAR(J) >= 0);
        @FOR (DMU(J): @BIN(DELTA(J)));

    ENDSUBMODEL

CALC:
    @SET('TERSEO', 2);

    @FOR(ITERACION(ITER):
        R=ITER;

        @SOLVE(Ratio);

        SOLXR(ITER)=SOLXRR;
        GAMMA(ITER)=GAMMAR;
        SOLYR(ITER, 1)=SOLYRR(1);
        SOLYR(ITER, 2)=SOLYRR(2);

        @FOR(DMU(J): LANDA(ITER, J)=LANDAR(J));
    );

ENDCALC

```

Figura 43. Programa LINGO para el planteamiento 2 con orientación de salida.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:XR,TETA,DELTA;
SALIDAR/1..2/:SOLYRR;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU,SALIDAR):YR,SOLYR;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLXR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
XR,YR = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 2\Resultados\FI
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 2\Resultados\Plant2_Ent
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MIN= TETAR;
!Restricciones;
@FOR (DMU(J):
LANDAR(J) <= DELTA(J);
XR(J)-TETAR*XR(R) <= 1000000*(1-DELTA(J));
!LANDAR(J)*(XR(J)-TETAR*XR(R)) <= 0; !Coste laboral medio; !HAY QUE LINEALIZAR;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*XR(J)) = SOLXRR;
@FOR (SALIDAR(K):
@FOR (DMU(J):
LANDAR(J)*(YR(J,K)-YR(R,K)) >= 0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1)) = SOLYRR(1); !I+D/ocupados;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2)) = SOLYRR(2); !%A.T.+M.T;
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR (DMU(J): LANDAR(J) >= 0);
@FOR (DMU(J): @BIN(DELTA(J))););
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO',2);
@FOR (ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLXR(ITER)=SOLXRR;
TETA(ITER)=TETAR;
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 44. Programa LINGO para el planteamiento 2 con orientación de entrada.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:XR,GAMMA,DELTA;
SALIDAR/1..2/:SOLYRR;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU,SALIDAR):YR,SOLYR;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLXR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
XR,YR=@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 3\Resul
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 3\Resultados\Pl
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
MAX= GAMMAR;
!Restricciones;
@FOR(DMU(J): LANDAR(J)*(XR(J)-XR(R))<=0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*XR(J))=SOLXRR;
@FOR(SALIDAR(K):
@FOR(DMU(J):
LANDAR(J)<=DELTA(J);
GAMMAR*YR(R,K)-YR(J,K)<=1000000*(1-DELTA(J)));
!LANDAR(J)*(YR(J,K)-GAMMAR*YR(R,K))>=0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1))=SOLYRR(1); !I+D/ocup;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2))=SOLYRR(2); !%A.T;
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR(DMU(J):LANDAR(J)>=0);
@FOR(DMU(J):@BIN(DELTA(J)));
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO',2);
@FOR(ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLXR(ITER)=SOLXRR;
GAMMA(ITER)=GAMMAR;
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 45. Programa LINGO para el planteamiento 3 con orientación de salida.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:XR,TETA,DELTA;
SALIDAR/1..2/:SOLYRR;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU,SALIDAR):YR,SOLYR;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLXR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
XR,YR=@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 3\Resultados\P1
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 3\Resultados\Plant3_Ent
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MIN= TETAR;
!Restricciones;
@FOR(DMU(J):
LANDAR(J)<=DELTA(J);
XR(J)-TETAR*XR(R)<=1000000*(1-DELTA(J));
!LANDAR(J)*(XR(J)-TETAR*XR(R))<=0; !Coste laboral medio; !HAY QUE LINEALIZAR;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*XR(J))=SOLXRR;
@FOR(SALIDAR(K):
@FOR(DMU(J):
LANDAR(J)*(YR(J,K)-YR(R,K))>=0);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1))=SOLYRR(1); !I+D/ocupados;
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2))=SOLYRR(2); !%A.T;
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR(DMU(J):LANDAR(J)>=0);
@FOR(DMU(J):@BIN(DELTA(J)));
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO',2);
@FOR(ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLXR(ITER)=SOLXRR;
TETA(ITER)=TETAR;
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 46. Programa LINGO para el planteamiento 3 con orientación de entrada.


```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:X,GAMMA,DELTA; !YV ahora lo declaramos abajo;
SALIDA/1..2/:SOLYRR,SOLYVR; !Tenemos dos salidas volumétricas;

!conjuntos derivados;
DMU_SALIDA(DMU,SALIDA):YR,SOLYR,YV,SOLYV;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLX;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;

ENDSETS

DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
X,YR,YV=@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 4\Res
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 4\Resultados\P1
ENDDATA

SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MAX=GAMMAR;

!Restricciones;
@SUM(DMU(J):
LANDAR(J)*X(J))<=X(R);

SOLXR=@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*X(J));

@FOR(SALIDA(K):
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,K))>=GAMMAR*YV(R,K));

@FOR(SALIDA(K):
@FOR(DMU(J):
LANDAR(J)<=DELTA(J);
GAMMAR*YR(R,K)-YR(J,K)<=1000000*(1-DELTA(J)));
!LANDAR(J)*(YR(J,K)-GAMMAR*YR(R,K))>=0); !Hay que linealizar!

@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,1))=SOLYVR(1);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,2))=SOLYVR(2);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YR(J,1))=SOLYRR(1);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YR(J,2))=SOLYRR(2);

@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR(DMU(J):LANDAR(J)>=0);
@FOR(DMU(J):@BIN(DELTA(J)));

ENDSUBMODEL

CALC:
@SET('TERSEO',2);

@FOR(ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);

SOLX(ITER)=SOLXR;
GAMMA(ITER)=GAMMAR;
SOLYV(ITER,1)=SOLYVR(1);
SOLYV(ITER,2)=SOLYVR(2);
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);

@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 47. Programa LINGO para el planteamiento 4 con orientación de salida.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;
DMU/1..16/:X,TETA; !YV ahora lo declaramos abajo;
SALIDA/1..2/:SOLYRR,SOLYVR; !Tenemos dos salidas volumétricas;
!conjuntos derivados;
DMU_SALIDAR(DMU, SALIDA):YR, SOLYR, YV, SOLYV;
ITERACION(DMU):LANDAR, SOLX;
DMU_ITERACION(DMU, ITERACION):LANDA;
ENDSETS
DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;
X, YR, YV = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 4\Res
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;
@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 4\Resultados\Pl
ENDDATA
SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;
MIN= TETAR;
!Restricciones;
@SUM(DMU(J):
LANDAR(J)*X(J)) <= TETAR*X(R);
SOLXR=@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*X(J));
@FOR (SALIDA(K):
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,K)) >= YV(R,K));
@FOR (SALIDA(K):
@FOR (DMU(J):
LANDAR(J)*(YR(J,K)-YR(R,K))>=0));
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YV(J,1)) = SOLYVR(1);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YV(J,2)) = SOLYVR(2);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,1)) = SOLYRR(1);
@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J,2)) = SOLYRR(2);
@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;
@FOR (DMU(J): LANDAR(J)>=0);
ENDSUBMODEL
CALC:
@SET('TERSEO', 2);
@FOR (ITERACION(ITER):
R=ITER;
@SOLVE(Ratio);
SOLX(ITER)=SOLXR;
TETA(ITER)=TETAR;
SOLYV(ITER,1)=SOLYVR(1);
SOLYV(ITER,2)=SOLYVR(2);
SOLYR(ITER,1)=SOLYRR(1);
SOLYR(ITER,2)=SOLYRR(2);
@FOR (DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);
ENDCALC

```

Figura 48. Programa LINGO para el planteamiento 4 con orientación de entrada.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;

DMU/1..16/:X,GAMMA,YR,DELTA;      !YV ahora lo declaramos abajo;
SALIDA/1..2/:SOLYVR;      !Tenemos dos salidas volumétricas;

!conjuntos derivados;

DMU_SALIDAR(DMU,SALIDA):YV,SOLYV;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLX,SOLYR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;

ENDSETS

DATA:

!Importamos los datos desde una hoja excel;

X,YR,YV = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 5\Res

!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;

@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 5\Resultados\Pl

ENDDATA

SUBMODEL Ratio:

!Funcion objetivo;

MAX= GAMMAR;

!Restricciones;

@SUM(DMU(J):
      LANDAR(J)*X(J)) <= X(R);

SOLXR=@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*X(J));

@FOR (SALIDA(K):
      @SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,K)) >= GAMMAR*YV(R,K));

@FOR (DMU(J):
      LANDAR(J) <= DELTA(J);
      GAMMAR*YR(R)-YR(J) <= 1000000*(1-DELTA(J));
      !LANDAR(J)*(YR(J)-GAMMAR*YR(R))>=0; !Hay que linealizar!;

@SUM(DMU(J):
      LANDAR(J)*YV(J,1)) = SOLYVR(1);

@SUM(DMU(J):
      LANDAR(J)*YV(J,2)) = SOLYVR(2);

@SUM(DMU(J):
      LANDAR(J)*YR(J)) = SOLYRR;

@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;

@FOR (DMU(J): LANDAR(J)>=0);

@FOR (DMU(J): @BIN(DELTA(J)));

ENDSUBMODEL

CALC:
@SET('TERSEO', 2);

@FOR (ITERACION(ITER):

R=ITER;
@SOLVE(Ratio);

SOLX(ITER)=SOLXR;
GAMMA(ITER)=GAMMAR;
SOLYV(ITER,1)=SOLYVR(1);
SOLYV(ITER,2)=SOLYVR(2);
SOLYR(ITER)=SOLYRR;

@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J));
);

ENDCALC

```

Figura 49. Programa LINGO para el planteamiento 5 con orientación de salida.

```

SETS:
!conjuntos primitivos;

DMU/1..16/:X,TETA,YR; !YV ahora lo declaramos abajo;
SALIDA/1..2/:SOLYVR; !Tenemos dos salidas volumétricas;

!conjuntos derivados;

DMU_SALIDAR(DMU,SALIDA):YV,SOLYV;
ITERACION(DMU):LANDAR,SOLX,SOLYR;
DMU_ITERACION(DMU,ITERACION):LANDA;

ENDSETS

DATA:
!Importamos los datos desde una hoja excel;

X,YR,YV = @OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 5\Res
!Exportamos los resultados landa a una hoja excel;

@OLE ('C:\Users\Maria\Dropbox\TFG\LINGO NUEVOS PLANTEAMIENTOS\Planteamiento 5\Resultados\Pl
ENDDATA

SUBMODEL Ratio:
!Funcion objetivo;

MIN= TETAR;

!Restricciones;

@SUM(DMU(J):
LANDAR(J)*X(J) <= TETAR*X(R);

SOLXR=@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*X(J));

@FOR (SALIDA(K):
@SUM(DMU(J):LANDAR(J)*YV(J,K) >= YV(R,K));

@FOR (DMU(J):
LANDAR(J)*(YR(J)-YR(R))>=0;

@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YV(J,1) = SOLYVR(1);

@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YV(J,2) = SOLYVR(2);

@SUM(DMU(J): LANDAR(J)*YR(J) = SOLYRR;

@SUM(DMU(J):LANDAR(J))=1;

@FOR (DMU(J): LANDAR(J)>=0);

ENDSUBMODEL

CALC:
@SET('TERSEO',2);

@FOR (ITERACION(ITER):

R=ITER;

@SOLVE(Ratio);

SOLX(ITER)=SOLXR;
TETA(ITER)=TETAR;
SOLYV(ITER,1)=SOLYVR(1);
SOLYV(ITER,2)=SOLYVR(2);
SOLYR(ITER)=SOLYRR;

@FOR(DMU(J):LANDA(ITER,J)=LANDAR(J);|
);

ENDCALC

```

Figura 50. Programa LINGO para el planteamiento 5 con orientación de entrada.