

# Trabajo Fin de Grado

## Ingeniería de Tecnologías Industriales

### Aplicación de técnicas de investigación operativa para el análisis y la gestión de la crisis energética en Europa bajo el plan REPowerEU

Autor: Fernando López Chacón

Tutora: Alicia Robles Velasco

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

Sevilla, 2023





Trabajo Fin de Grado  
Ingeniería de Tecnologías Industriales

**Aplicación de técnicas de investigación operativa  
para el análisis y la gestión de la crisis energética en  
Europa bajo el plan REPowerEU**

Autor:

Fernando López Chacón

Tutora:

Alicia Robles Velasco

Profesora sustituta interina

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado: Aplicación de técnicas de investigación operativa para el análisis y la gestión de la crisis energética en Europa bajo el plan REPowerEU

Autor: Fernando López Chacón

Tutora: Alicia Robles Velasco

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2023

El Secretario del Tribunal

*El apoyo de mi familia.*  
*La ayuda de mis compañeros.*  
*La enseñanza de los profesores.*  
*El aprendizaje en mí mismo.*



# Agradecimientos

---

A mi tía Noelia y sus mensajes de ánimo, a los abuelos cuando preguntan por cómo va la carrera, al espíritu de superación de la abuela Yeya, a las conversaciones con mi madre cuando no podía más, las reuniones de seguimiento con mi padre, a las palabras inspiradoras de algún conocido, ...

A la ayuda mutua entre compañeros. Hay asignaturas que no hubiera sacado si no hubiera sido por ellos. Ha habido momentos en los que se sintió como si estuviéramos luchando juntos en una trinchera. Definitivamente, compañeros de batalla. A Juanan y las conversaciones sobre energía.

A todos los profesores que he tenido, desde la guardería hasta el curso actual, por enseñarme aquello que me tuvieran que enseñar, ya fueran lecciones teóricas o valores. Agradecido a aquellos que hacen de su trabajo, su vocación, y con su labor añaden valor a sus productos, los alumnos.

Y sobre todo a Alicia, por la dedicación y la cercanía que siempre ha mostrado. Tanto en la asignatura de Métodos Cuantitativos como en el Trabajo de Fin de Grado, su compromiso ha sido fundamental para el éxito de ambas. Por creer en sus alumnos y sacar lo mejor de nosotros.

*Fernando López Chacón*

*Estudiante del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales*

*Sevilla, 2023*



# Resumen

---

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es abordar la crisis energética surgida a raíz de la invasión rusa a Ucrania. El 18 de mayo de 2022 la UE anunció un plan de medidas para dejar de depender del gas ruso para el año 2027, llamado el plan REPowerEU. Este tiene tres medidas básicas: ahorro de energía, diversificación de proveedores y energía limpia. Como estudiante de último año del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales con especificación en Organización y Producción surgió la propuesta de aplicar técnicas de investigación operativa para desarrollar cada uno de estos tres puntos y obtener resultados y conclusiones que ayuden a analizar y gestionar la implementación de estas medidas, así como a una posible resolución.

Con respecto al primero de los objetivos, el ahorro de energía, se aplica un Análisis por Envoltura de Datos para hallar los países energéticamente más eficientes y así poder proponer medidas para aquellos países menos eficientes usando la eficiencia energética como herramienta.

Con respecto al segundo objetivo, la diversificación de proveedores, en este trabajo se utiliza el modelo de transportes para hallar la distribución óptima entre proveedores y clientes. Estos, serán las regiones establecidas según la Plataforma de Energía de la UE, las cuales presentarán una demanda agregada.

En cuanto a la energía limpia, se propone la resolución de un modelo matemático específico, así como un análisis de la producción de energía eléctrica en la Unión Europea. Se considera cada tipo de energía renovable, el cálculo del coste diario de la electricidad (pool eléctrico) y se plantea una propuesta para cumplir el objetivo asociado.



# Abstract

---

The objective of this Final Degree Project is to address the energy crisis that arose as a result of the Russian invasion of Ukraine. On May 18, 2022, the EU announced a plan of measures to stop depending on Russian gas by 2027, called the REPowerEU plan. This has three basic measures: energy saving, supplier diversification and clean energy. As a last-year student of the Undergraduate Degree in Industrial Technology Engineering with a major in Organization and Production, the proposal to apply operational research techniques to develop each of these three points and obtain results and conclusions that help to analyze and manage the implementation of these arisen measures, as well as a possible resolution.

Regarding the first of the objectives, energy saving, a Data Envelope Analysis is applied to find the most energy efficient countries and thus be able to propose measures for those less efficient countries using energy efficiency as a tool.

Regarding the second objective, the diversification of suppliers, in this work the transport model is used to find the optimal distribution between suppliers and customers. These will be the regions established according to the EU Energy Platform, which will present an aggregate demand.

Regarding clean energy, the resolution of a specific mathematical model is proposed, as well as an analysis of the production of electrical energy in the European Union. Each type of renewable energy is considered, the calculation of the daily cost of electricity (electric pool) and a proposal is made to meet the associated objective.

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>xvi</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xviii</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>1</b>
1.1. <i>¿Qué es la energía?</i>	1
1.2. <i>Energía: Modelos energéticos y problemática</i>	4
1.2.1 Preagrícola	4
1.2.2 Agrícola	5
1.2.3 Agrícola avanzado	5
1.2.4 Preindustrial	5
1.2.5 Industrial	5
1.2.7 Industrial Avanzado	6
1.2.7 Cambio climático (Problemática)	7
1.2.8 Energías renovables	8
1.3. <i>Ámbito europeo y actual</i>	9
1.3.1 Transición energética	9
1.3.2 Pacto Verde Europeo	9
1.3.3 Acuerdo de París	9
1.3.4 Dependencia del gas ruso	10
1.3.5 Pandemia del COVID-19	11
1.3.6 Guerra de Ucrania	11
<b>2 Objetivo</b>	<b>13</b>
2.1. <i>Primer Objetivo: Ahorro de energía</i>	13
2.2. <i>Segundo Objetivo: Diversificación de proveedores</i>	14
2.3. <i>Tercer Objetivo: Energía limpia</i>	16
<b>3 Metodología</b>	<b>19</b>

3.1	<i>Análisis por Envoladura de Datos (DEA)</i>	19
3.1.1	Marco teórico	19
3.1.2	Particularización	21
3.2	<i>Problema de Transporte</i>	22
3.3	<i>Modelo matemático (Energía Limpia)</i>	23
<b>4</b>	<b>Ahorro de energía</b>	<b>27</b>
4.1	<i>Caso de Estudio</i>	27
4.2	<i>Análisis descriptivo</i>	28
4.2.1	Análisis previo	29
4.2.1.1	Alemania	29
4.2.1.2	Francia	30
4.2.1.3	Italia	30
4.2.1.4	España	30
4.2.1.5	Otras consideraciones	33
4.2.1.6	Relación población-PIB-consumo	35
4.2.2	Diversificación	37
4.2.2.1	Cálculo de la diversificación	37
4.2.2.2	Análisis de la diversificación	38
4.2.3	Resultados del modelo DEA bidimensional	43
4.2.3.1	Análisis de la eficiencia económica (Población-PIB)	43
4.2.3.2	Análisis de la eficiencia energética (Consumo-PIB)	44
4.2.3.3	Petróleo-PIB	45
4.3	<i>Resultados</i>	46
4.3.1	Escenario original	46
4.3.2	Escenario energías renovables	48
<b>5</b>	<b>Diversificación de Proveedores</b>	<b>51</b>
5.1	<i>Caso de Estudio</i>	51
5.1.1	Cálculo de la producción	51
5.1.2	Cálculo de la demanda	53
5.1.3	Cálculo de la matriz de distancias	54
5.2	<i>Resultados</i>	54
<b>6</b>	<b>Energía Limpia</b>	<b>57</b>
6.1	<i>Caso de Estudio</i>	57
6.2	<i>Análisis de las energías renovables y sus costes</i>	58
6.2.1	Energía eólica	59
6.2.2	Energía hidráulica	60
6.2.3	Biocombustibles	61
6.2.4	Energía solar	62
6.2.5	Cálculos de costes diarios (Pool eléctrico)	63
6.3	<i>Resultados</i>	66
<b>7</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>71</b>
7.1	<i>Conclusiones del primer objetivo</i>	71
7.2	<i>Conclusiones del segundo objetivo</i>	72
7.3	<i>Conclusiones del tercer objetivo</i>	73
7.4	<i>Diversificación y costes</i>	74
7.5	<i>Visión del Plan REPowerEU</i>	74
7.6	<i>Futuras líneas de investigación</i>	75
	<b>Referencias</b>	<b>77</b>
	<b>Anexo de Tablas</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo de Figuras</b>	<b>91</b>

# ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Datos presentados sin modificación previa	28
Tabla 2. Datos dispuestos para el análisis	29
Tabla 3. Datos para el análisis de transporte por carretera	31
Tabla 4. Mixes energéticos de los países A y B con su diversificación	37
Tabla 5. Diversificación por países ordenados de mayor a menor con diversos parámetros agrupados	38
Tabla 6. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional población-PIB	44
Tabla 7. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional consumo-PIB	45
Tabla 8. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional petróleo-PIB	45
Tabla 9. Tabla con las thetas, las holguras de entradas y los puntos de referencia	47
Tabla 10. Presentación final de los resultados del DEA	48
Tabla 11. Cálculos relacionados con el cálculo de la producción	52
Tabla 12. Proveedores y cantidades a producir en Mtoe	52
Tabla 13. Demanda agregada por regiones	53
Tabla 14. Matriz de distancias en km	54
Tabla 15. Datos necesarios para el problema de transportes	55
Tabla 16. Resultados del problema de transportes	56
Tabla 17. Producción de electricidad por fuente y por país en porcentaje	58
Tabla 18. Solución y datos (costes aleatorios) mostrados en el Excel	66
Tabla 19. Particularización al tercer objetivo	68
Tabla 20. Porcentajes referidos al mix energético renovable	69
Tabla 21. Cambios respecto a la situación inicial	69
Tabla 22. Nueva situación del mix eléctrico	70
Tabla 23. Análisis de conclusiones del primer objetivo	72
Tabla 24. Análisis de conclusiones del segundo objetivo	73



# ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Consumo de energía y evolución, miles kcal/persona/día	4
Figura 2. Comparativa entre la temperatura global y la actividad solar	7
Figura 3. Porcentaje de CO <sub>2</sub> emitido de varios combustibles fósiles	8
Figura 4. Situación de cada país respecto al Acuerdo de París en 2017	10
Figura 5. Etiqueta de eficiencia energética y certificado energético	14
Figura 6. Grupos regionales de la Plataforma de Energía de la UE	15
Figura 7. Principales rutas de abastecimiento de gas a Europa	16
Figura 8. Representación gráfica de una DMU	20
Figura 9. Formulación del modelo BCC-Input	21
Figura 10. Red del modelo de transporte	23
Figura 11. Comparativa del transporte por carretera frente al uso del petróleo	31
Figura 12. Porcentaje de producción de energía eléctrica con fuentes de energía renovable por CC.AA. en el año 2022	32
Figura 13. Situación nuclear europea en julio de 2022	34
Figura 14. Comparación entre la producción de energía nuclear y la superficie (ordenados de menor a mayor superficie)	35
Figura 15. Relación entre la población y el PIB	36
Figura 16. Relación entre la población y el consumo	36
Figura 17. Relación entre el PIB y el consumo.	36
Figura 18. Fórmula de la diversificación para los países A y B	37
Figura 19. Fórmula de la diversificación corregida para el resto de los países	38
Figura 20. Países ordenados de mayor a menor índice de diversificación	39
Figura 21. Diversificación frente a la población	40
Figura 22. Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE	42
Figura 23. Diversificación frente a superficie	43
Figura 24. Tabla de resultados en el EMS	46

Figura 25. Resultados del DEA en el caso de las energías renovables	49
Figura 26. Programación del problema de transportes en Lingo	55
Figura 27. Uso de la energía eólica para la producción de electricidad	59
Figura 28. Atlas eólico europeo a 100m sobre el nivel de la superficie escalado con la velocidad del viento en m/s	60
Figura 29. Uso de la energía hidráulica para la producción de electricidad	61
Figura 30. Uso de los biocombustibles para la producción de electricidad	61
Figura 31. Uso de la energía solar para la producción de electricidad	62
Figura 32. Irradiación global horizontal en Europa	63
Figura 33. Gráfica demostrativa del método marginalista	64
Figura 34. Gráfica de la producción de energía durante julio del 2021	65
Figura 35. Modelo matemático programado en Lingo	67
Figura 36. Diagrama de Venn de la visión del Plan REPowerEU	75



# 1 INTRODUCCIÓN

---

*Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad*

*- Albert Einstein -*

## 1.1. ¿Qué es la energía?

La energía, del latín **energĭa**, que a su vez proviene de las palabras griegas **ἐνέργεια**, *enérgeia* (que significa “actividad”, “operación”) y de **ἐνεργός**, *energós* (“fuerza de acción” o “fuerza de trabajo”) [1], según su definición [2][3], se podría describir como la capacidad de realizar un trabajo, en otras palabras, un cambio en cualquier propiedad que sea medible, dentro de un sistema aislado, tomando como referencia un estado inicial y otro final. Tomando como base el principio de conservación de la energía [4], que dicta que la energía no puede crearse ni destruirse, sólo convertirse de una forma de energía a otra, este cambio mencionado antes, no sería más que una mera transformación. Un movimiento, una variación de temperatura, una transmisión de ondas son ejemplos de manifestaciones de los distintos tipos de energía que existen como la energía mecánica, la energía interna o la energía electromagnética, para ilustrar. Su unidad de medida estándar en el Sistema Internacional, la cual sirve para cuantificarla es el Joule [J], en honor a James Prescott Joule, físico inglés del siglo XIX, al cual se le atribuyen investigaciones y descubrimientos sobre todo en el campo de la termodinámica.

Los principales tipos de energía, según las diferentes denominaciones que reciben las acciones y los cambios que puede provocar, son:

- **Energía mecánica**

La energía mecánica ( $E_m$ ) es aquella que se relaciona tanto con el movimiento como con la posición de las partículas, por tanto, consecuentemente esta energía se puede subdividir en dos tipos de energía que tienen en objetivo el movimiento: la energía cinética ( $E_c$ ) y la energía potencial ( $E_p$ ).

$$E_m = E_c + E_p$$

- **Energía cinética**

La energía cinética se manifiesta cuando los cuerpos se mueven y se asocia a la velocidad. Se calcula con la siguiente fórmula, donde  $m$  corresponde a la masa del objeto en cuestión y  $v$  a su velocidad.

$$E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

- Energía potencial

La energía potencial hace referencia a la posición que ocupa una masa en el espacio. Su fórmula es la siguiente, donde  $g$  representa la gravedad y  $h$  la altura del objeto.

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

- **Energía interna**

Es un reflejo de la energía a escala macroscópica. En otras palabras, la energía con la que interaccionan los átomos o moléculas entre sí. Se denota con la letra  $U$  y depende de la temperatura [5].

- **Energía eléctrica**

La energía eléctrica consiste en el movimiento de electrones entre dos puntos cuando existe una diferencia de potencial entre ellos, dando lugar a la llamada corriente eléctrica [6].

- **Energía térmica**

Se puede definir como la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro más frío manifestándose mediante el calor.

- **Energía electromagnética**

Consiste en ondas de campos eléctricos y magnéticos que se propagan a través del espacio a la velocidad de la luz. El espacio por el que se propagan estas ondas son los denominados campos electromagnéticos [7]. Los rayos ultravioletas del sol son un buen ejemplo de este tipo de energía.

- **Energía química**

En determinadas reacciones químicas (exotérmicas), debido a la formación o la ruptura de ciertos enlaces químicos se libera energía en forma de calor o luz al ambiente, lo que se denomina energía química. El carbón o el gas natural pueden ser ejemplos de uso en este grupo.

- **Energía nuclear**

La energía nuclear es la que se genera debido a la interacción de los átomos entre sí. Se distinguen dos tipos, la energía que se libera debido a su rotura, conocida como fisión o la correspondiente a su unión, conocida como fusión.

Por otro lado, también resulta de gran interés enumerar y hacer un breve resumen de las propiedades de la energía, ya que ayudan a acotar las características que esta posee. La energía tiene cuatro propiedades básicas:

- **Se transforma.** Como hemos enunciado previamente con el principio de conservación de la energía, esta ni se crea ni se destruye, sino que se transforma, siendo el producto de estas transformaciones los distintos tipos de energía mencionados con anterioridad.
- **Se conserva.** Propiedad en la que se basa el principio de conservación de la energía, lo que expone que en la finalización un proceso de transformación de energía no puede haber ni más ni menos que la que había en la etapa original.
- **Se transfiere.** La forma en la que la energía puede ser transferida de un cuerpo a otro también es un aspecto relevante ya que puede darse de diversas maneras.
- **Se degrada.** Solo una parte de la energía transformada es capaz de producir trabajo, ya que un porcentaje se pierde en forma de calor o ruido (vibraciones no deseadas).

Finalmente, y como apunte terminal al desarrollo de aspectos que acaecen a la terminología y conceptos derivados de la energía, no estaría de más, exponer las tres formas principales de transferencia de energía de un cuerpo a otro:

- **Trabajo**

Se realiza trabajo cuando la energía es utilizada para que un cuerpo pueda pasar de una posición a otra.

- **Ondas**

Las ondas son la propagación de perturbaciones con ciertas características como el campo eléctrico, el magnetismo o la presión, que cuando se mueven a través del espacio transmiten energía.

- **Calor**

El calor es un tipo de energía que se transmite de un cuerpo caliente a otro más frío. Hay tres mecanismos por los cuales se puede realizar la transmisión de calor:

- **Conducción.** Es la que se realiza entre dos cuerpos que se encuentran en estado sólido.
- **Radiación.** Mecanismo cuya peculiaridad es que se transmite por ondas a través del vacío como la radiación infrarroja de los rayos del sol.

- Convección. Aquella que se realiza entre un cuerpo sólido y un fluido o entre dos fluidos, pudiéndose encontrar estos últimos en estado líquido o gaseoso. Su clasificación se puede dividir en libre o forzada, según el origen de su movimiento.

## 1.2. Energía: Modelos energéticos y problemática

A lo largo de la historia, los seres humanos han estado en constante búsqueda de fuentes de energía y formas de aprovechamiento con el propósito de servirse de ellas [8]. Radica ahí, la importancia de la energía y la principal diferencia de la especie humana con el resto de las especies animales y vegetales que pueblan la Tierra. Mientras que estas últimas han tenido que adaptarse al medio para sobrevivir, el hombre ha sido capaz, mediante la evolución y el uso de la energía, de imponerse al entorno y explotarlo para hacer de ello un sustento de vida. Así pues, durante el desarrollo de la humanidad, han surgido múltiples modelos energéticos, los cuales dependen de las fuentes de energía empleadas. Es necesario subrayar, que el paso de un modelo a otro repercute en un incremento de consumo de energía, así como que el hecho de que un modelo predomine en un territorio no significa que este se imponga en otras regiones simultáneamente. En otras palabras, los modelos energéticos son fundamentales en el desarrollo y pueden coexistir un número de ellos durante un mismo periodo de tiempo. En la Figura 1, podemos observar un gráfico de barras con los modelos energéticos surgidos en el tiempo y el correspondiente consumo diario de energía de una persona en miles de calorías durante dicha etapa.

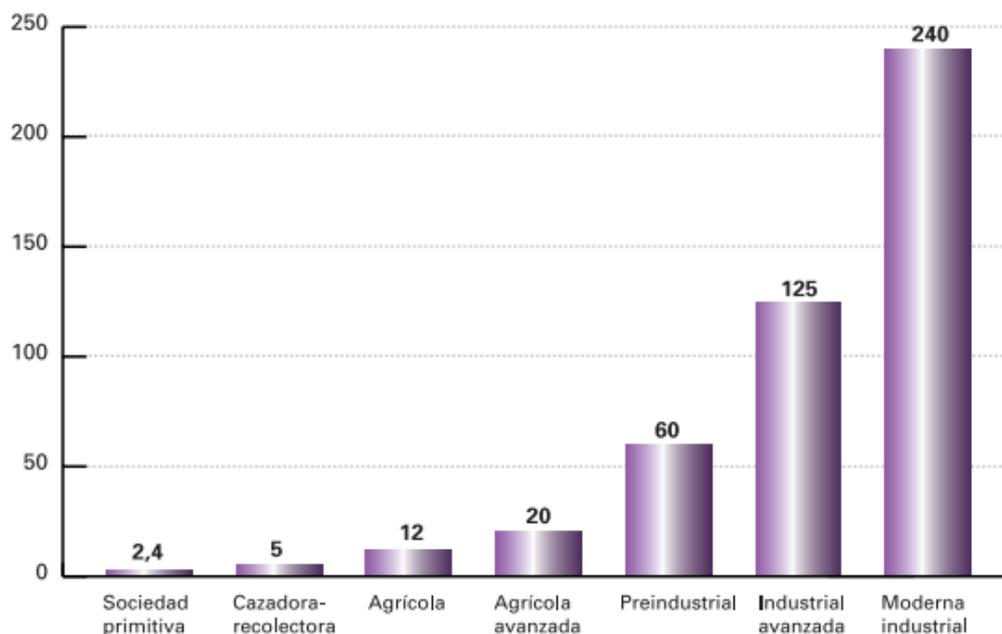


Figura 1. Consumo de energía y evolución, miles kcal/persona/día.

### 1.2.1 Preagrícola

El modelo energético preagrícola se comprende entre el Pleistoceno (hace 11700 años) y el Paleolítico Superior (hace 10000 años). Las características más notables de este periodo son la recolección de alimentos y leña para la cocción de alimentos. Ya había conciencia de la existencia del fuego (desde el 40000 a.C.). Se puede destacar que no había modificación del ambiente ya que la única fuente de energía era la propia energía mecánica del

hombre.

### **1.2.2 Agrícola**

Surge hace 10000 años en Asia Central a raíz de la conocida Revolución del Neolítico. Se podría considerar el primer acercamiento del hombre por controlar el medio gracias a la invención de la rueda y la inclusión de tracción por parte de animales, además del uso del viento en la navegación a vela. Se enfatiza el cambio de civilizaciones nómadas a sedentarias, aunque la falta de herramientas adecuadas se ve como un impedimento para el aumento de la productividad.

### **1.2.3 Agrícola avanzado**

La aparición de todo tipo de herramientas hace que se faciliten tareas que eran más arduas en la etapa predecesora. La invención del hacha posibilita el talado, siendo la madera el material más usado en esta época. Sigue predominando la tracción tanto animal (buey sobre caballo) como humana, aunque el desarrollo de la agricultura en zonas áridas o semiáridas (Egipto o Asia Menor) obliga a la realización de obras de ingeniería hidráulica para riego. Se establecen distintas clases sociales que dominan la energía, por tanto, la posibilidad de crecimiento queda estancada.

### **1.2.4 Preindustrial**

Trasladándose a la Europa feudal, donde los estamentos de clase siguen siendo la principal barrera para el progreso. Esta era no se caracterizó por su innovación, sino por la adaptación de inventos ya existentes como el timón, la brújula, la pólvora, el papel, el estribo, los molinos o la imprenta, entre otros. Respecto a la tracción animal, la invención de un nuevo arnés, preferencia al caballo, así como la rotación de los cultivos (barbecho) se traduce en una mejora de la productividad. Se instauran los molinos hidráulicos y los de viento, los primeros derivados de la antigua Roma y útiles para realizar tareas como moler grano o elevar agua. Los segundos, son traídos desde Persia gracias a las Cruzadas y constituyen un gran crecimiento en Holanda. Adam Smith, padre de la economía, ejemplifica la importancia del comercio marítimo respecto al terrestre, siendo el primero más eficiente. Energéticamente, los recursos primordiales eran la madera, el agua, el viento y la tracción. En efecto, la madera y la tracción representaban del 80 al 85 % de la energía primaria. El inconveniente surgió con la escasez de la madera, debido a su uso indiscriminado, lo que provocó el primer cuello de botella en la provisión de energía. Era la primera vez que se daba una crisis energética debido a que desde los orígenes no se había realizado una búsqueda alternativa de recursos. El avance y el incremento de productividad se hizo en base a la aparición de herramientas y métodos, no al descubrimiento de nuevas fuentes de energía. Tuvo que llegar la Revolución Industrial en Inglaterra para apaciguar las incisivas necesidades de progreso, cambiando estrepitosamente el panorama económico y energético.

### **1.2.5 Industrial**

La Revolución Industrial se inició en la segunda mitad del siglo XVIII, y la principal causa de esta fue la sustitución de las fuentes de aprovechamiento, como el agua y el viento, que son gratuitas y de uso libre, por una de carácter económico como es el carbón. En el año 1765, el escocés James Watt inventa la máquina de vapor y en el año 1769 es patentada, siendo este acontecimiento el pilar de la revolución [9][10]. Su funcionamiento se basa en calentar agua a partir de un fuego alimentado por carbón para obtener vapor y

utilizarlo para mover mecanismos. Sus aplicaciones tanto en el transporte marítimo como en el ferrocarril fueron implementadas a nivel mundial. Bien es sabido, que las sociedades preindustriales dependían de la tierra para poder producir bienes. En Inglaterra, entre finales del siglo XVI y principios del siglo XVII se dieron las condiciones para poder abandonar el cultivo y centrarse en otras actividades de interés. Estas condiciones fueron el aumento de producción agrícola *per cápita*, incremento del área dedicada a pasto respecto a la de cultivo y el uso de carbón como combustible sustitutivo debido a la escasez de madera. Esto provocó que hubiera más recursos para producir debido a la alta eficiencia alcanzada en el sector de la agricultura, disminución de la mano de obra dedicada al campo que podría ser utilizada en la realización de nuevas actividades y disponer de una fuente sustitutiva que permitiera un mayor desarrollo a escala global. Para ser exactos, hacia el año 1800, 4 de cada 10 hombres trabajaba en el agro inglés, mientras que para ese mismo periodo la ratio era 6-8 a 10 en el resto de Europa. No obstante, el uso de carbón permitió que aumentara la producción de hierro, así como la fabricación de otros productos de manufactura, siendo la dependencia del campo cada vez más insignificante.

### 1.2.7 Industrial Avanzado

A finales del siglo XIX, con la llegada del motor de combustión interna de la mano de Nikolaus August Otto, la demanda de petróleo se dispararía, dejando desbancado al carbón. Y es que a diferencia de la leña o el carbón que utilizaban las locomotoras, el petróleo presenta varias ventajas como más facilidad a la hora de transportarlo o su mayor densidad energética, lo que implica que se necesita menos cantidad de petróleo para obtener la misma cantidad de energía que obtendríamos con cierta cantidad de carbón. La importancia del petróleo es crucial, ya que el uso de este genera un ahorro de 2000 veces si cualquier actividad se tuviera que realizar a base de esfuerzo humano. En esa misma línea, siendo la combustión de madera la principal fuente de energía hasta mediados del siglo XIX, con la llegada del carbón y posteriormente con la del petróleo, la dependencia de los combustibles fósiles dejó una huella, que aún hoy pervive.

La investigación en los campos de la Electricidad y el Electromagnetismo consiguió el hito de convertir la energía mecánica en eléctrica siendo el comienzo de la electricidad tal y como la conocemos hoy en día. Gracias a este hallazgo llegaron los motores de corriente eléctrica continua, seguidos de los de alterna, que permiten la transformación del movimiento del agua o del viento en energía eléctrica. Así como el propio transporte de la electricidad o el alumbrado público que siguió creciendo, alimentándose de la energía obtenida de las centrales hidroeléctricas y térmicas. La iluminación originalmente se realizaba con gas, pero a principios del siglo XX, debido a su escasez este tuvo que ser sustituido por la electricidad.

El gas natural, como se mencionaba en el párrafo anterior, es una fuente de energía ‘oculta’. Aunque en sus inicios perdió popularidad frente al petróleo principalmente por su dificultad a la hora de ser transportado; pasado los años, se han descubierto que, si se licua, pasándolo de estado gaseoso a líquido enfriándose a  $-161^{\circ}\text{C}$ , se obtiene Gas Natural Licuado (*Liquefied Natural Gas, LNG* en inglés), lo que simplifica bastante su proceso de transporte [11]. Por añadidura, se concluyó que contamina menos que el carbón o el petróleo y que hay varias reservas alrededor del mundo, por lo que un uso frecuentado del mismo para la producción de electricidad entre otros podría tener un efecto ralentizador sobre el cambio climático mientras se generalizan las renovables.

A principios del siglo XX, después de varias investigaciones científicas se pudo entender el funcionamiento del átomo, descubriendo que se genera gran cantidad de energía al romper su núcleo. Así empezó la energía nuclear, a manos de Otto Hahn realizando la primera fisión artificial del átomo de uranio en 1938, prosiguiendo con la construcción del primer reactor nuclear atribuido a Enrico Fermi en 1942. El principal interés de esta fuente es el bajo coste de producción que tiene. Pero debido a los residuos radiactivos que desecha, nocivos para las personas y el medio ambiente, y las catástrofes producidas en Chernóbil en el año 1986 y más recientemente en Fukushima en el año 2011, es un tipo de fuente de energía altamente estigmatizada por la sociedad actual.

### 1.2.7 Cambio climático (Problemática)

Desde que realizan estudios, se ha expuesto que la quema de combustibles fósiles, tales como el carbón o el petróleo, de los que hay una fuerte dependencia energética, sobre todo del último, han aumentado la presencia de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera. De hecho, varios informes presentan que desde 1750 (fecha de inicio aproximado de la Revolución Industrial), los niveles de dióxido de carbono atmosférico se han elevado un 50%, por lo que atribuirles este efecto a las actividades humanas es irrefutable [12]. Sin embargo, algunos irruptores podrían afirmar que la principal causa del calentamiento global es la radiación solar. Los científicos evidencian que la Irradiación Solar Total (*Total Solar Irradiation, TSI* en inglés) es una métrica que usan para medir la radiación que recibe la Tierra del Sol. Se determinó que esta tenía un ciclo que duraba alrededor de once años. Como se puede observar en la Figura 2, la irradiancia solar sigue su tendencia natural, no presentando ningún aumento neto desde la década de 1950. En cambio, la temperatura global sí que ha incrementado en ese mismo periodo de tiempo. Por tanto, es improbable que el Sol haya originado esa tendencia de calentamiento observada en la última mitad de siglo.

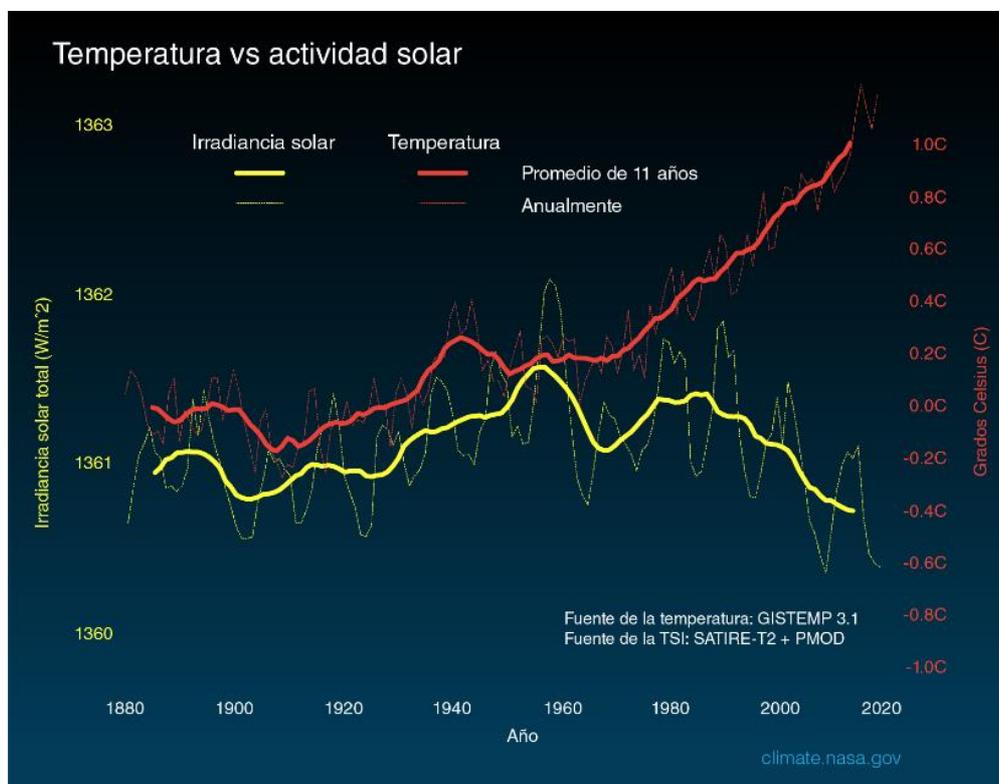


Figura 2. Comparativa entre la temperatura global y la actividad solar.

El gas natural, como se ha descrito anteriormente, es un combustible fósil, pero dentro estos es el que menor impacto ambiental provoca. Esto es debido en parte, a la simplificación existente tanto en su obtención como en su transporte y utilización, sin apenas pasar por procesos de purificación o refinado ni generación de residuos o escoria [13]. Tiene menores emisiones por unidad de energía producida de gases contaminantes entre los que se encuentran el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y el metano (CH<sub>4</sub>). Su alta proporción hidrógeno-carbono en sus moléculas hace que emita un 40-50% menos de CO<sub>2</sub> que el carbón y un 25-30% menos que el fuel-oil. Para ejemplificar, en la Figura 3 se ilustra que el gas natural emite un 58% de CO<sub>2</sub> por partícula emitida, lo que es menor al de los restos de combustibles fósiles comparados. Respecto a los óxidos de nitrógeno, este combustible fósil es capaz de generar dos veces menos que el carbón y dos veces y media menos que el fuel-oil, dándose esas reducciones de 150 en gas-oil, entre 70 y 1500 en carbón

y 2500 en fuel-oil en la emisión de dióxido de azufre, principal componente de la lluvia ácida. El metano, probablemente el gas más perjudicial a la formación del efecto invernadero (incluso más que el CO<sub>2</sub>), a veces puede despreciarse, debido a un tiempo de vida más corto relativamente en la atmósfera.

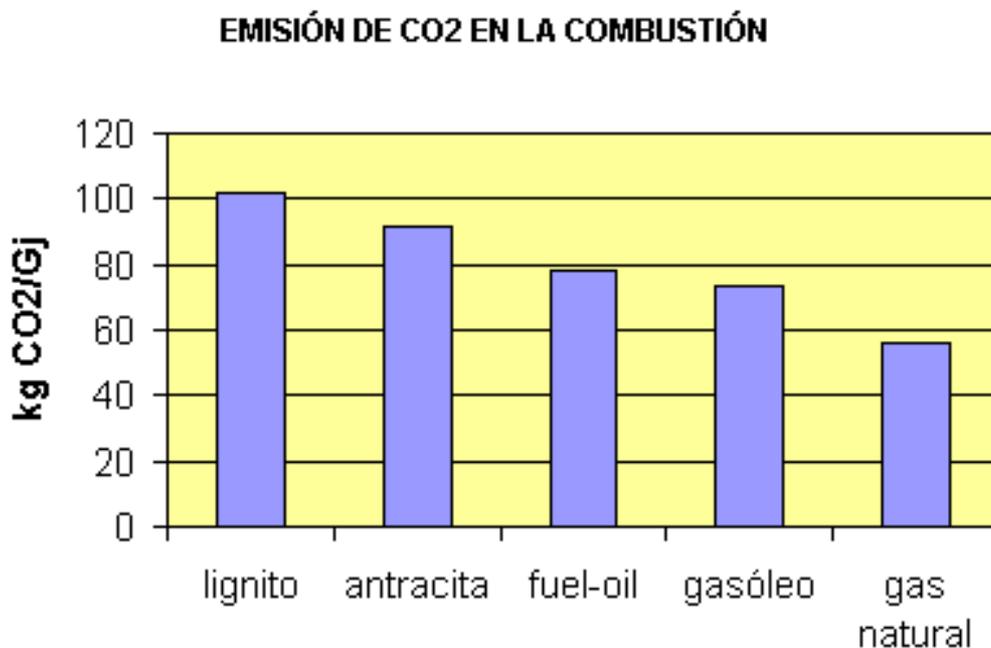


Figura 3. Porcentaje de CO<sub>2</sub> emitido de varios combustibles fósiles.

Otra de las fuentes de energía disponible, como es la energía nuclear, ha suscitado un gran debate sobre su aprovechamiento. Esta energía se considera una energía limpia o verde, ya que sus emisiones de dióxido de carbono son nulas en comparación con otros orígenes de energía [14]. De hecho, las centrales solo expulsan vapor de agua durante su funcionamiento en consecuencia del poder refrigerante de este. Aun así, el recurso principal de este medio, el uranio, deja residuos, que tardan mucho en degradarse y deben ser tratados rigurosamente debido a su radioactividad. Por tanto, aunque este tipo de actividad parezca atractiva para la obtención de electricidad desde el punto de vista de reducir los gases tóxicos, tal vez, con una visión amplia, no debería ser el único objetivo a tener en cuenta.

### 1.2.8 Energías renovables

Aunque desde la antigüedad ya se utilizaba el agua o el viento como fuentes de energía, con la llegada de la Revolución Industrial y los combustibles fósiles, estas quedaron olvidadas y en desuso. A partir de los años 70, surgió la idea de buscar energías “alternativas” a las preestablecidas con la meta de encontrar fuentes de recursos inagotables debido al incipiente aumento de consumo por parte de todos los sectores de la sociedad y el conocimiento de la limitación de los recursos ya existentes. Asimismo, años más tarde, alrededor de la década de 1990, se añadió la preocupación de que el modelo energético que se estaba planteando hasta entonces, pudiera traer graves consecuencias a la calidad de vida de las personas y al ambiente que las rodea. Así que nuevas formas de captación de energía, algunas de ellas previamente desarrolladas por civilizaciones pasadas, volvieron a gozar de relevancia con la finalidad de explotarlas y hacer de ellas un sustento vital.

### 1.3. Ámbito europeo y actual

#### 1.3.1 Transición energética

La transición energética actual se puede definir como el paso de un sistema energético imperado por los combustibles fósiles a uno liderado por fuentes de energías renovables, con el fin de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y así, reducir el efecto invernadero, una de las causas del cambio climático [15]. Una de las principales medidas para lograr este cambio es la electrificación de los consumos en sectores como la industria o el transporte, contribuyendo a la descarbonización. En la última década, desde los diversos organismos gubernamentales, como la Unión Europea o la ONU, se han definido una serie de pactos a cumplir para alcanzar el objetivo de cambio.

#### 1.3.2 Pacto Verde Europeo

El Pacto Verde Europeo (*Europe Green Deal* en inglés) es un pacto firmado por los 27 estados miembros que forman la Unión Europea con el propósito de convertir a Europa en el primer continente climáticamente neutro del mundo para el año 2050 [16]. En una primera fase, existe la intención de reducir en un 55% las emisiones para el año 2030, tomando como referencia para la reducción el año 1990. En otras palabras, que las emisiones en el año 2030 sean como máximo el 45% de las que se emitieron en 1990. Para ello, se establecieron una serie de medidas para lograr dicha finalidad. Entre ellas se encuentra el transporte sostenible, promoviendo la adquisición de vehículos sin emisiones o la tarificación del carbono en los sectores de la aviación y marítimo. La creación de nuevos mercados de tecnologías y productos limpios dentro de la industria europea. Aumento hasta el 40% del uso de las fuentes de energías renovables para el año 2030, así como reducir entre un 36-39% el consumo de energía gracias a la eficiencia energética. Previamente, se fijó que para el año 2020, todos los países debían producir al menos el 20% de su energía a partir de fuentes renovables, lo cual cumplieron todos excepto Francia. Otros puntos incluyen la construcción y rehabilitación de edificios para que tengan un impacto ambiental nulo y fomentar la gestión circular.

#### 1.3.3 Acuerdo de París

Del mismo modo, a parte de las políticas que se están implantando a nivel europeo, se pueden mencionar aquellas que se aplican a escala global, como por ejemplo el Acuerdo de París. El Acuerdo de París es un tratado internacional promovido por la Organización de las Naciones Unidas, firmado por 196 entidades en diciembre del 2015 en París, como se puede apreciar en la Figura 4 [17]. Su intención es que el calentamiento global no se supere en un incremento de dos grados Celsius, preferiblemente no más de uno con cinco grados, por tanto, es un asunto más extenso y ambicioso. Se considera un logro ya que es la primera acción a nivel mundial por abordar la lucha contra el cambio climático. Su funcionamiento consiste en ciclos de cinco años, en los que los países tienen que presentar sus contribuciones determinadas a nivel nacional y fijarse cada vez objetivos más ambiciosos. Nunca ha dejado de suscitar polémica, desde la salida de Estados Unidos en 2020 a manos de Donald Trump, el cuál afirmó ser una desventaja con respecto a la economía [18]. A pesar de la reincorporación del país americano a principios del 2021, lo cierto es, que pasado el primer ciclo (2016-2020), más allá de la UE y países como Australia, Brasil, Canadá o Japón, casi ninguna nación restante ha sido capaz de cumplir con los objetivos propuestos. Ciertamente, ninguno de los países que forma el podio de países más contaminantes

(China, EEUU e India), los cuales representan casi un 50% de la contaminación total, fue capaz de implementar ningún plan [19].

### PAÍSES EN EL ACUERDO DE PARÍS



Figura 4. Situación de cada país respecto al Acuerdo de París en 2017.

#### 1.3.4 Dependencia del gas ruso

Por otro lado, la dependencia del gas ruso empezó en los años sesenta, cuando se construyó la tubería Druzhba, que tenía como principal función suministrar gas a Alemania Oriental, en aquellos tiempos bajo la influencia soviética [20]. A la RDA, se le unieron otros estados del este como Checoslovaquia, Hungría, Letonia, Lituania o Polonia. Asimismo, debido al ademán de Europa Occidental de diversificar sus proveedores para no depender exclusivamente del crudo de Oriente Medio; se construyó el gasoducto más importante, la Tubería Transiberiana, inaugurada en 1984, que conectaba ambos lados del telón de acero, ante la impotente mirada transatlántica de los estadounidenses. Así, con el paso de los años y el aumento de la demanda, la adicción europea del gas ruso cada vez iba a más. En los noventa, se ampliaron los gasoductos transmediterráneos que suplían gas desde Argelia. Entrando en el siglo XXI, se inauguraron los gasoductos de Medgaz, que une Argelia con España y el Nord Stream que une Rusia con Alemania. Incluyendo el gas en el marco de la transición energética, el Pacto Verde Europeo tenía como premisa teórica reducir un 55% las emisiones de dióxido a la atmósfera para el año 2030. Pero en la práctica, esto era imposible disponiendo únicamente las renovables. Era aquí donde entraba el papel decisivo del gas. Este combustible fósil, como se ha explicado previamente, emite menos dióxido de carbono por unidad de energía producida, por lo que su uso sigue siendo fundamental.

### **1.3.5 Pandemia del COVID-19**

Situando el contexto de los últimos años, hay que incluir a China en la ecuación. El gigante asiático, cliente de suministro de gas al igual que la UE, empezó su transición del carbón al gas, lo que provocó subidas en el precio de la energía en toda Europa a lo largo del 2021. También habría que incluir el efecto que produjo la pandemia del COVID-19. Durante la cuarentena, el consumo de energía disminuyó, por lo que meses más tarde, la intensa recuperación de la producción originó un exceso de demanda, que podemos atribuir a la subida de precios en el sector energético.

### **1.3.6 Guerra de Ucrania**

El 24 de febrero de 2022, con la invasión rusa a Ucrania, se abrió un nuevo capítulo dentro de la transición energética que está viviendo Europa. La UE impuso varias sanciones a Rusia, entre las que se encuentran la prohibición de importaciones de petróleo crudo y otros productos refinados, así como un tope al precio del barril [21]. El suministro de gas no quedó restringido, pero con intención de disminuirlo. Hay quienes piensan que estas medidas son efectivas, pero desde otro punto de vista, siempre hubo muchos analistas que se han mostrado escépticos en cuanto al papel de Europa en este asunto. Son diversos los factores que convergen, pero se recalca la falta de cooperación y unidad entre países en materia energética. Cada país presenta distintas circunstancias haciendo que las discrepancias pudieran acentuarse en momentos de tensión. Luego, la falta de realismo fijando objetivos, lo cual incurre en la dependencia de socios poco fiables y autocráticos como Rusia o la falta de previsión en el aprovisionamiento y en el desarrollo tecnológico y legislativo, como la ausencia de baterías para almacenar energía.



## 2 OBJETIVO

---

A raíz de la invasión rusa a Ucrania, el 18 de mayo de 2022 la UE anunció un plan de medidas para dejar de depender del gas ruso para el año 2027, ya que según varias encuestas realizadas el 85% de la población europea se mostraba a favor como respuesta de apoyo al pueblo ucraniano [22][23]. Los objetivos fundamentales son reducir la dependencia de los combustibles fósiles rusos y adelantar la transición ecológica gracias a las energías renovables. Por ello, el plan REPowerEU tiene tres medidas básicas: ahorro de energía, diversificación de proveedores y energía limpia. Como estudiante de último año del Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales con especificación en Organización y Producción surgió la propuesta de aplicar técnicas de investigación operativa, aprendidas en las diversas asignaturas cursadas en la rama, para poder estudiar más afondo y desarrollar cada uno de estos tres puntos y obtener resultados y conclusiones que ayuden a analizar y gestionar la implementación de estas, así como a una posible resolución de la crisis energética.

A continuación, se procede a explicar más en profundidad los temas enumerados con anterioridad, así como la técnica asignada para alcanzar una serie de guías que acoten el propósito preestablecido.

### 2.1. Primer Objetivo: Ahorro de energía

La primera propuesta para hacer frente a la situación actual es el ahorro de energía, que consiste básicamente en disminuir el consumo de energía en aquellas tareas que no se consideren estrictamente necesarias. Un aislamiento adecuado de los edificios para disminuir el uso de la calefacción o el aire acondicionado, cambiar las bombillas por lámparas LED que son más duraderas o usar el transporte público son acciones activas en la economización de la energía. La UE afirma que la demanda de gas y petróleo se podría reducir hasta en un 5% debido a estos cambios de comportamiento a corto plazo. En consecuencia, la asociación anima a los gobiernos de los países miembros a llevar a cabo medidas fiscales que fomenten la disminución del uso de energía, así como a elaborar planes de contingencia ante posibles periodos de emergencia.

No obstante, aminorar el consumo no significa privarse de este, sino hallar formas de obtener su máximo aprovechamiento. Como es sabido, con motivo de causas como el transporte o la transformación de la energía, esta sufre pérdidas que se pueden incurrir como un despilfarro. Por lo tanto, otra forma de ahorrar energía es mediante la eficiencia energética, que se define como la implementación de equipos e instalaciones que reduzcan el consumo de energía consiguiendo el mismo rendimiento empleado para proporcionar un producto o un servicio [24][25]. La Comisión tiene planes de mejorar la eficiencia energética a largo plazo aumentándola del 9% al 13% dentro del paquete <<Objetivo 55>> englobado dentro del Pacto Verde Europeo mencionado con anterioridad. Desde el año 2013, todos los productos que impliquen un consumo energético, como por ejemplo

los electrodomésticos o las bombillas vendidos en la Unión, deben llevar un etiquetado de eficiencia energética que informe al consumidor sobre el consumo del producto a adquirir. Estas etiquetas están acotadas en una escala desde la letra A hasta la G, siendo la letra A la más eficiente y la G menor. En los años recientes, gracias a los avances tecnológicos, se han eliminado la E, la F y la G, debido a que ya no se fabrican electrodomésticos con ese índice de consumo y se han añadido las calificaciones A+, A++, A+++, que ahorran desde un 10% a un 45% de media. Asimismo, desde 2013 todos las casas y edificios construidos deben tener un certificado energético el cual busca medir la intensidad energética que consume el inmueble con el fin de optimizar y reducir su consumo. Este documento presenta dos principales funciones, informar del consumo de energía y de las emisiones de CO2 anuales, de modo que los propietarios o promotores sean conscientes del consumo energético. Tanto la Figura 5a como la Figura 5b son representaciones gráficas de la etiqueta de eficiencia energética como del certificado energético respectivamente [26][27].

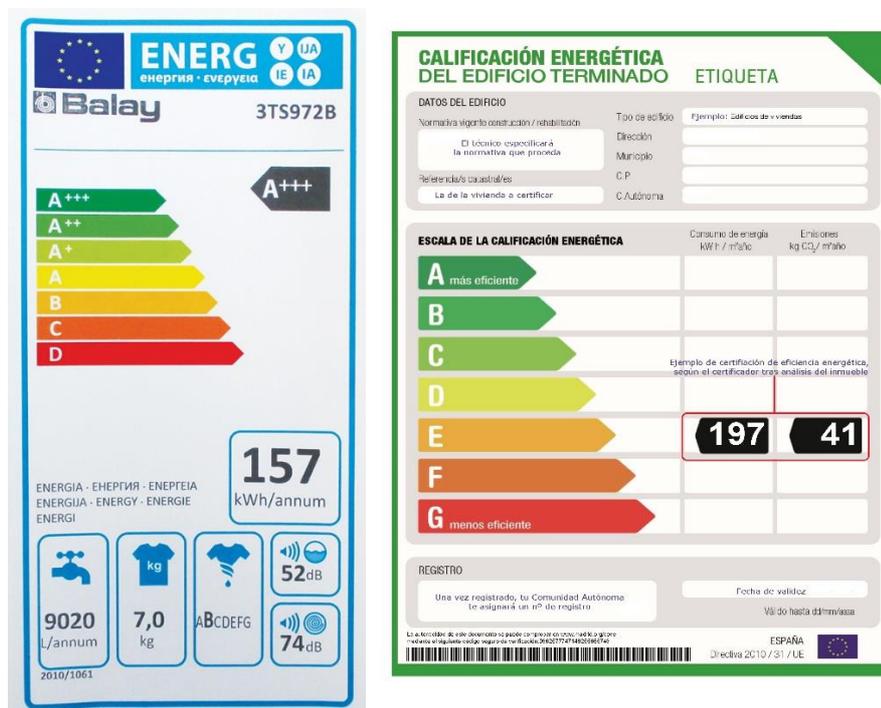


Figura 5. a) Etiqueta de eficiencia energética de una lavadora de la marca Balay. b) Certificado energético.

Por consiguiente, se ha determinado elaborar un análisis por envoltura de datos (*Data Envelopment Analysis, DEA* en inglés) en el cual se puedan considerar unas entradas referidas a la producción de energía y unas salidas referidas al consumo de energía de cada país miembro de la Unión Europea. Con este desarrollo, se podrá cuantificar la eficiencia de cada nación para en base a los resultados provistos establecer una serie de conclusiones sobre la eficiencia energética, el ahorro y la aplicación de las medidas mencionadas en la cotidianidad, así como instaurar una referencia para aquellos estados que necesiten una mejora.

## 2.2. Segundo Objetivo: Diversificación de proveedores

Otra medida para combatir la crisis energética es la adquisición de socios fiables que provean de GNL, debido al bloqueo a Rusia por las sanciones impuestas, así como alianzas de hidrógeno renovable de cara a un futuro. Por consiguiente, se ha establecido la “Plataforma de Energía de la UE”, cuya meta es la cooperación entre

países en el desarrollo de tecnologías energéticas, así como agregar la demanda, coordinar el uso de infraestructuras, realizar una negociación con los socios internacionales y realizar compras conjuntas de gas e hidrógeno. Está formada por la mayoría de los miembros de la UE, al igual que países que no pertenecen a la unión y no tienen la posibilidad de realizar negociaciones en solitario, como podría ser el caso de países como Macedonia del Norte, Moldavia o Georgia. Esta asociación realizará su primera intervención en la compra de suministros para la temporada invernal de 2023-24 y surge a resultados del éxito de la compra conjunta de vacunas durante la pandemia del COVID-19. El organismo también tendrá un poder legislativo para exigir a sus miembros la diversificación de sus socios a lo largo del tiempo. La plataforma a su vez se divide en cinco grupos regionales integrados a partir de la identificación de sus necesidades, el uso común de sus infraestructuras y los potenciales suministradores [28]. Los grupos regionales son:

- Sureste de Europa: Bulgaria, Grecia, Rumanía, Serbia, Macedonia del Norte, Moldavia y Ucrania
- Centro y Este de Europa: Polonia, República Checa, Eslovaquia, Alemania, Hungría, Austria, Eslovenia, Croacia, Italia, Moldavia y Ucrania
- Suroeste de Europa: Francia, España, Italia y Portugal
- Noroeste de Europa: Francia, Bélgica, Países Bajos, Luxemburgo, Alemania, Dinamarca, Suecia e Irlanda
- Bálticos y Finlandia: Lituania, Letonia, Estonia y Finlandia.

Véase que hay países que forman parte de dos grupos, como también hay países que son observadores en otros grupos, lo cual no va a ser considerado. En la Figura 6 se pueden apreciar geográficamente las regiones anteriormente enumeradas, así como los países que las forman.



Figura 6. Grupos regionales de la Plataforma de Energía de la UE.

Establecidos los grupos regionales, se marcará una hoja de ruta que contempla el aumento de gas natural licuado (GNL) procedente de Estados Unidos y Canadá, así como de Noruega, una cooperación más intensa con Azerbaiyán a través del Corredor Meridional de Gas y acuerdos políticos con Egipto e Israel para el aumento de suministro de GNL, reanudación del diálogo energético con Argelia, mantenimiento de cooperación con los productores del Golfo, así como con otros potenciales compradores como son China, Corea o Japón.

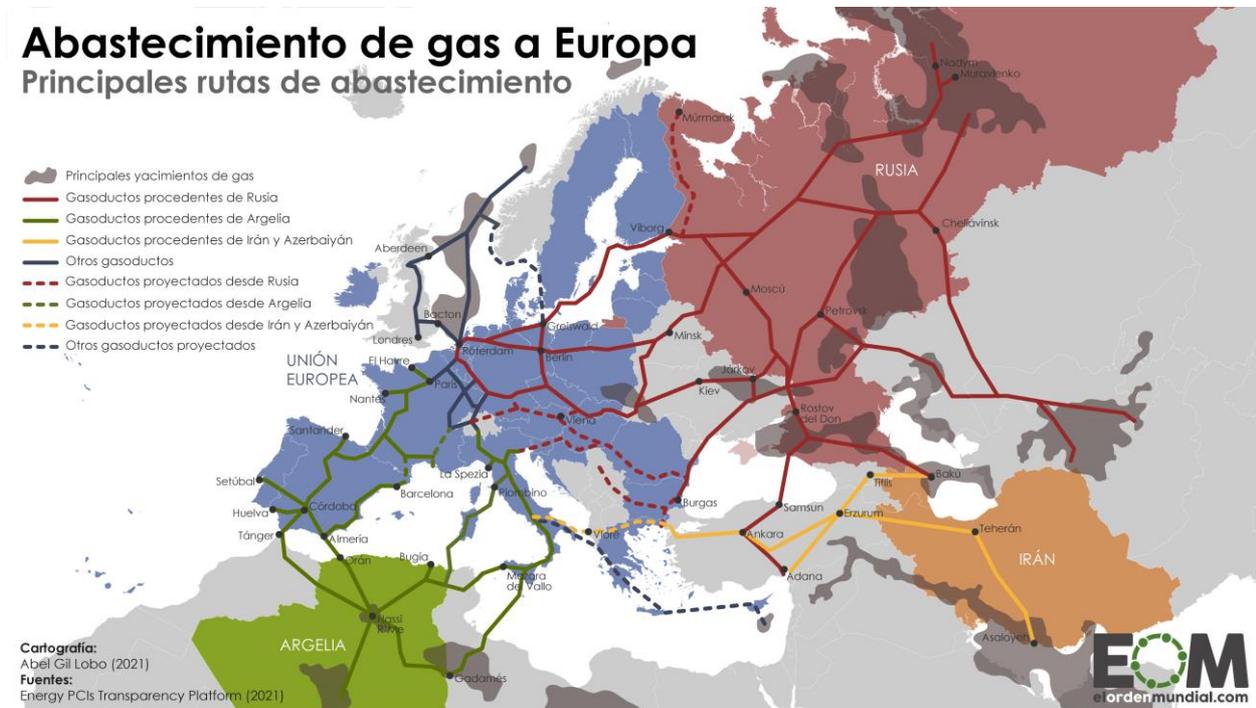


Figura 7. Principales rutas de abastecimiento de gas a Europa.

La idea es adaptar la actual red de gasoductos europeos a la situación presente mostrada en la Figura 7, eliminando la interacción con gas ruso e implementando las condiciones descritas según la Plataforma de Energía [29]. Analizaremos la demanda de cada grupo regional, del mismo modo que realizaremos un breve análisis a cada potencial proveedor para establecer las consideraciones que sean oportunas. Así, tomando el modelo de transportes hallaremos la diversificación óptima que garantice un coste mínimo tanto en la distribución del gas a nivel europeo.

### 2.3. Tercer Objetivo: Energía limpia

Por último, el objetivo más ambicioso, el cual motiva la transición energética es el impulso de las energías renovables como primera fuente de obtención de energía en detrimento de los combustibles fósiles. Con ello se reducirá la independencia, se impulsará la transición ecológica y reducirá el precio de la energía a largo plazo. Como consecuencia de la guerra, la Comisión planteó aumentar a un 45% el porcentaje mínimo de energías renovables que cada país debía tener en su mix energético de producción de electricidad para el año 2030, aumentando un 5% más de lo que estableció originalmente en el Pacto Verde Europeo.

Seguidamente, se pasa a mencionar y describir los diferentes tipos de energías renovables que se encuentran en la actualidad [30][31]:

- *Energía solar.* Es aquella que se obtiene de la radiación que emite el Sol. Se puede subdividir en energía solar fotovoltaica, la cual aprovecha la radiación del Sol para mover electrones y así producir

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

energía eléctrica, la energía solar térmica, que se utiliza para generar calor y la energía solar termoeléctrica, calentando un fluido que genera vapor a presión para así poder obtener electricidad.

- *Energía eólica.* La energía eólica aprovecha la energía cinética del viento para mover las aspas de los aerogeneradores, y estos a su vez mueven una turbina que la convierte en energía eléctrica. Se pueden encontrar de dos tipos: on-shore y off-shore. Los molinos on-shore se encuentran en tierra firme mientras que los off-shore están en la costa, donde el viento es más regular y por tanto más productivos, en contrapartida de una ubicación más remota.
- *Energía hidráulica.* Aprovecha la energía potencial del agua dejándola caer moviendo una turbina que produce energía eléctrica. Se suele dar en presas.
- *Energía mareomotriz y undimotriz.* Energía donde se aprovecha la fuerza del mar, ya sea de las mareas o de las olas, para producir energía eléctrica.
- *Energía geotérmica.* Haciendo uso de las altas temperaturas de los yacimientos situados en la corteza terrestre para la generación de energía a través del calor.
- *Biomasa y biogás.* La biomasa consiste en la obtención de energía a partir de la combustión de residuos orgánicos de origen animal y vegetal. El biogás se produce gracias a la degradación anaerobia de materia orgánica generando un combustible que puede ser utilizado para la producción de energía eléctrica.

Una vez vistos todos los posibles tipos de energías renovables, el propósito que acontece en este apartado es la formulación de un modelo matemático para determinar un nuevo mix energético para cada país, contando con un 45% de energías renovables. Este, contará con una función objetivo que minimice el coste de producción de la energía sujeto a restricciones específicas, después de haber realizado un estudio específico que proporcione unos parámetros cuantitativos de cada tipo de energía.



# 3 METODOLOGÍA

---

Este apartado está dedicado al estudio y particularización de los métodos de investigación operativa descritos para abordar los diferentes objetivos presentados para analizar y gestionar la crisis energética en Europa bajo el plan REPowerEU. Entre ellos se encuentran el Análisis por Envoltura de Datos (DEA), el problema de transporte y un modelo matemático diseñado para minimizar el coste de producción atendiendo al objetivo del 45% de energías renovables y limpias.

## 3.1 Análisis por Envoltura de Datos (DEA)

### 3.1.1 Marco teórico

El Análisis por Envoltura de Datos (*Data Envelopment Analysis, DEA* en inglés) es una metodología basada en modelos de programación lineal, propuesta por primera vez por Charles, Cooper y Rhodes en 1978 para estudiar la eficiencia relativa de ciertas unidades de decisión [32].

El DEA es una técnica para evaluar la eficiencia de una serie de componentes, denominados comúnmente Unidades de Toma de Decisión (*Decision Making Unit, DMU* en inglés), empleándose para dicha evaluación múltiples entradas y salidas para cada una de las DMUs consideradas. Las DMUs deben ser comparables, tanto sus entradas como sus salidas deben ser medibles en unidades homogéneas para todas ellas.

En los últimos años, el DEA ha proporcionado una nueva forma de analizar y organizar los datos. Actualmente, sirve de alternativa y complemento para los análisis de tendencias, así como otras aplicaciones, extendiendo su uso más allá de la intención con la que fue originalmente diseñada.

Es necesario aclarar, antes de proceder a describir el modelo empleado para este trabajo, algunos conceptos básicos, los cuales servirán para dar forma al modelo. El Análisis por Envoltura de Datos tiene como objetivo evaluar la eficiencia relativa de las unidades productivas. Así pues, es inexcusable definir una de las nociones que definen al DEA: la unidad productiva. Más adelante, se irán definiendo las demás.

La unidad productiva es simplemente cualquier organización que produce un bien consumiendo ciertos recursos, con capacidad de modificación tanto de nivel de consumición de recursos (entradas) como de productos finales (salidas). Es, por consiguiente, que en la literatura anglosajona se la conoce como DMU (Decision Making Unit), como es presentada en la Figura 8. Aplicando esta explicación a nuestro problema, las DMUs serán los 27 países que forman la Unión Europea.

Para utilizar un modelo DEA, es fundamental identificar el conjunto de posibilidades de producción del problema, en otras palabras, definir los puntos de operación posibles. Los dos tipos más usuales son el Retorno de Escala Constante (*Constant Return Scale, CRS* en inglés) cuya tecnología considera como unidad admisible dentro del problema cualquier combinación lineal de las DMUs observadas y el Retorno de Escala Variable

(*Variable Return Scale*, *VRS* en inglés) donde las combinaciones lineales convexas son las únicas consideradas admisibles por su tecnología. La principal diferencia de estos dos enfoques es que la tecnología CRS considera que todas las DMUs pueden alcanzar la misma productividad, independientemente de su tamaño. Mientras la tecnología VRS tiene en cuenta el tamaño de las DMUs, considerando que cada una solo debe compararse con aquellas de su tamaño.

El propósito del DEA es encontrar un punto admisible con mayor productividad con el que comparar las diferentes DMUs del problema. Por ello, existen una gran variedad de modelos DEA, siendo imprescindible seleccionar el modelo DEA adecuado para el problema a resolver. A partir de esta idea, dada una DMUo, se formula un modelo de programación lineal que busca una combinación lineal (convexa si se usa VRS) de las DMUs existentes, determinando un conjunto de puntos tecnológicamente admisibles que usan menos entradas y/o producen más salidas que la DMUo.

Si la DMUo no es dominada por ningún otro punto entonces es denominada unidad eficiente (global en el caso del CRS y técnica en el caso del VRS). Una unidad es dominada debido a la existencia de otra con menos entradas y/o más salidas. Por tanto, si la unidad no es eficiente, el modelo la proyecta sobre la frontera eficiente y mide la eficiencia de la DMUo desde el punto de vista de reducción de producción de entradas o incremento de producción de salidas. Hay dos principales formas de realizar la proyección y medición de la distancia entre la DMUo y el punto sobre el que se proyecta. La primera es la orientación de entrada que consiste en la reducción de los recursos tanto como sea posible sin reducir las salidas. La segunda, la orientación de salida, que se basa en aumentar los productos al máximo sin incrementar las entradas.

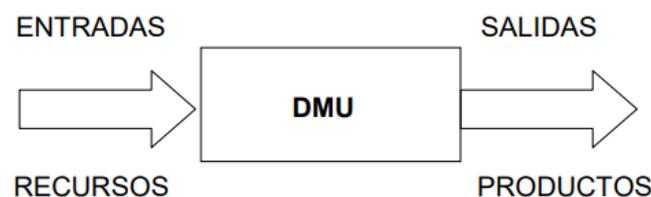


Figura 8. Representación gráfica de una DMU.

Otro concepto a tener en cuenta es la productividad. La productividad, según definió el economista británico M. J. Farrell en 1957, no es más que la relación existente entre el nivel de producción y los recursos consumidos para su producción. A grandes rasgos, es un modo de cuantificar cuánto se están aprovechando dichos recursos. En la siguiente ecuación, se expone el caso para una única entrada y salida:

$$Productividad = Eficiencia absoluta = \frac{Nivel\ de\ producción}{Recurso\ consumido} = \frac{Salida}{Entrada}$$

La fórmula expresada en la figura anterior permite determinar la productividad de una unidad productiva. Sin embargo, sería sugerente contar con un indicador que nos permitiese comparar unidades con otras similares. Por lo tanto, nace un nuevo concepto llamado eficiencia relativa. En consecuencia, lo que hemos llamado productividad hasta ahora, adquiere también el nombre de eficiencia absoluta.

$$Eficiencia\ relativa_j = \frac{Productividad_j}{\max_j (Productividad)}$$

En la ecuación mostrada arriba, el subíndice ‘j’ indica el conjunto de unidades productivas a considerar y el subíndice ‘max’ indica la unidad de máxima productividad.

Definidos estos conceptos, se pueden introducir la eficiencia global, asociada a la tecnología CRS, la cual determina la unidad de mayor productividad en un ámbito general, como su propio nombre precisa, y la eficiencia técnica, asociada a la tecnología VRS, la cual puntualiza la mayor productividad entre las de igual tamaño. Finalmente, la eficiencia de escala expresa el cociente entre la eficiencia global y la eficiencia técnica.

### 3.1.2 Particularización

El modelo que vamos a usar para realizar el Análisis por Envoltura de Datos es el BCC-Input ya que vamos a usar la tecnología de retornos de escala variable porque en la Unión Europea existen una gran variedad de países con diferente número de habitantes y extensión, por lo que el análisis será dotado de más profundidad si se permite comparar cada país con aquellos de su tamaño. También optamos por la orientación de entrada, ya que la intención del análisis es hallar los países más eficientes energéticamente. Los países más eficientes serán aquellos que consuman menos energía atendiendo al mismo número de habitantes.

Los modelos BCC (tanto input como output) toman su nombre de las iniciales de sus tres creadores, Banker, Charnes y Cooper, propuesto alrededor del año 1984.

Su particularidad reside en la adición de una restricción más respecto a los modelos CCR, ya que esta restricción se encargará de indicarle al modelo que cada DMUj tiene que ser comparada con aquellas de su tamaño y no con todas las unidades presentes en el problema.

$$\begin{aligned}
 \text{MIN :} \quad & \theta_j - \varepsilon \left[ \sum_{k=1}^s h_k^+ + \sum_{i=1}^m h_i^- \right] \\
 \text{sa :} \quad & \\
 & \sum_{j=1}^n x_{ij} \lambda_j = \theta_j x_{iJ} - h_i^- \quad i = 1, 2, \dots, m \\
 & \sum_{j=1}^n y_{kj} \lambda_j = y_{kJ} + h_k^+ \quad k = 1, 2, \dots, s \\
 & \sum_{j=1}^n \lambda_j = 1 \\
 & \lambda_j, h_i^-, h_k^+ \geq 0 \\
 & \theta_j \text{ libre}
 \end{aligned}$$

Figura 9. Formulación del modelo BCC-Input.

Mostrado en la Figura 9 está el modelo BCC-Input, sobre el cual se procederá a dar una breve explicación de todas sus variables y componentes. Comenzando con la función objetivo, la cual es minimizar entradas, al considerar el problema con orientación de entrada. Esta se compone de una resta de la variable asociada a las

entradas (theta) menos la multiplicación de la constante no arquimediana (mayor que cero) por la suma de los sumatorios de las holguras de las salidas como de las entradas. El sumatorio de las salidas va de k (número de salidas en el problema) igual a uno hasta la salida s. Del mismo modo, el sumatorio de las entradas va de i (número de entradas en el problema) igual a uno hasta la entrada m.

El primer término de los dos primeros conjuntos de restricciones expresa la frontera eficiente. Esta es expresada como el sumatorio de j (número DMUs en el problema) igual a uno hasta la DMU n, del producto de lambda de j por la componente x de la entrada i de la DMU j o la componente y de la salida k de la DMU j. Lambda es un coeficiente que varía entre un valor mayor que 0 y 1, y expresa el rango de proximidad de búsqueda de la unidad eficiente.

En el segundo término del primer conjunto está compuesto por la multiplicación de la variable asociada theta por la componente x de la salida i de la DMU j. Theta es el coeficiente de reducción de las entradas, de modo, que, si una unidad es eficiente, su theta valdrá uno y si es ineficiente su valor será menor que uno, siendo este el porcentaje al que se tiene que reducir para ser eficiente. Por último, queda mencionar la resta de la holgura de dicha entrada como tercer término.

Para el segundo grupo de conjunto asociado a las k salidas, el segundo término es análogo al del primer conjunto con la simplificación de que no hay ninguna theta involucrada al referirse a salidas en un problema de orientación de entrada.

La restricción añadida en los modelos BCC en virtud de la tecnología VRS, informa que el sumatorio de las lambdas tiene que ser igual a uno lo que significa que la frontera eficiente donde se proyectan cada de las DMUs tiene una combinación lineal convexa. En otras palabras, la suma de sus componentes tiene que ser positiva e igual a uno.

Para completar la descripción del modelo, cabe añadir que las lambdas y tanto las holguras de entrada y de salida deben ser mayor o igual a cero. La theta es libre.

## 3.2 Problema de Transporte

El problema de transporte describe el envío en una red de cantidades desde unos nodos, llamados de *producción*, a otros nodos, llamados de *demanda*, teniendo en cuenta los costes de transporte unitario sobre los arcos, las limitaciones de capacidad de producción y las cantidades demandadas. Para escribir el modelo, se representa por  $P_i$  los centros de producción, de los que hay  $P_1 \dots P_i \dots P_m$ , y por  $D_j$ , los de consumo  $D_1 \dots D_j \dots D_n$ . En los centros  $P_i$  se producen las cantidades conocidas  $a_i$  y en los centros  $D_j$  se demanda las cantidades  $b_j$ . El coste de enviar una unidad desde el centro de producción  $P_i$  al centro de consumo  $D_j$  es  $c_{ij}$ .

Con estos elementos el modelo lineal que representa el problema es:

$$\text{Min } \sum_{i,j} c_{ij} x_{ij}$$

s.a

$$\sum_j x_{ij} = a_i \text{ para cada } P_i, \quad i = 1, \dots, m$$

$$\sum_i x_{ij} = b_j \text{ para cada } D_j, \quad j = 1, \dots, n$$

$$x_{ij} \geq 0$$

Al escribir las ecuaciones con signo de igualdad, se ha de cumplir que el total de lo producido ha de estar equilibrado con lo demandado:

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j$$

Este modelo se puede analizar directamente a partir de esta expresión, pero es deseable escribirlo en términos de flujo sobre una red. Para ello se construye una red con dos tipos de nodos, los de producción y los de consumo, como la Figura 10.

Asociado a los nodos de producción  $P_i$  se indica las cantidades producidas de  $a_i$  y en los nodos de demanda  $D_j$  los valores de éstas  $b_j$ . Sobre los arcos  $(P_i, D_j)$  que unen a los nodos se ha escrito los costes unitarios de transporte  $c_{ij}$ . Por claridad, no se han reflejado en todos los arcos [33].

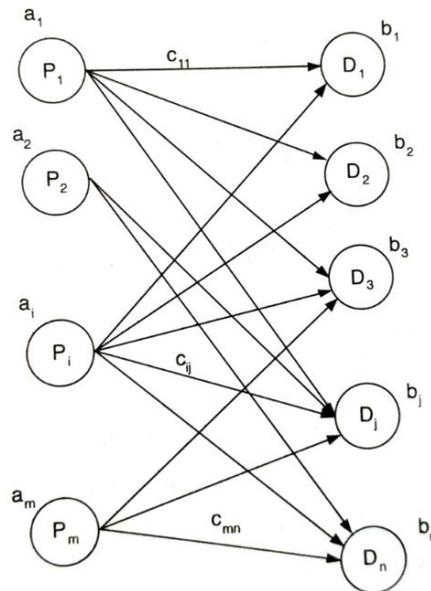


Figura 10. Red del modelo de transporte.

### 3.3 Modelo matemático (Energía Limpia)

El fin es proponer un modelo matemático que minimice el coste de producción de energía renovable y provea un mix energético que case con el cumplimiento de producción de un 45% de energías renovables en cada país, fijado para el 2030. Los resultados de este modelo servirían de hoja de ruta para transaccionar del mix actual al mix ideal calculado en este trabajo.

Primero, habría que realizar una estimación de los costes de energía renovables y no renovables de cada país, denotado como  $C_{ij}$  expresando el subíndice  $i$ , el número de países, en este caso, los 27 estados miembros que forman la Unión Europea, y el subíndice  $j$ , el número de energías a considerar, que serán siete (Combustibles fósiles, nuclear, eólica, hidráulica, biocombustibles, solar y otros).

El modelo lineal por aplicar queda tal que así:

$$\text{Min} \sum_{i=1}^{27} \sum_{j=1}^7 C_{ij} \cdot x_{ij}$$

s.a

$$\sum_{j=1}^7 x_{ij} = 1 \quad i = 1, \dots, 27$$

$$\sum_{j=3}^6 x_{ij} \geq 0.45 \quad i = 1, \dots, 27$$

$$x_{ij} = \sum_{j=3}^6 \text{AlfaRenew}_{ij} \quad i = 1, \dots, 27 \quad j = 1, \dots, 7$$

$$\sum_{j=3}^6 \alpha_{ij} = 2 \quad i = 1, \dots, 27$$

$$\text{AlfaRenew}_{ij} \geq 0.05 \cdot \alpha_{ij} \quad i = 1, \dots, 27 \quad j = 1, \dots, 7$$

$$x_{ij} \geq 0, \text{AlfaRenew}_{ij} \geq 0, \alpha_{ij} \text{ binaria}$$

La función objetivo, sujeta a seis restricciones, es minimizar el doble sumatorio de  $i$  igual a 1 hasta 27 (países) y de  $j$  igual a 1 hasta 7 (energías) del producto de los costes asociados en cada estado de dicha energía ( $C_{ij}$ ) por el porcentaje de utilización de dicha energía a nivel nacional ( $x_{ij}$ ).

La primera restricción expresa que, para cada país,  $i$  del 1 al 27, el sumatorio de las energías debe ser igual al uno, ya que las variables están referidas al porcentaje de producción expresado en tanto por uno. Así, la siguiente restricción se refiere a la principal medida de este objetivo, y es que el sumatorio de las energías renovables (energías número 3,4,5 y 6) deben ser igual o mayor al 0,45 del total de energías, restricción dada también para cada país.

Establecidos estos dos primeros conjuntos de restricciones, se advirtió que el modelo era bastante simple y no representaba la complejidad característica y primordial de la gestión de la energía, ya que solo se producía del tipo más barato de energía renovable. En la realidad, sabemos que incluso los países que menos progreso tienen en el campo de las renovables, como mínimo tienen dos fuentes de producción de energía renovable. Por ello, se decidió que cada país debía contar con dos fuentes de energía renovables y que estas representaran al menos un 5% del mix energético. En consecuencia, se añadieron los tres siguientes conjuntos de restricciones.

Antes de nada, toca introducir nuevas variables que ayuden a modelar el comportamiento deseado. La variable binaria  $\alpha_{ij}$  representa la activación de las energías renovables y la variable  $\text{AlfaRenew}_{ij}$  es una variable auxiliar que ayuda a imponer la restricción a  $x_{ij}$ .

Por tanto, el tercer conjunto de restricciones refleja que cada variable  $x_{ij}$  es el sumatorio de las variables  $\text{AlfaRenew}_{ij}$ , que, a su vez, dependen de  $\alpha_{ij}$ , mediante la quinta restricción. La siguiente restricción indica que el sumatorio de alfas de las energías renovables debe valer dos. Como alfa es binaria, esto significa que en cada país debe producir energía de dos tipos de energías renovables distintas. La última restricción de este trío, se podía denominar restricción asociada, ya que cuando  $\alpha_{ij}$  valga uno, se activará, forzando a que  $\text{AlfaRenew}_{ij}$  de determinado país y determinada energía tenga un valor mayor o igual a 0,05, que posteriormente se transmitirá a  $x_{ij}$ , gracias a la tercera restricción.

La última restricción viene a ser un recordatorio de que todas las variables  $x_{ij}$  y  $\text{AlfaRenew}_{ij}$ , tienen que ser igual o mayores que cero y que  $\alpha_{ij}$  es binaria, ya que modela el uso o no de las renovables en cada país.





# 4 AHORRO DE ENERGÍA

---

*Ahorrar no es solo guardar, sino saber gastar*

Refrán popular

En el primero de los objetivos, se aplicará un Análisis por Envoltura de Datos para hallar los países energéticamente eficientes y así poder proponer medidas para el ahorro de energía usando la eficiencia energética como herramienta.

## 4.1 Caso de Estudio

A la hora de obtener los datos para las posibles entradas y salidas de un Análisis por Envoltura de Datos, estos fueron consultados en la página web de datos estadísticos de la Unión Europea, Eurostat. En ella, encontramos el mix energético total de cada uno de los 27 países que actualmente forman parte, así como un cómputo global [34]. Los distintos tipos de energía en los que se divide este mix energético son: petróleo (Petroleum), gas natural (Natural Gas), energías renovables (Renewable), energía nuclear (Nuclear), combustibles fósiles (Solid Fossil Fuel) y otros tipos de energía (Others). Es importante recalcar el hecho de que se está trabajando en base a un mix energético que satisface un uso de energía general y no particular, como podría ser la energía eléctrica. De ahí que el petróleo tenga un peso importante (debido a ser la fuente principal en el sector del transporte, entre otros).

Un problema que surgía con la medida de estos datos era que están expresados en porcentajes respecto a un consumo de energía nacional no proporcionado. En consecuencia, se tuvo que añadir el consumo anual de energía por país a la búsqueda. Se encontraron dos resultados, uno referido al consumo de energía primario y otro al consumo de energía final. La diferencia radica en que la primera es la energía disponible en la naturaleza, mientras que la segunda es la energía transformada directamente lista para el consumo, habiendo un diferencial perdido durante su transformación y distribución. La decisión fue optar por la energía primaria ya que el enfoque de esta parte del trabajo está orientado a un análisis eficiente en la obtención de energía, no a la transformación o a la gestión de su uso [35].

Tabla 1. Datos presentados sin modificación previa (Ver Anexo de Tablas).

2020	Petroleum [%]	Natural Gas [%]	Renewable [%]	Nuclear [%]	Solid fossil fuel [%]	Others [%]	Consumption [Mtoe]	Population [hab]	GDP/Capita [€/hab]
Austria [AU]	34.6%	22.6%	32.5%	0.0%	9.7%	0.6%	30.93	8.901.064	35.480
Belgium [BE]	45.0%	26.2%	8.5%	14.5%	5.2%	0.6%	43.88	11.522.440	34.010
Bulgaria [BG]	24.5%	14.0%	14.2%	24.2%	24.3%	-1.2%	17.19	6.951.482	6.410
Croatia [HR]	33.7%	30.3%	26.3%	0.0%	4.8%	4.9%	7.76	4.058.165	11.680
Cyprus [CY]	87.2%	0.0%	10.9%	0.0%	1.9%	0.0%	2.2	888.005	24.110
Czech Republic [CZ]	21.4%	18.0%	12.7%	18.6%	31.4%	-2.1%	37.59	10.693.939	17.400
Denmark [DK]	38.8%	12.8%	37.6%	0.0%	7.1%	3.7%	15.38	5.822.763	47.890
Estonia [EE]	5.3%	7.7%	27.6%	0.0%	52.9%	6.5%	4.31	1.328.976	15.280
Finland [FI]	25.1%	6.5%	37.0%	17.1%	9.8%	4.5%	29.9	5.525.292	36.220
France [FR]	29.3%	15.5%	12.7%	41.1%	3.1%	-1.7%	207.95	67.485.531	30.550
Germany [DE]	35.2%	26.1%	16.4%	5.8%	17.1%	-0.6%	262.1	83.166.711	34.590
Greece [GR]	50.7%	22.3%	15.2%	0.0%	8.3%	3.5%	19.24	10.718.565	16.210
Hungary [HU]	28.5%	33.5%	11.3%	15.5%	7.2%	4.0%	23.89	9.769.526	12.730
Ireland [IE]	45.9%	32.7%	12.9%	0.0%	8.6%	-0.1%	13.46	4.964.440	62.570
Italy [IT]	32.9%	40.5%	20.4%	0.0%	4.4%	1.8%	132.32	59.641.488	24.910
Latvia [LV]	35.7%	19.9%	39.6%	0.0%	1.7%	3.1%	4.26	1.907.675	12.340
Lithuania [LT]	39.2%	25.2%	21.2%	0.0%	2.7%	11.7%	6.23	2.794.090	14.050
Luxembourg [LU]	60.3%	15.7%	10.1%	0.0%	2.1%	11.8%	3.94	626.108	81.660
Malta [MT]	86.0%	10.8%	1.9%	0.0%	0.0%	1.3%	0.74	514.564	20.470
Netherlands [NL]	46.9%	37.6%	8.4%	1.1%	5.9%	0.1%	58.47	17.407.585	40.130
Poland [PL]	28.8%	16.9%	12.5%	0.0%	40.7%	1.1%	96.86	37.958.138	12.810
Portugal [PT]	43.6%	23.6%	28.8%	0.0%	3.4%	0.6%	19.5	10.295.909	17.100
Romania [RO]	30.0%	30.0%	18.6%	8.9%	11.7%	0.8%	30.93	19.328.838	9.020
Slovakia [SK]	21.9%	24.9%	13.1%	24.6%	15.4%	0.1%	15.18	5.457.873	15.400
Slovenia [SI]	32.9%	11.4%	18.5%	23.2%	16.7%	-2.7%	6.15	2.095.861	19.740
Spain [ES]	44.0%	23.6%	16.2%	12.8%	3.1%	0.3%	105.03	47.332.614	22.210
Sweden [SE]	23.4%	2.7%	47.7%	25.4%	5.3%	-4.5%	41.28	10.327.589	42.910

Establecido el consumo de energía por nación expresado en millones de toneladas equivalente de petróleo (*Million tonne of oil equivalent, Mtoe* en inglés), unidad del Sistema Internacional que expresa la cantidad de energía que rinde una tonelada de petróleo. Otros datos que podrían resultar de cierto interés de cara al análisis de eficiencia energética son la población [36], ya que esta estará fuertemente relacionada con el consumo de energía y el Producto Interior Bruto, PIB (*Growth Domestic Product, GDP* en inglés), indicador económico que refleja la suma de todos los bienes y servicios finales que produce un territorio o una economía en una determinada unidad monetaria. En este caso, nuestro PIB será de países y estará expresado en euros.

Terminada la pesquisa, Eurostat sólo ofreció el PIB per cápita del año sobre el que realizamos el estudio [37]. Así que atendiendo a la definición de PIB per cápita como el PIB de un territorio dividido por el número de habitantes de este, y teniendo en cuenta que tenemos la población como dato, multiplicamos el PIB per cápita por la población de cada nación y así obtenemos el PIB total, como última premisa para poder realizar el análisis.

Como consideraciones generales, cabe destacar que todos los datos mencionados anteriormente están referidos al año 2020, ya que en el periodo en el que se realizó esta investigación (primer semestre del año 2023) no fue posible hallar referencias más recientes. Por otro lado, el tipo de energía “otros” en el mix energético denota algunos países con un porcentaje negativo. Esto es, debido a que algunos países produjeron un exceso de energía eléctrica que luego vendieron a terceros países.

Con la finalización de la adquisición de datos observamos en la Tabla 1 como estos han sido obtenidos directamente de las fuentes pertinentes sin modificación alguna. En el siguiente apartado, efectuaremos las alteraciones detalladas en este para los posteriores análisis y resolución.

## 4.2 Análisis descriptivo

Recolectados todos los datos necesarios para el desarrollo del análisis procedemos a realizar un análisis descriptivo para ordenar las referencias mediante gráficos de dispersión, regresiones lineales y comparaciones para mostrar la información de una forma más visual. Establecida la disposición, se podrán extraer las características más representativas para, de esa manera, poder describir las tendencias más comunes del conjunto

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

de antecedentes provistos. Se concluirá con una particularización hacia nuestro objetivo y un análisis bidimensional del problema que se va a abordar.

#### 4.2.1 Análisis previo

Inicialmente, vamos a realizar una descomposición general de la información, de modo que desglosamos los mixes energéticos de los países más significativos de la unión, comentando algunas de sus peculiaridades. Prosiguiendo a un plano más amplio, centraremos el foco en el uso que se hace de cada tipo de fuente, y las excepciones que estas puedan tener, hallando relaciones entre los distintos tipos de datos proporcionados.

Tabla 2. Datos dispuestos para el análisis (Ver Anexo de Tablas).

2020	Population [hab]	Petroleum [Mtoe]	Natural Gas [Mtoe]	Renewable [Mtoe]	Nuclear [Mtoe]	Solid fossil fuel [Mtoe]	Others [Mtoe]	GDP [M€]	Surface Area [km2]
Austria [AU]	8.901.064	10,70	6,99	10,05	0,00	3,00	0,19	315.810	83.879
Belgium [BE]	11.522.440	19,75	11,50	3,73	6,36	2,28	0,26	391.878	30.528
Bulgaria [BG]	6.951.482	4,21	2,41	2,44	4,16	4,18	-0,21	44.559	110.370
Croatia [HR]	4.058.165	2,62	2,35	2,04	0,00	0,37	0,38	47.399	56.594
Cyprus [CY]	888.005	1,92	0,00	0,24	0,00	0,04	0,00	21.410	9.251
Czech Republic [CZ]	10.693.939	8,04	6,77	4,77	6,99	11,80	-0,79	186.075	78.868
Denmark [DK]	5.822.763	5,97	1,97	5,78	0,00	1,09	0,57	278.852	42.924
Estonia [EE]	1.328.976	0,23	0,33	1,19	0,00	2,28	0,28	20.307	45.227
Finland [FI]	5.525.292	7,50	1,94	11,06	5,11	2,93	1,35	200.126	338.440
France [FR]	67.485.531	60,93	32,23	26,41	85,47	6,45	-3,54	2.061.683	633.187
Germany [DE]	83.166.711	92,26	68,41	42,98	15,20	44,82	-1,57	2.876.737	357.376
Greece [GR]	10.718.565	9,75	4,29	2,92	0,00	1,60	0,67	173.748	132.049
Hungary [HU]	9.769.526	6,81	8,00	2,70	3,70	1,72	0,96	124.366	93.011
Ireland [IE]	4.964.440	6,18	4,40	1,74	0,00	1,16	-0,01	310.625	69.797
Italy [IT]	59.641.488	43,53	53,59	26,99	0,00	5,82	2,38	1.485.669	302.073
Latvia [LV]	1.907.675	1,52	0,85	1,69	0,00	0,07	0,13	23.541	64.573
Lithuania [LT]	2.794.090	2,44	1,57	1,32	0,00	0,17	0,73	39.257	65.286
Luxembourg [LU]	626.108	2,38	0,62	0,40	0,00	0,08	0,46	51.128	2.586
Malta [MT]	514.564	0,64	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	10.533	315
Netherlands [NL]	17.407.585	27,42	21,98	4,91	0,64	3,45	0,06	698.566	41.540
Poland [PL]	37.958.138	27,90	16,37	12,11	0,00	39,42	1,07	486.244	312.679
Portugal [PT]	10.295.909	8,50	4,60	5,62	0,00	0,66	0,12	176.060	92.226
Romania [RO]	19.328.838	9,28	9,28	5,75	2,75	3,62	0,25	174.346	238.391
Slovakia [SK]	5.457.873	3,32	3,78	1,99	3,73	2,34	0,02	84.051	49.035
Slovenia [SI]	2.095.861	2,02	0,70	1,14	1,43	1,03	-0,17	41.372	20.273
Spain [ES]	47.332.614	46,21	24,79	17,01	13,44	3,26	0,32	1.051.257	505.944
Sweden [SE]	10.327.589	9,66	1,11	19,69	10,49	2,19	-1,86	443.157	438.574

En la Tabla 2 se puede atender a las columnas que indican los distintos tipos de datos recopilados con las transformaciones descritas con antelación y las filas de cada uno de los países a los que se le va a realizar el análisis. Se ha añadido una columna con la superficie de cada estado expresada en km<sup>2</sup> ya que se ha estimado oportuno para ahondar un poco más en el análisis.

A continuación, se describen los mixes energéticos de los cuatro países con mayor PIB de la UE, que son Alemania, Francia, Italia y España. Esto ayuda a establecer un terreno sobre el que comprender las causas que inducen a los porcentajes previstos, así como a las tendencias seguidas durante los últimos años.

##### 4.2.1.1 Alemania

Lo primero que impacta al observar el mix energético de Alemania es el bajo porcentaje que se muestra respecto al uso de energía nuclear. Desde que en marzo de 2011 ocurriera el accidente nuclear de Fukushima, siendo el segundo más catastrófico después del de Chernóbil, el impacto de este resonó en todos los estamentos de la sociedad alemana. Tal fue la magnitud, que el partido político Alianza 90/ Los Verdes llevó al Bundestag (la cámara baja en Alemania), una propuesta de ley para la desnuclearización gradual del país. Esta fue aprobada gracias al apoyo de todos los partidos. El 15 de abril de 2023, se procedió a la desconexión de las tres últimas plantas, quedando como remanente la gestión de los residuos. Esta eliminación por etapas de la energía atómica

lanzó al país al aprovisionamiento masivo de fuentes de energías con una tasa de producción de CO<sub>2</sub> más alta, como el carbón o el gas [38]. Es aquí, donde surge gran parte de la dependencia alemana del gas ruso, impulsada con la construcción del gasoducto Nord Stream en el mar Báltico.

En el ámbito de las energías renovables, Alemania fue pionero en Europa al introducir el uso de energía solar y eólica a finales de la década de 1990. Sin embargo, a pesar de ser el país de la Unión Europea que más energía renovable produce en cómputo global y con la tecnología más avanzada, debido al alto consumo que la nación posee, en líneas generales, parece insuficiente.

#### 4.2.1.2 Francia

A diferencia de la mala fama que tiene la producción de energía nuclear en el país germano, en Francia es todo lo contrario. Esto se debe a que, en el país galo, pesan más los aspectos positivos, como que es una energía limpia y barata, que los negativos. En 2021, el 69% de la energía eléctrica producida fue gracias a esta fuente. Todo el sector energético depende de esta energía. No obstante, a finales de 2022, 25 de sus 56 reactores tuvieron que ser parados debido a la longevidad de esto, lo que derivó en grandes apagones y búsqueda de suministros en otros países [39]. Francia es la nación que más energía eléctrica vende a otros estados miembros, ya que, hasta la fecha, su sistema de producción de energía se lo permitía.

Respecto a las energías renovables, destacan la hidráulica y la biomasa. Debido a la importancia de la energía nuclear, tal vez este campo no se ha desarrollado tanto como debería, siendo Francia el único país que no cumplió el objetivo de tener un 20% de energías renovables como fuente de producción de energía eléctrica para el año 2020. En lo que respecta a la producción de energías renovables, Francia es el tercer país que más la produce después de Alemania e Italia, pero a causa de su condición de gigante, el porcentaje referido a su producción no satisface a una cantidad notoria como para ser considerada como una alternativa solvente.

#### 4.2.1.3 Italia

Italia, debido a su situación geográfica cuenta con la cercanía de un gran proveedor de gas como es Argelia. Tras la catástrofe de Chernóbil, en 1987, se celebró un referéndum en el cual el 80% de la población votó a favor de cerrar las cuatro centrales nucleares que existían, dejando al país italiano sin posibilidad de explotar esta fuente [40]. Esto dejó un espacio en el mix energético ocupado por fuentes como el gas o el petróleo, que, hoy en día, siguen teniendo gran repercusión. Antes de la guerra, Italia también dependía fuertemente del suministro de Rusia, pero durante el transcurso de este, Roma ha conseguido acuerdos de suministro entre países magrebíes como Libia o Argelia, convirtiendo a Italia en un punto estratégico en el suministro de gas natural [41].

La apuesta de Italia por las energías renovables se puede considerar una de las más fuertes de la Unión Europea. Es el segundo país detrás de Alemania con más producción, y teniendo en cuenta que el consumo italiano es inferior al alemán, su impacto es ligeramente más notorio. Entre sus tipos destacan la energía hidroeléctrica, la eólica y la fotovoltaica. Alrededor del 2011, se realizó otro referéndum para la reactivación de la energía nuclear, pero este fue denegado por el 94% de los votantes. En 2023 se ha vuelto a reabrir el debate con la premisa de obtener cierta independencia energética, quedando el futuro de esta en entredicho.

#### 4.2.1.4 España

Como se ha mencionado anteriormente, se está realizando un análisis de energía general. En España, el uso del petróleo como fuente de obtención de energía representa un gran porcentaje del total (44%). Al petróleo se le atribuyen diferentes usos como carburante para la calefacción, transporte o la producción de electricidad. En el

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

sector del transporte, en concreto el transporte por carretera, el petróleo es una de las únicas fuentes de obtención de energía, ya que la mayoría de los motores de combustión funcionan gracias a la gasolina. A diferencia del sector eléctrico, donde a lo largo de los años han ido surgiendo diferentes alternativas, el sector del transporte se ha ido desarrollando a un ritmo más pausado, dependiendo en gran parte de un derivado del petróleo como es la gasolina. Todo esto, hace pensar la influencia del sector del transporte en la economía española, en virtud del gran porcentaje de petróleo reflejado en el mix energético.

Tabla 3. Datos para el análisis de transporte por carretera.

	Goods transport by Road [TKM]	GDP [M€]	Road Transport/GDP	Petroleum [%]
France [FR]	169.663	2.061.683	8%	29,3%
Italy [IT]	133.222	1.485.669	9%	32,9%
Germany [DE]	304.613	2.876.737	11%	35,2%
Spain [ES]	242.268	1.051.257	23%	44,0%

En la primera columna de la Tabla 3, se puede observar los millones de toneladas por kilómetros transportados (*Tonne Kilometers Millions, TKM* en inglés) por carretera en los cuatro países cuyos mixes energéticos se están describiendo para el año 2020 [42]. En la siguiente columna, se refleja el Producto Interior Bruto de cada país. Acto seguido, se procede a dividir los bienes transportados por carretera entre el PIB para estimar la influencia del transporte por carretera en la economía estatal. Como se puede apreciar mejor en la Figura 11, a mayor peso del transporte por carretera en la economía, mayor uso de petróleo como fuente de producción de energía. Esto quiere decir que, aunque España no sea el país con mayor consumo (de hecho, es superado por Alemania y Francia), dentro de sus fronteras adquiere una gran relevancia que en otros países no existe, ya que estos al comprender mayores poblaciones, tal vez su demanda eléctrica desplaza este consumo considerándose menos prioritario.

Transporte por carretera vs. % Petróleo

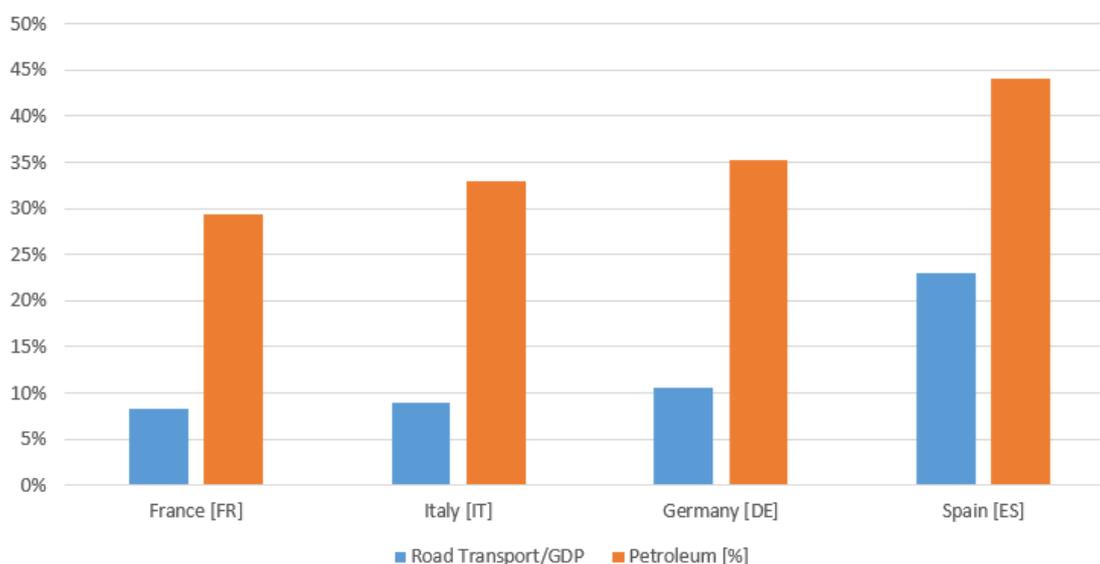


Figura 11. Comparativa del transporte por carretera frente al uso del petróleo.

El gas también representa una fuente de energía importante para España (26,3%), representando casi un cuarto del consumo. Por su situación geográfica, el principal proveedor de gas de España es Argelia. El país norteafricano suministró 106.205 GWh en el año 2020, a través de gasoducto Medgaz, que unía la ciudad argelina de Orán con Almería y el gasoducto Magreb-Europa, cuya tubería pasaba por Marruecos. En 2021, debido a las tensiones causadas entre los dos países por la disputa de la soberanía del Sáhara Occidental, esta última fue cerrada, aumentando el flujo de gas por la primera. Otros países que suministran a España son Estados Unidos, Guinea Ecuatorial o Nigeria que aprovisionan con Gas Natural Licuado mediante buques especializados [43].

Respecto a las renovables (16,2%), España presenta muy buenas condiciones para la generación de este tipo de energía, ya que cuenta con los recursos naturales como son el viento o el sol para su implantación. La energía eólica y la energía solar (tanto fotovoltaica como térmica) son las dos energías más usadas dentro de este campo y ya presentan un 21,1% y un 10,8% de la electricidad producida, ocupando el primer y segundo puesto respectivamente. La eólica, implantada en España alrededor del año 2000, gracias a una legislación que estimulaba la investigación y el desarrollo, lo que convierte a España en el segundo país productor de energía eólica en Europa, después de Alemania y el cuarto a nivel mundial. Los últimos años, han estado particularizados por un aumento del uso de la energía solar gracias a los avances producidos, pero a esta todavía le queda un largo camino que recorrer para establecer su consolidación. Un aspecto a tener en cuenta es la necesidad de contar con grandes espacios lejos de las urbes para instalar los equipos necesarios en la producción de energías renovables. Es por ello, que comunidades con mayor extensión como pueden ser Castilla y León, Aragón o Castilla-La Mancha cuentan con más facilidad de implantación, que aquellas que tienen una superficie limitada y poblada como la Comunidad de Madrid o Cantabria, como se puede apreciar en la Figura 12. Uno de los aspectos a abordar en un futuro cercano es el almacenamiento de energía, ya que se produce mucha más energía durante el día (como es el caso de la solar) y esta si no se consume en el momento, no es aprovechable [44].

(Porcentaje sobre el total de la  
producción energética)

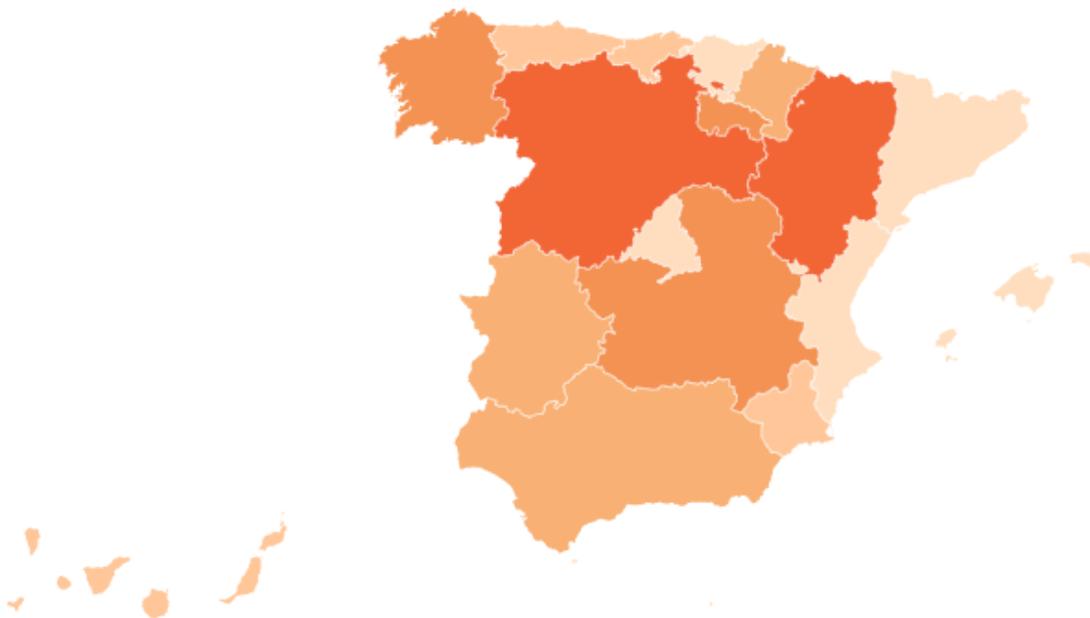
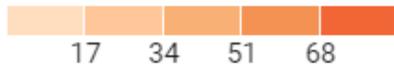


Figura 12. Porcentaje de producción de energía eléctrica con fuentes de energía renovable por CC.AA. en el año 2022.

La energía nuclear (12,6%) fue introducida en España alrededor de la década de 1960. Hasta la fecha, cuenta con siete reactores nucleares operativos, dos en proceso de desmantelamiento y una en proceso de pre-desmantelamiento. Además de las instalaciones, España cuenta con una industria desarrollada y capacitada que exporta productos y servicios a más de 40 países. Entre los beneficios que cuenta esta fuente de energía, es su alta disponibilidad ya que no depende de las condiciones meteorológicas. Aparte de sus casi inexistentes emisiones de CO<sub>2</sub>, haciéndolo una energía limpia que produce aproximadamente un quinto de la energía eléctrica del país [45]. Con el aumento de las energías renovables y con la estigmatización que también existe por parte de la sociedad española, teniendo en cuenta la mayoría de las centrales se inauguraron durante la época de los 80, se ha establecido un plazo entre 2027 y 2035 para el cese del funcionamiento, pudiendo ser prorrogado si el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) lo autoriza [46].

La utilización del carbón (3,1%) para la producción de energía se puede considerar residual debido a la bajada del precio del gas natural sufrida en 2019 y altas emisiones que esta produce en su consumo, incurriendo un coste cada vez más elevado. En la última década se han ido cerrando centrales térmicas quedando a finales de 2022 solo tres de ellas en activo [47].

#### 4.2.1.5 Otras consideraciones

Analizando cada tipo de fuente por separado, es llamativo el caso de la energía nuclear. Solo 13 de los 27 países de la unión la utilizan, lo que representa un 48% del total. Teniendo en consideración que estos datos son del 2020, y como se ha aclarado en la descripción de algunos mixes energéticos, desde abril de 2023, Alemania dejó de utilizarla, lo que claramente indica la decadencia de esta. En la Figura 13, se ilustra la situación europea de los países respecto a la energía nuclear en julio de 2022, contando con la producción de ella, tan solo 12 países dentro de la UE. Ya se apeló en la introducción al alto grado de estigmatización de este tipo de energía, ya que a pesar de ser limpia y barata, genera residuos radiactivos que son enormemente peligrosos. Así, como está comprobado después de los dos incidentes relacionados con las centrales nucleares, un error en los sensores o un desastre natural pueden acarrear consecuencias fatales que ningún país estaría dispuesto a asumir.

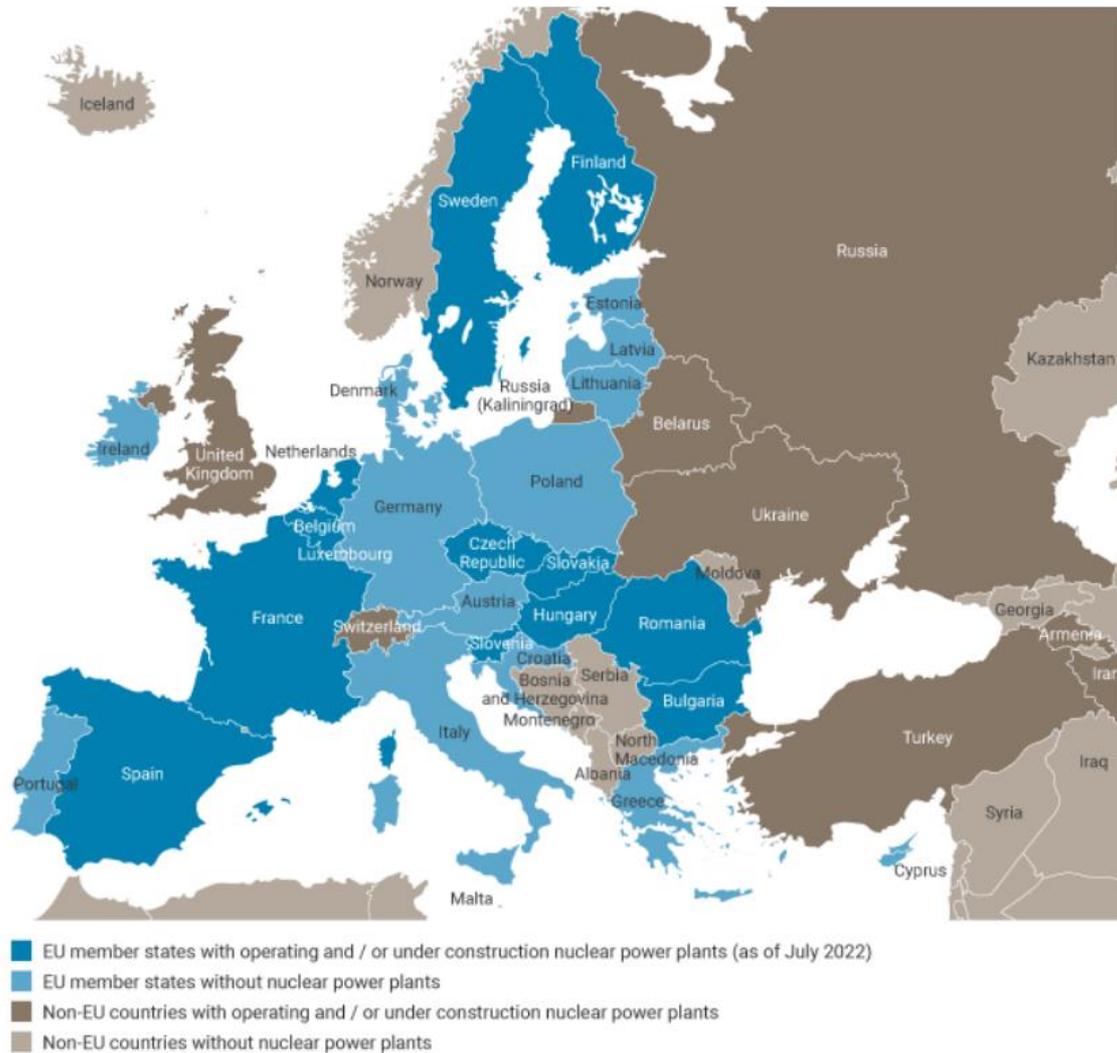


Figura 13. Situación nuclear europea en julio de 2022.

La Figura 14 intenta explicar si existe alguna correlación entre el uso de la energía nuclear y el área de superficie de un país. Ya que una hipótesis que podría surgir es que los países con mayor superficie podrían ser más propensos al uso de este tipo de energía al poder disponer de más espacio para una precisa ubicación de las centrales y los cementerios nucleares. Para obtener el porcentaje mostrado, se ha dividido la producción de energía nuclear entre la superficie del país y se ha multiplicado por 1000, pasándolo después a porcentaje para que fuera más fácil de comparar. Como se puede atisbar, esta suposición no es muy acertada, ya que países con un territorio muy reducido como Bélgica o Eslovenia, usan la energía nuclear para su consumo.

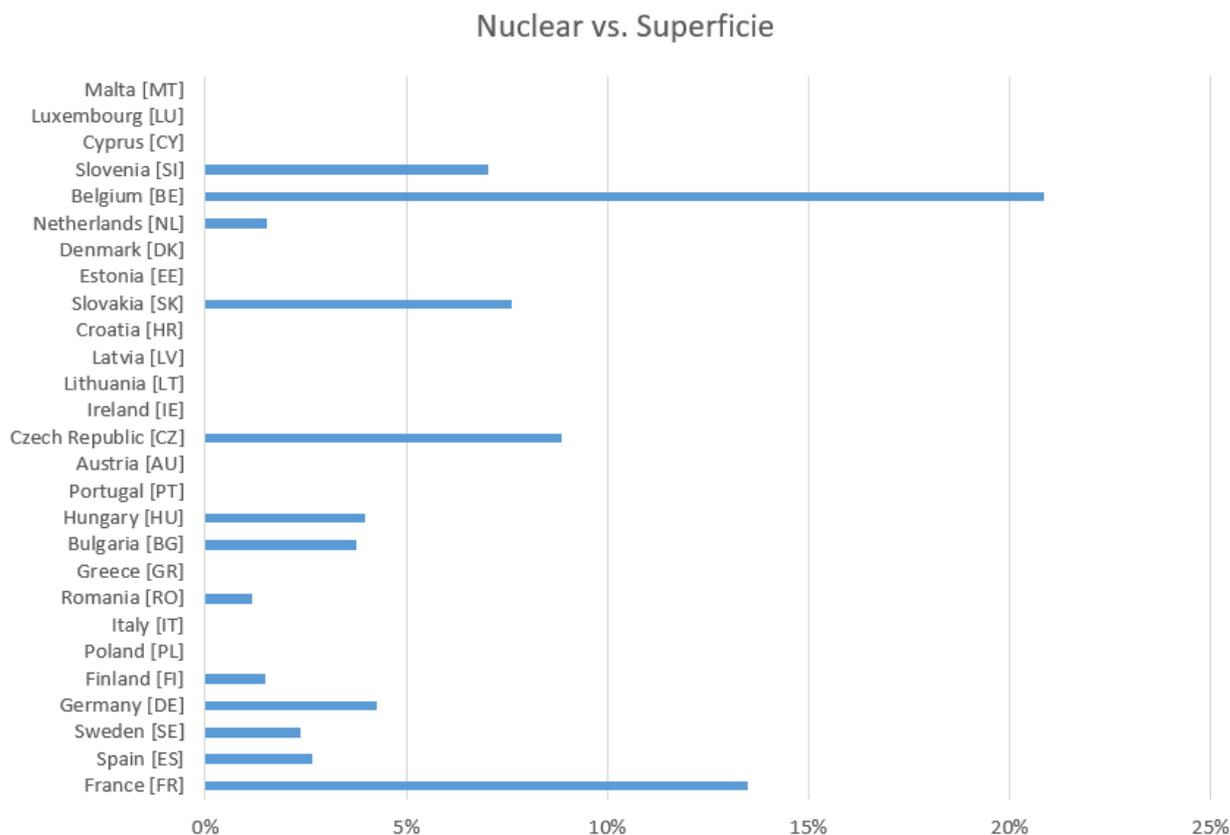


Figura 14. Comparación entre la producción de energía nuclear y la superficie (ordenados de menor a mayor superficie).

Otra teoría en oposición de la anterior es que países centroeuropeos como Eslovaquia, República Checa o Hungría son países con un tamaño de superficie medio, terreno irregular y sin salida al mar donde por falta de espacio la implantación de equipos destinados a la producción de energías renovables puede verse limitado, y es por eso por lo que la existencia de las nucleares es crucial para poder satisfacer las demandas de consumo [48].

Casos específicos también se encuentran en los países de Chipre y Malta, donde su fuerte dependencia del petróleo hace que la producción de energía en virtud del gas y del carbón sea nula, respectivamente. Este asunto se tratará con más detalle en el punto destinado a la diversificación.

#### 4.2.1.6 Relación población-PIB-consumo

Una relación que puede parecer obvia, pero que es considerada necesaria de explicar y demostrar mediante varias gráficas de dispersión para mejor comprensión es la relación de la población con el PIB y el consumo.

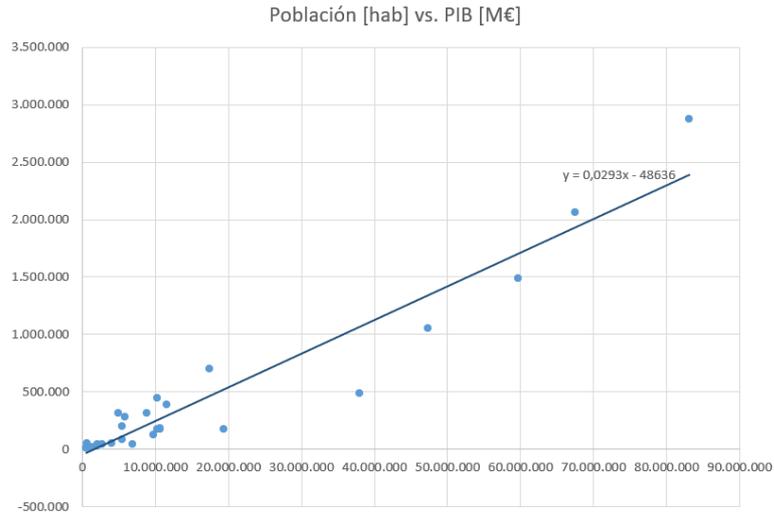


Figura 15. Relación entre la población y el PIB (Ver Anexo de Figuras).

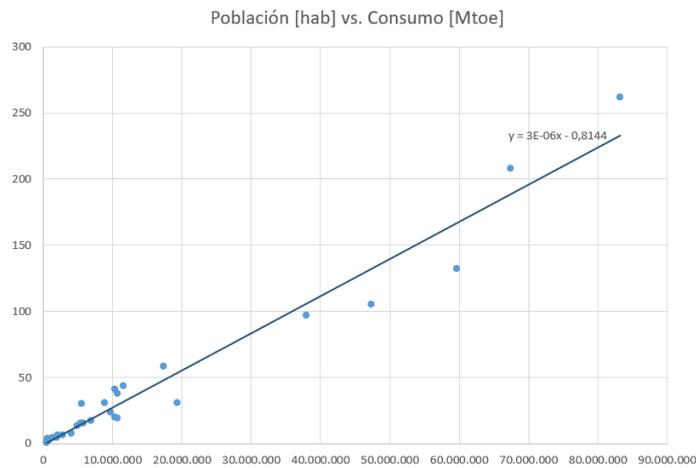


Figura 16. Relación entre la población y el consumo (Ver Anexo de Figuras).

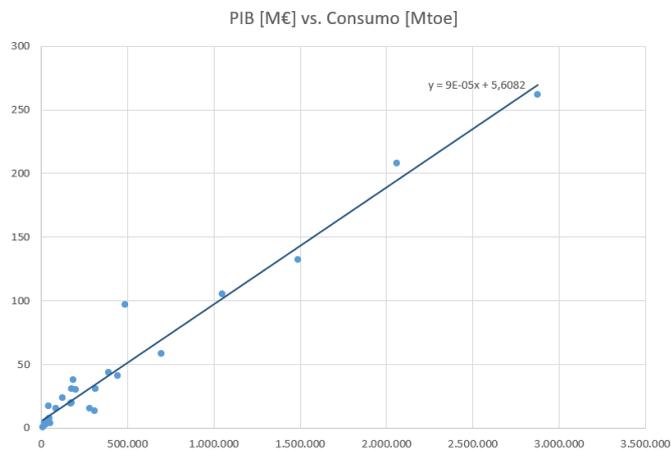


Figura 17. Relación entre el PIB y el consumo (Ver Anexo de Figuras).

En las Figuras 15, 16 y 17 podemos atender a las similitudes que presentan las tres gráficas. Como indica el sentido común, aquellas naciones cuyas poblaciones sean elevadas tenderán a tener un alto porcentaje de producción ya que hay actores para llevarla a cabo, y esta puesta en marcha repercutirá en unas necesidades de energía que se reflejan en el consumo. Por tanto, la relación población-PIB-consumo presenta relaciones lineales que nos ayudarán a enfocar los resultados en un análisis de eficiencia de la energía, sobre todo en un enfoque de economías de escala.

## 4.2.2 Diversificación

Prosiguiendo con el análisis descriptivo, una de las medidas que propuso la Unión Europea para evitar la dependencia total en ciertas clases de energías es la diversificación. Diversificando las fuentes de producción de energía en el mix energético se previene la sumisión de un proveedor o la falta de alternativas. Ya que si se consumiera solo un tipo de energía podría surgir un inconveniente que derivara en una crisis energética, económica o social como es el caso del gas con Rusia o los accidentes nucleares de Chernóbil o Fukushima. Es por ello, que en este apartado vamos a calcular la diversificación de los 27 países de la UE y posteriormente analizaremos cuales son las posibles causas que llevan a algunas naciones a ser más diversas que otras.

### 4.2.2.1 Cálculo de la diversificación

Para calcular el que va a ser el índice de diversificación de los países, primero se ha precisado de la invención de dos países de referencia, llamados País A y País B, que servirán de apoyo en las cuentas a realizar. Como se puede contemplar en la Tabla 4, tenemos dos países, ambos extremos en cuanto a diversificación se refiere. El País A se podría considerar el país perfecto, ya que para elaborar su mix energético, hemos cogido el total y lo hemos dividido entre las energías a considerar en este trabajo, aportando un 16,7% cada una de ellas. En el caso contrario estaría el País B, el cual confía toda su producción energética en una única fuente.

Tabla 4. Mixes energéticos de los países A y B con su diversificación (Ver Anexo de Tablas).

	Petroleum [%]	Natural Gas [%]	Renewable [%]	Nuclear [%]	Solid fossil fuel [%]	Others [%]	Diversificación
<b>País A</b>	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	1,0000
<b>País B</b>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6273

Establecidos los mixes energéticos de ambos países, se procede a aplicar la fórmula de la diversificación para estos dos estados. Esta fórmula describe la diversificación del País K y no es más que la unidad menos la desviación típica de todas sus fuentes como indica la Figura 18.

$$Diversificación_K = 1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}$$

Figura 18. Fórmula de la diversificación para los países A y B.

Una vez cuantificadas las diversificaciones, se deduce que los valores resultantes no describen la realidad en la manera más objetiva posible. La diversificación comprendería un rango entre 0,6273 y 1, cuando lo ideal sería que comprendiese un rango entre 0 y 1. Entonces, para hallar la diversificación del resto de países se realiza una corrección de la fórmula original restándole a la unidad además de la desviación típica, la diversificación del

País B y dividiendo todo este conjunto por la resta entre la unidad y la diversificación del País B. En otras palabras, se coge el valor obtenido de cada país en el rango de 0,6273-1 y se le resta el 0,6273. Este se divide entre 0,3727 para ajustar el valor en el rango 0-1. En la Figura 19 se visualiza con mayor claridad. Como aclaración, los datos utilizados para el cálculo son los porcentajes del mix energético de cada país expresados en la Tabla 1.

$$Diversificación\ corregida_K = \frac{1 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}}{1 - Diversificación_B} - Diversificación_B$$

Figura 19. Fórmula de la diversificación corregida para el resto de los países.

#### 4.2.2.2 Análisis de la diversificación

Obtenidas las diversificaciones del conjunto de miembros, se deriva a un análisis comparativo de la diversificación con distintos agentes para concluir qué factores afectan a esta. Para realizar este análisis se han requerido datos adicionales como el año de ingreso a la Unión para estimar si la pertenencia a esta influye, así como la longitud y la latitud de cada una de las capitales para determinar el peso de la posición geográfica del territorio, mostrados en la Tabla 5.

Tabla 5. Diversificación por países ordenados de mayor a menor con diversos parámetros agrupados (Ver Anexo de Tablas).

2020	Diversificación	Population [hab]	Consumption [Mtoe]	GDP [M€]	Ingreso	Longitud [O-E]	Latitud [N-S]	Superficie [km2]
Slovakia [SK]	0,7684	5.457.873	15,18	84.051	2.004	17,1093	48,1517	49.035
Bulgaria [BG]	0,7529	6.951.482	17,19	44.559	2.007	23,3217	42,6977	110.370
Czech Republic [CZ]	0,7288	10.693.939	37,59	186.075	2.004	14,4465	50,0596	78.868
Romania [RO]	0,7110	19.328.838	30,93	174.346	2.007	26,1027	44,4361	238.391
Hungary [HU]	0,7094	9.769.526	23,89	124.366	2.004	19,0404	47,4980	93.011
Slovenia [SI]	0,7076	2.095.861	6,15	41.372	2.004	14,5069	46,0500	20.273
Finland [FI]	0,6934	5.525.292	29,9	200.126	1.995	24,9427	60,1675	338.440
Germany [DE]	0,6808	83.166.711	262,1	2.876.737	1.958	13,3889	52,5170	357.376
Lithuania [LT]	0,6369	2.794.090	6,23	39.257	2.004	25,2829	54,6870	65.286
Croatia [HR]	0,6324	4.058.165	7,76	47.399	2.013	15,9622	45,8426	56.594
Austria [AU]	0,6218	8.901.064	30,93	315.810	1.995	16,3725	48,2084	83.879
Spain [ES]	0,6108	47.332.614	105,03	1.051.257	1.986	-3,7036	40,4167	505.944
Poland [PL]	0,6108	37.958.138	96,86	486.244	2.004	21,0067	52,2320	312.679
France [FR]	0,6058	67.485.531	207,95	2.061.683	1.958	2,3200	48,8589	633.187
Belgium [BE]	0,5968	11.522.440	43,88	391.878	1.958	4,3517	50,8466	30.528
Denmark [DK]	0,5785	5.822.763	15,38	278.852	1.973	12,5701	55,6867	42.924
Italy [IT]	0,5765	59.641.488	132,32	1.485.669	1.958	12,4829	41,8933	302.073
Latvia [LV]	0,5640	1.907.675	4,26	23.541	2.004	24,1052	56,9494	64.573
Portugal [PT]	0,5574	10.295.909	19,5	176.060	1.986	-9,1366	38,7078	92.226
Greece [GR]	0,5466	10.718.565	19,24	173.748	1.981	23,7283	37,9839	132.049
Ireland [IE]	0,5418	4.964.440	13,46	310.625	1.973	-6,2603	53,3498	69.797
Sweden [SE]	0,5279	10.327.589	41,28	443.157	1.995	18,0711	59,3251	438.574
Estonia [EE]	0,5073	1.328.976	4,31	20.307	2.004	24,7454	59,4372	45.227
Netherlands [NL]	0,5036	17.407.585	58,47	698.566	1.958	4,8925	52,3731	41.540
Luxembourg [LU]	0,4565	626.108	3,94	51.128	1.958	6,1297	49,8159	2.586
Malta [MT]	0,1621	514.564	0,74	10.533	2.004	14,5137	35,8990	315
Cyprus [CY]	0,1473	888.005	2,2	21.410	2.004	33,3639	35,1749	9.251

La Figura 20 visualiza la diversificación de los países de mayor a menor. Es perceptible, excluyendo a Malta y a Chipre, los pequeños intervalos de diferencia entre las entidades, habiendo entre Eslovaquia y Luxemburgo una discrepancia de alrededor del 30%. Por esa misma razón, se ha optado por gráfico de columnas agrupadas en vez de un mapa, ya que la diferencia de tonos en el plano podría haber sido imperceptible.

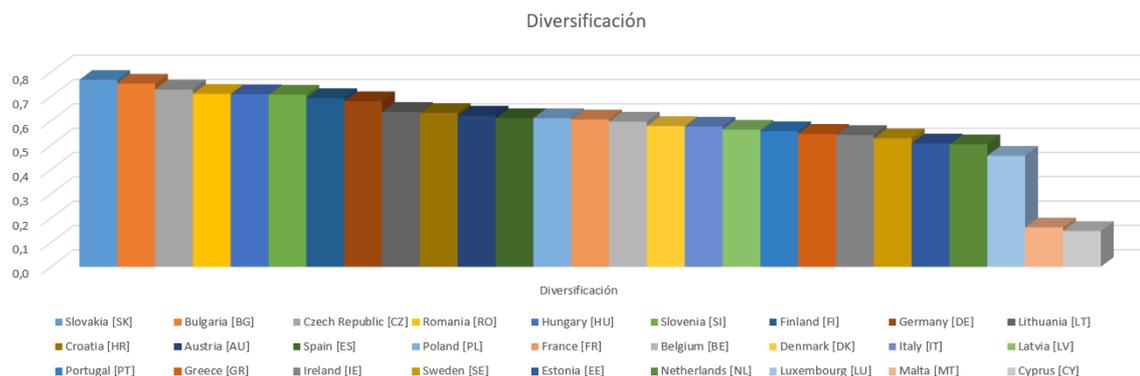


Figura 20. Países ordenados de mayor a menor índice de diversificación (Ver Anexo de Figuras).

Seguidamente, se procede a descomponer las inclinaciones de algunos países en ciertos aspectos.

### Relación población-consumo-PIB

En primer lugar, como antes se ha demostrado, existe una relación directa entre la población, el PIB y el consumo de energía, por lo que las tres gráficas resultantes de la comparativa con la diversificación deben tener distribuciones similares como se atribuye a la columna izquierda de la Figura 21.

Pasando al análisis frente a la diversificación en sí, es reseñable las tendencias lineales que experimentan Alemania, Francia, Italia, Suecia, Países Bajos y Luxemburgo, ilustradas en la columna derecha de la Figura 21. Las tres primeras tienen magnitudes muy superiores al resto de países tanto en población como en consumo y PIB. Esto deja intuir que, en un posible análisis de eficiencia con escala variable, estos países marcarán varios tramos y serán eficientes, ya que no habrá ningún otro país con el que compararse en su categoría. Respecto a la linealidad descrita, es sorprendente, que, excepto Suecia, el resto son cinco de los seis miembros fundadores de la Comunidad Económica Europea. Se entreve que las políticas económicas tomadas durante los más de 60 años han resultado en una alineación y un desarrollo similar dentro de los rangos de acción de cada país.

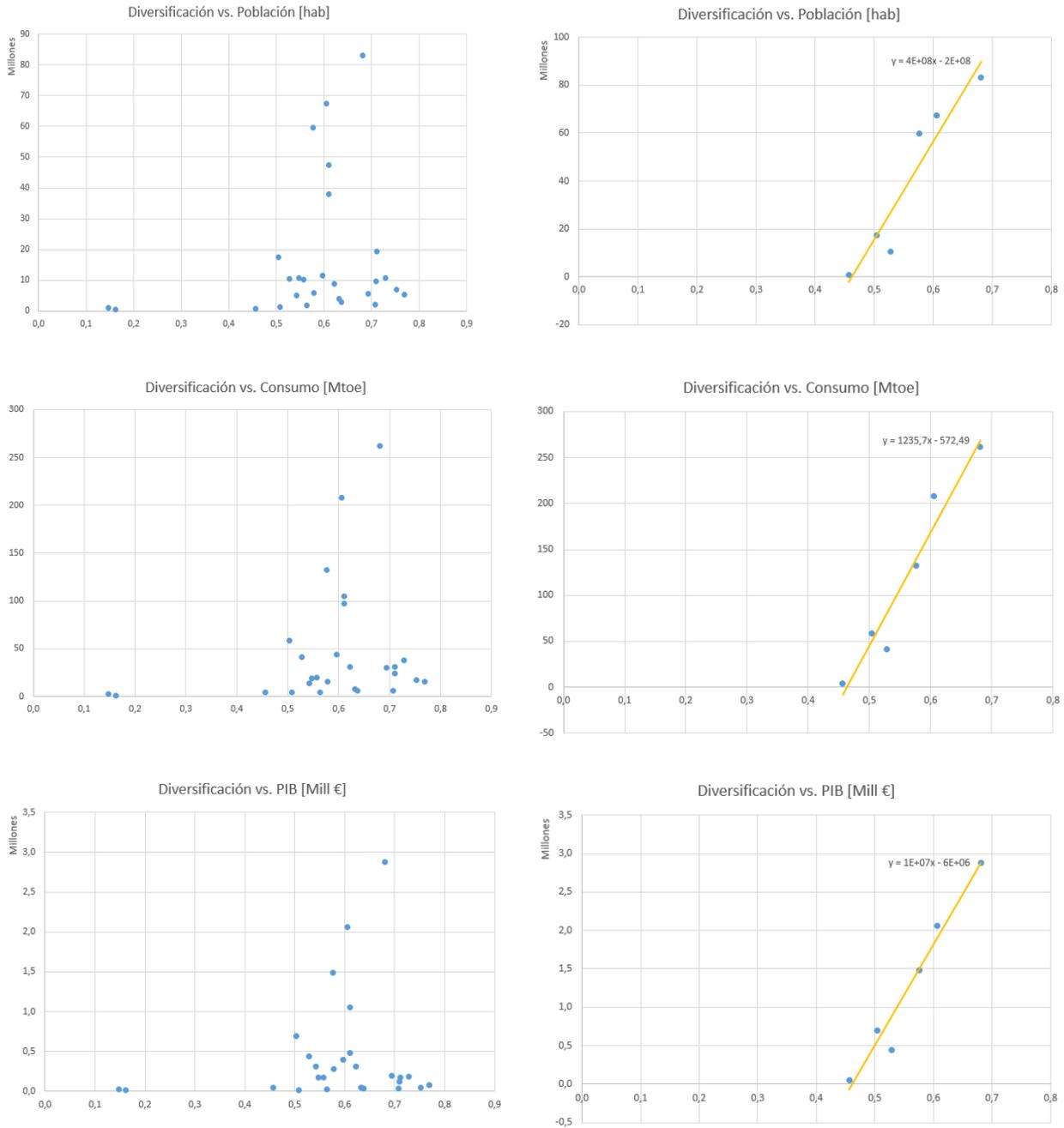


Figura 21. De izquierda a derecha, de arriba abajo: a) Diversificación frente a la población. b) Regresión lineal de la Figura 21a a Alemania, Francia, Italia, Países Bajos, Suecia y Luxemburgo. c) Diversificación frente al consumo. d) Regresión lineal de la Figura 21c a Alemania, Francia, Italia, Países Bajos, Suecia y Luxemburgo. e) Diversificación frente al PIB. f) Regresión lineal de la Figura 21e a Alemania, Francia, Italia, Países Bajos, Suecia y Luxemburgo (Ver Anexo de Figuras).

### Longitud

Otra característica del estudio digna de mencionar es la alta diversificación por parte de los países del este. Los 13 primeros países, exceptuando a España, tienen sus capitales ubicadas entre los meridianos 13 y 26 Este, lo que abarca gran parte del área descrita para esta región. Para explicar este fenómeno, sería coherente, antes que nada, atender a la geografía, ya que la superficie oriental continental es mucho mayor que la occidental. Así como la aparición a principios de los años 90, de muchos estados de un tamaño bastante reducido debido a las

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

disoluciones de la Unión Soviética y Yugoslavia. El hecho de que haya un gran número de países con un territorio no muy extenso e irregular propicia la dificultad de instalación de equipos para la producción de energías renovables por falta de espacio, citado en el punto anterior, por lo que el uso de estas es limitado. Asimismo, el breve desarrollo tecnológico ya que muchos de estos países pertenecieron al área de influencia soviética durante la Guerra Fría, lo que acentúa el retraso en la implementación de equipos de alto rendimiento. Esta situación forzó a los países a explorar alternativas ya usadas anteriormente y de menos calidad ambiental como es el caso de la nuclear en Eslovaquia, Bulgaria, República Checa, Rumanía o Hungría. La no erradicación del carbón y su cercanía con Rusia, teniendo en cuenta que los datos obtenidos son del 2020 (antes de la guerra), que los proveía con petróleo y gas, hacía que los países orientales tuvieran los mixes más diversificados del continente. Se reseña que la mayoría de estos países se incorporaron a la UE en las últimas ampliaciones, ya sean las de 2004, 2007 o 2013.

**Latitud**

Se puede observar en la Figura 22b una relación inversa entre la diversificación y la latitud de las capitales de países del centro de Europa (Eslovaquia y República Checa) y del norte (Estonia, Suecia, Letonia, Dinamarca, Lituania y Alemania). Las principales razones son que los países más septentrionales hacen más uso de las energías renovables en detrimento de la nuclear. Esto puede ser posible, en parte, a que los países del norte, por su situación geográfica, pueden disponer, por ejemplo, de energía eólica off-shore en las costas del mar Báltico, alternativa que sus homólogos no pueden disponer por una falta de salida al mar, lo que les obliga a una repartición más equitativa de sus fuentes de producción.

Gran dependencia a una única fuente como puede ser al petróleo (Grecia, España, Portugal, ...), al gas (Italia), a la nuclear (Francia) por países del sur o al carbón (Polonia), lo que hace que la diversificación sea débil al no equilibrar las fuentes. Finlandia y Lituania, países más boreales consiguen repartir mucho más los porcentajes consiguiendo un mejor reparto. Examinando en la Figura 22c, una relación lineal.

De la misma manera, un emplazamiento parecido se da entre países con una fuerte dependencia del petróleo y uso nulo o casi nulo de la energía nuclear (Luxemburgo, Países Bajos, Irlanda y Dinamarca). Una vez más, Finlandia, país con una capital con un paralelo más alto, con la disminución del uso del petróleo y la incorporación de la energía nuclear, logra un mix más equilibrado, mostrado en la Figura 22d.

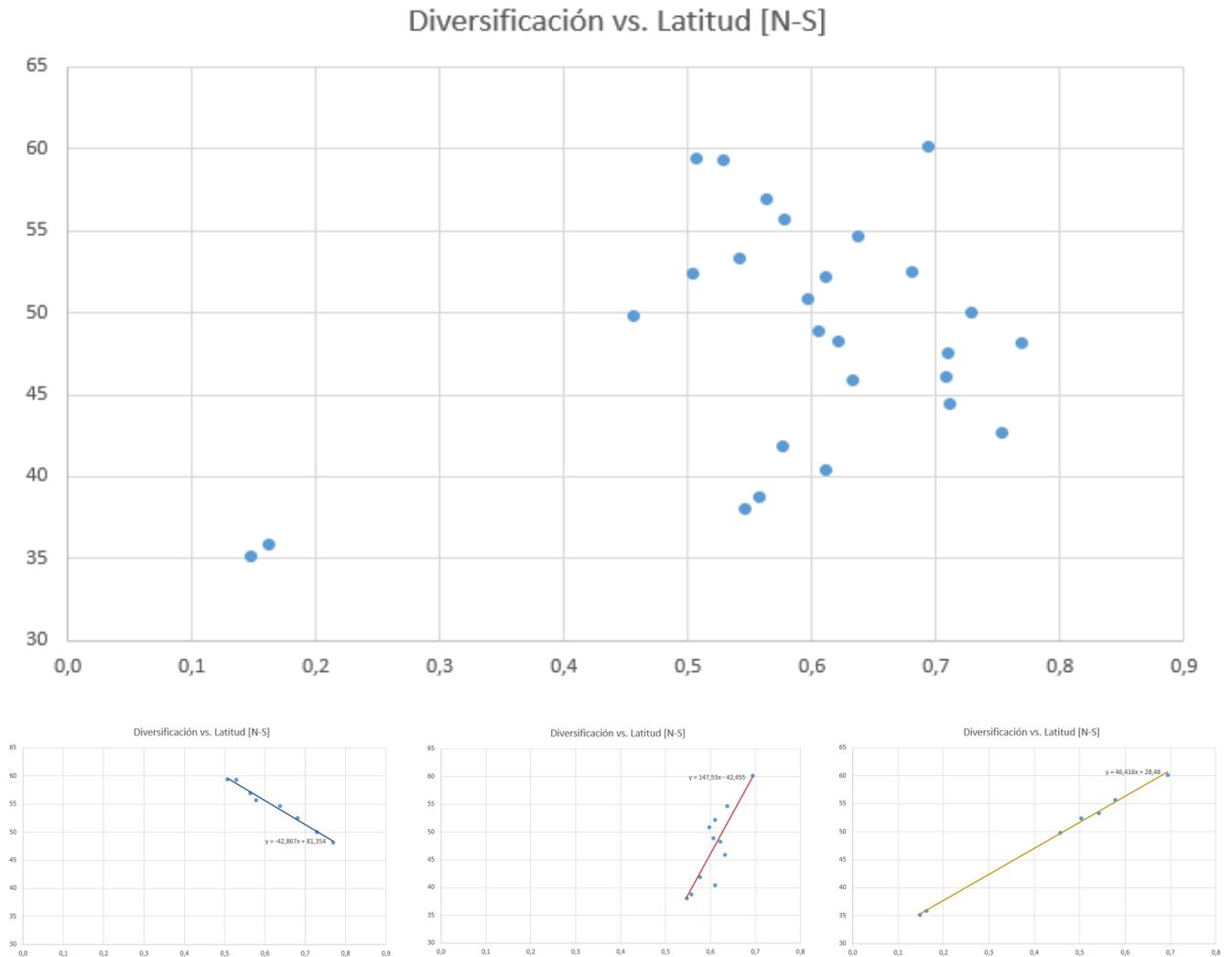


Figura 22. a) Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE. b) Regresión lineal de la Figura 22a de Estonia, Suecia, Letonia, Dinamarca, Lituania, Alemania, República Checa y Eslovaquia. c) Regresión lineal de la Figura 22a de Grecia, Portugal, Italia, Bélgica, Francia, Polonia, España, Austria, Croacia, Lituania y Finlandia. d) Regresión lineal de la Figura 22a de Chipre, Malta, Luxemburgo, Países Bajos, Irlanda, Dinamarca y Finlandia (Ver Anexo de Figuras).

## Superficie

Se vislumbra una relación lineal con pendiente negativa (inversa) entre la diversificación y la superficie. Este escenario viene dado debido a la descarbonización de países como España y Francia por el coste de transporte que podía acarrear en países con gran superficie. Esto impulsó el uso de otras fuentes con dominancias en su matriz energética como es el petróleo en España y la nuclear en Francia. Países de tamaño intermedio como son Alemania o Finlandia, hacen un uso más activo del carbón, aunque tienen una fuente que carece de importancia sobre el resto. Por otro lado, Eslovaquia, Bulgaria y Rumanía, usan el carbón con un porcentaje alrededor del 17% y tienen un reparto más igualitario de sus otras fuentes, ya que a pesar de usar unas fuentes más que otras, ninguna carece especialmente de valor.

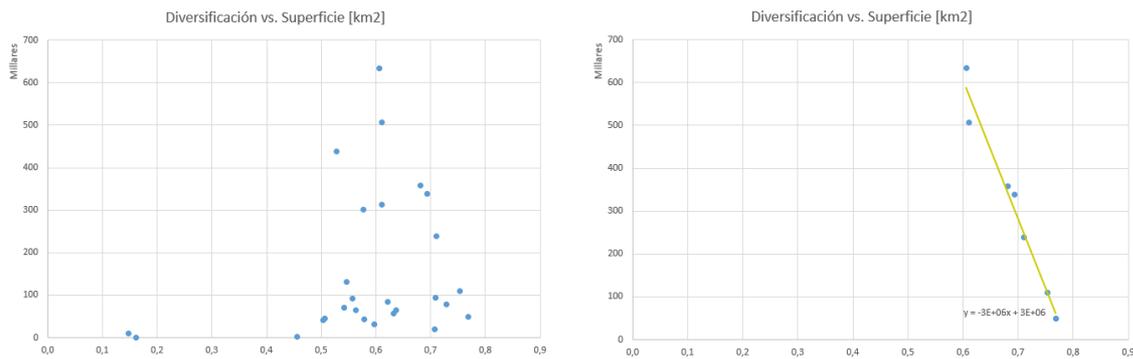


Figura 23. a) Diversificación frente a superficie. b) Regresión lineal de la Figura 23a de Francia, España, Alemania, Finlandia, Rumanía, Bulgaria y Eslovaquia (Ver Anexo de Figuras).

### Grecia y Portugal

En cuanto a las similitudes, destacan dos casos. El primero, el parecido entre Grecia y Portugal, ya que ambos países tienen grosso modo la misma población, el mismo consumo y PIB, unido a que ambos son países sureños con estilos de vida afines, hace que tengan una diversificación semejante.

### Malta y Chipre

La segunda analogía recae en los países de Malta y Chipre. Ambos son microestados isleños situados en el mar Mediterráneo por lo que su territorio y población no son muy extensos, traduciéndose en un consumo y PIB mínimos. Impresiona su bajísima diversificación a causa de que más del 85% de la producción de energía de ambos países viene del petróleo. Posiblemente, por los motivos mencionados y las dificultades surgidas en la exploración de otras vías, hacen que la solución más factible para los dos países sea la importación de crudo en buques petroleros para el suministro de las islas.

## 4.2.3 Resultados del modelo DEA bidimensional

Para concluir el análisis descriptivo, se realizará un análisis por envoltura de datos de carácter bidimensional con orientación de entrada para encaminar el abordaje de este objetivo. Se considerará una única entrada, pudiendo ser la población, el consumo total o el consumo de petróleo, al ser este usado por todos los países y representar casi un 40% de la producción de energía a nivel europeo, y una salida, la cual será el PIB. El procedimiento versará de las aplicaciones de ambas tecnologías, tanto CRS como VRS, explicando el procedimiento si resulta conveniente, así como el establecimiento de los tramos variables en la tecnología VRS o anotaciones oportunas.

### 4.2.3.1 Análisis de la eficiencia económica (Población-PIB)

El primer Análisis por Envoltura de Datos bidimensional a realizar es aquel en el que la población consta como entrada y el PIB consta como salida. Aplicando la tecnología CRS, deducimos que la unidad eficiente es Luxemburgo al contar con una población de 626.108 habitantes y tener un Producto Interior Bruto de 51.126 millones de €, contando con una eficiencia absoluta de 81.660 €. Es curioso como en este escenario la eficiencia absoluta coincide con el PIB per cápita, al ser ambos el PIB dividido entre la población total del país. Calculamos las  $\theta$ s, cuya misión es indicarnos hasta qué porcentaje habría que aminorar la población para que manteniendo el PIB, esta fuera eficiente. Aquí se vislumbra la advertencia de que cuando se realice el análisis

multidimensional, la entrada “Población” debe ser considerada una variable no discrecional, ya que la población de una nación no puede reducirse, así como así. Como detalle, se ha vuelto a calcular el PIB/Cápita o eficiencia absoluta con la nueva población para comprobar que la eficiencia de todos los países si pudieran disminuir su población al valor calculado sería igual a la de Luxemburgo.

Tabla 6. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional población-PIB (Ver Anexo de Tablas).

2020	Population [hab]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/hab]	Ef Global [%]	%CRS	New population CRS [hab]	GDP/Capita [€/hab]	%VRS	New population VRS [hab]	Ef Absoluta [€/hab]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Malta [MT]	514.564	10.533	20.470	25%	25.07%	128.988	81.660	121.58%	514.564	20.470	7	100%	25%
Estonia [EE]	1.328.976	20.307	15.280	19%	18.71%	248.674	81.660	40.74%	541.419	37.507	18 (0.24) 19 (0.76)	41%	46%
Cyprus [CY]	888.005	21.410	24.110	30%	29.52%	262.182	81.660	61.31%	544.450	39.324	18 (0.27) 19 (0.73)	61%	48%
Latvia [LV]	1.907.675	23.541	12.340	15%	15.11%	288.277	81.660	28.85%	550.305	42.778	18 (0.32) 19 (0.68)	29%	52%
Lithuania [LT]	2.794.090	39.257	14.050	17%	17.21%	480.737	81.660	21.24%	593.490	66.146	18 (0.71) 19 (0.29)	21%	81%
Slovenia [SI]	2.095.861	41.372	19.740	24%	24.17%	506.641	81.660	28.59%	599.302	69.034	18 (0.76) 19 (0.24)	29%	85%
Bulgaria [BG]	6.951.482	44.559	6.410	8%	7.85%	545.665	81.660	8.75%	608.058	73.281	18 (0.84) 19 (0.16)	9%	90%
Croatia [HR]	4.058.165	47.399	11.680	14%	14.30%	580.448	81.660	15.18%	615.863	76.964	18 (0.91) 19 (0.09)	15%	94%
Luxembourg [LU]	626.108	51.128	81.660	100%	130.51%	626.108	81.660	178.33%	626.108	81.660	15	100%	100%
Slovakia [SK]	5.457.873	84.051	15.400	19%	18.86%	1.029.283	81.660	21.56%	1.176.527	71.440	14 (0.13) 18 (0.87)	22%	87%
Hungary [HU]	9.769.526	124.366	12.730	16%	15.59%	1.522.974	81.660	18.94%	1.850.519	67.206	14 (0.28) 18 (0.72)	19%	82%
Greece [GR]	10.718.565	173.748	16.210	20%	19.85%	2.127.699	81.660	24.97%	2.676.097	64.926	14 (0.47) 18 (0.53)	25%	80%
Romania [RO]	19.328.838	174.346	9.020	11%	11.05%	2.135.025	81.660	13.90%	2.686.098	64.907	14 (0.47) 18 (0.53)	14%	79%
Portugal [PT]	10.295.909	176.060	17.100	21%	20.94%	2.156.013	81.660	26.37%	2.714.751	64.853	14 (0.48) 18 (0.52)	26%	79%
Czech Republic [CZ]	10.693.939	186.075	17.400	21%	21.31%	2.278.560	81.660	26.95%	2.882.176	64.560	14 (0.52) 18 (0.48)	27%	79%
Finland [FI]	5.525.292	200.126	36.220	44%	44.35%	2.450.723	81.660	56.41%	3.117.093	64.203	14 (0.57) 18 (0.43)	56%	79%
Denmark [DK]	5.822.763	278.852	47.890	59%	58.65%	3.414.795	81.660	76.14%	4.433.253	62.900	14 (0.88) 18 (0.12)	76%	77%
Ireland [IE]	4.964.440	310.625	62.570	77%	76.62%	3.803.882	81.660	134.84%	4.964.440	62.570	16	100%	77%
Austria [AU]	8.901.064	315.810	35.480	43%	43.45%	3.867.374	81.660	57.55%	5.122.445	61.652	11 (0.00) 14 (1.00)	58%	75%
Belgium [BE]	11.522.440	391.878	34.010	42%	41.65%	4.798.900	81.660	64.58%	7.440.631	52.667	11 (0.03) 14 (0.97)	65%	64%
Sweden [SE]	10.327.589	443.157	42.910	53%	52.55%	5.426.853	81.660	87.18%	9.003.349	49.221	11 (0.05) 14 (0.95)	87%	60%
Poland [PL]	37.958.138	486.244	12.810	16%	15.69%	5.954.491	81.660	27.18%	10.316.422	47.133	11 (0.07) 14 (0.93)	27%	58%
Netherlands [NL]	17.407.585	698.566	40.130	49%	49.14%	8.554.572	81.660	96.43%	16.786.957	41.614	11 (0.15) 14 (0.85)	96%	51%
Spain [ES]	47.332.614	1.051.257	22.210	27%	27.20%	12.873.590	81.660	58.17%	27.535.217	38.179	11 (0.29) 14 (0.71)	58%	47%
Italy [IT]	59.641.488	1.485.669	24.910	31%	30.50%	18.193.356	81.660	68.37%	40.773.930	36.437	11 (0.46) 14 (0.54)	68%	45%
France [FR]	67.485.531	2.061.683	30.550	37%	37.41%	25.247.159	81.660	86.43%	58.327.946	35.346	11 (0.68) 14 (0.32)	86%	43%
Germany [DE]	83.166.711	2.876.737	34.590	42%	42.36%	35.228.221	81.660	big	83.166.711	34.590	8	100%	42%

Pasando a la tecnología VRS, se ha vuelto a calcular una hipotética nueva población disminuida al porcentaje de la theta correspondiente. Se ha calculado la eficiencia absoluta dando los resultados mostrados en la undécima columna de la Tabla 6. Además de Luxemburgo, otros países han resultado eficientes en sus respectivas escalas, como es el caso de Malta, Irlanda y Alemania. El benchmark ha establecido tres intervalos, el correspondiente a Malta-Luxemburgo, comprendido por siete países, y los otros dos, Luxemburgo-Irlanda e Irlanda-Alemania, dotados de ocho países cada uno. Para finalizar, se han calculado las eficiencias técnicas y de escalas de todos los países involucrados, destacando el 100% de Luxemburgo en ambas.

#### 4.2.3.2 Análisis de la eficiencia energética (Consumo-PIB)

Para el segundo caso de análisis, se compara el consumo total de energía como entrada y el PIB como salida. Haciendo uso de la tecnología CRS, se determina que la unidad eficiente es Irlanda con un consumo de 13,46 millones de toneladas de petróleo equivalente y un PIB de 310.625 millones de €, resultando una eficiencia absoluta de 23.078 €/Mtoe. Dadas las lambdas, se calcula un nuevo consumo aminorado por los coeficientes de estas. Se calcula la eficiencia global y se procede a realizar la comprobación como en el análisis anterior.

Tabla 7. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional consumo-PIB (Ver Anexo de Tablas).

2020	Consumption [Mtoe]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Ef Global [%]	%CRS	New consumption CRS [Mtoe]	GDP/Consumption [€/Mtoe]	%VRS	New consumption VRS [Mtoe]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Malta [MT]	0.74	10.533	14.234	62%	61.68%	0.46	23.078	297.30%	0.74	14.234	16	100%	62%
Estonia [EE]	4.31	20.307	4.712	20%	20.42%	0.88	23.078	26.78%	1.15	17.593	14 (0.03) 19 (0.97)	27%	20%
Cyprus [CY]	2.20	21.410	9.732	42%	42.17%	0.93	23.078	54.59%	1.20	17.826	14 (0.04) 19 (0.96)	56%	42%
Latvia [LV]	4.26	23.541	5.526	24%	23.95%	1.02	23.078	30.31%	1.29	18.229	14 (0.04) 19 (0.96)	30%	24%
Lithuania [LT]	6.23	39.257	6.301	27%	27.30%	1.70	23.078	31.42%	1.96	20.054	14 (0.10) 19 (0.90)	31%	27%
Slovenia [SI]	6.15	41.372	6.727	29%	29.15%	1.79	23.078	33.29%	2.05	20.209	14 (0.10) 19 (0.90)	33%	29%
Bulgaria [BG]	17.19	44.559	2.582	11%	11.23%	1.93	23.078	12.69%	2.18	20.419	14 (0.11) 19 (0.89)	13%	11%
Croatia [HR]	7.76	47.399	6.108	26%	26.47%	2.05	23.078	29.67%	2.30	20.595	14 (0.12) 19 (0.88)	30%	26%
Luxembourg [LU]	3.94	51.128	12.977	56%	56.23%	2.22	23.078	62.45%	2.46	20.778	14 (0.14) 19 (0.86)	62%	56%
Slovakia [SK]	15.18	84.051	5.537	24%	23.99%	3.64	23.078	25.40%	3.86	21.796	14 (0.24) 19 (0.76)	25%	24%
Hungary [HU]	23.89	124.366	5.206	23%	22.56%	5.39	23.078	23.29%	5.67	22.348	14 (0.38) 19 (0.62)	23%	23%
Greece [GR]	19.24	173.748	9.031	39%	39.13%	7.53	23.078	39.80%	7.66	22.688	14 (0.54) 19 (0.46)	40%	39%
Portugal [PT]	19.50	176.060	9.029	39%	39.12%	7.63	23.078	39.78%	7.76	22.699	14 (0.55) 19 (0.45)	40%	39%
Romania [RO]	30.93	174.346	5.637	24%	24.43%	7.55	23.078	24.84%	7.68	22.691	14 (0.55) 19 (0.45)	25%	24%
Czech Republic [CZ]	37.59	186.075	4.950	21%	21.45%	8.06	23.078	21.76%	8.18	22.746	14 (0.58) 19 (0.42)	22%	21%
Finland [FI]	29.90	200.126	6.693	29%	29.00%	8.67	23.078	29.35%	8.78	22.803	14 (0.63) 19 (0.37)	29%	29%
Denmark [DK]	15.38	278.852	18.131	79%	78.56%	12.08	23.078	78.76%	12.11	23.020	14 (0.89) 19 (0.11)	79%	79%
Ireland [IE]	13.46	310.625	23.078	100%	127.28%	13.46	23.078	136.68%	13.46	23.078	24	100%	100%
Austria [AU]	30.93	315.810	10.210	44%	44.24%	13.68	23.078	45.14%	13.96	22.619	11 (0.00) 14 (1.00)	45%	44%
Belgium [BE]	43.88	391.878	8.931	39%	38.70%	16.98	23.078	48.62%	21.33	18.370	11 (0.03) 14 (0.97)	49%	39%
Sweden [SE]	41.28	443.157	10.735	47%	46.52%	19.29	23.078	63.71%	26.30	16.849	11 (0.05) 14 (0.95)	64%	47%
Poland [PL]	96.86	486.244	5.020	22%	21.75%	21.07	23.078	31.46%	30.48	15.955	11 (0.07) 14 (0.93)	31%	22%
Netherlands [NL]	58.47	698.666	11.947	52%	51.77%	30.27	23.078	87.31%	51.05	13.684	11 (0.15) 14 (0.85)	87%	52%
Spain [ES]	105.03	1.051.257	10.009	43%	43.37%	45.56	23.078	81.14%	85.22	12.335	11 (0.29) 14 (0.71)	81%	43%
Italy [IT]	132.32	1.485.669	11.228	49%	48.65%	64.38	23.078	96.22%	127.31	11.669	11 (0.46) 14 (0.54)	96%	49%
France [FR]	207.95	2.061.683	9.914	43%	42.96%	89.34	23.078	88.06%	183.13	11.258	11 (0.68) 14 (0.32)	88%	43%
Germany [DE]	262.10	2.676.737	10.976	46%	47.56%	124.66	23.078	big	262.10	10.976	8	100%	46%

A la eficiente Irlanda, gracias a la tecnología VRS, se le han unido Malta y Alemania, siendo las más eficientes entre las de igual tamaño. El benchmark señala la existencia de dos tramos, el Malta-Irlanda, comprendido por dieciséis países, y el Irlanda-Alemania, comprendido por ocho. También se calcula la eficiencia absoluta con el nuevo consumo reducido multiplicando el consumo inicial por las thetas obtenidas. Finalmente se calculan las eficiencias técnicas y de escalas. De nuevo, se verifica el 100% de eficiencia en ambas columnas para Irlanda.

#### 4.2.3.3 Petróleo-PIB

En el análisis bidimensional petróleo-PIB, siendo el petróleo la entrada y el PIB la salida, usando la tecnología de retorno de escala constante, se determina que la DMU eficiente del conjunto es Estonia, teniendo el valor más elevado en la ratio petróleo/PIB, que resulta ser la eficiencia absoluta. La reducción de las entradas, ya que nos encontramos con un problema con orientación de salida, viene dada por las lambdas, que multiplicadas por la segunda columna de la Tabla 8, nos daría el nuevo consumo de petróleo para que todos los países de la agregación fueran eficientes. Una vez más, nos cercioramos de que con el valor calculado se alcanza la eficiencia.

Tabla 8. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional petróleo-PIB (Ver Anexo de Tablas).

2020	Petroleum [Mtoe]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Ef Global [%]	%CRS	New petroleum CRS [Mtoe]	GDP/Petroleum [€/Mtoe]	%VRS	New petroleum VRS [Mtoe]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Germany [DE]	92.26	2.676.737	31.181	35%	35.06%	32.36	88.897	1.93	92.26	31.181	0	100%	35%
France [FR]	60.93	2.061.683	33.837	38%	38.06%	23.19	88.897	104.56%	60.93	33.837	4	100%	38%
Italy [IT]	43.53	1.485.669	34.127	38%	38.39%	16.71	88.897	98.05%	42.58	34.807	10 (0.64) 27 (0.36)	98%	38%
Spain [ES]	46.21	1.051.257	22.748	26%	25.59%	11.83	88.897	62.58%	28.92	36.348	10 (0.38) 27 (0.62)	63%	41%
Netherlands [NL]	27.42	698.666	25.474	29%	28.66%	7.86	88.897	64.73%	17.75	39.356	10 (0.16) 27 (0.84)	65%	44%
Poland [PL]	27.90	486.244	17.431	20%	19.61%	5.47	88.897	39.52%	11.02	44.106	10 (0.03) 27 (0.97)	40%	50%
Sweden [SE]	9.66	443.157	45.878	52%	51.61%	4.89	88.897	106.85%	9.66	45.878	6	100%	52%
Belgium [BE]	19.75	391.878	19.846	22%	22.32%	4.41	88.897	42.10%	8.31	47.143	14 (0.39) 27 (0.61)	42%	53%
Austria [AU]	10.70	315.810	29.510	33%	33.20%	3.55	88.897	59.00%	6.31	50.015	14 (0.96) 27 (0.04)	56%	56%
Ireland [IE]	6.18	310.625	50.278	57%	56.56%	3.49	88.897	106.15%	6.18	50.278	17	100%	57%
Denmark [DK]	5.97	278.852	46.729	53%	52.57%	3.14	88.897	92.62%	5.53	50.453	8 (0.11) 14 (0.89)	93%	57%
Finland [FI]	7.50	200.126	26.666	30%	30.00%	2.25	88.897	52.15%	3.91	51.136	8 (0.38) 14 (0.62)	52%	58%
Czech Republic [CZ]	8.04	186.075	23.131	26%	26.02%	2.09	88.897	45.07%	3.63	51.322	8 (0.43) 14 (0.57)	45%	58%
Portugal [PT]	8.50	176.060	20.708	23%	23.29%	1.98	88.897	40.23%	3.42	51.474	8 (0.46) 14 (0.54)	40%	58%
Greece [GR]	9.75	173.748	17.812	20%	20.04%	1.95	88.897	34.58%	3.37	51.511	8 (0.47) 14 (0.53)	35%	58%
Romania [RO]	9.28	174.346	18.789	21%	21.14%	1.96	88.897	36.48%	3.39	51.501	8 (0.47) 14 (0.53)	36%	58%
Hungary [HU]	6.81	124.366	18.266	21%	20.55%	1.40	88.897	34.68%	2.36	52.675	8 (0.64) 14 (0.36)	35%	59%
Slovakia [SK]	3.32	84.051	25.283	28%	28.44%	0.95	88.897	46.17%	1.53	54.764	8 (0.78) 14 (0.22)	46%	62%
Luxembourg [LU]	2.38	51.128	21.520	24%	24.21%	0.58	88.897	36.20%	0.86	59.446	8 (0.89) 14 (0.11)	36%	67%
Croatia [HR]	2.62	47.399	18.125	20%	20.39%	0.53	88.897	29.97%	0.78	60.485	8 (0.91) 14 (0.09)	30%	68%
Bulgaria [BG]	4.21	44.559	10.580	12%	11.90%	0.50	88.897	17.23%	0.73	61.423	8 (0.92) 14 (0.08)	17%	69%
Lithuania [LT]	2.44	39.257	16.075	18%	18.08%	0.44	88.897	25.26%	0.62	63.647	8 (0.93) 14 (0.07)	25%	72%
Slovenia [SI]	2.02	41.372	20.447	23%	23.00%	0.47	88.897	32.63%	0.66	62.672	8 (0.93) 14 (0.07)	33%	70%
Latvia [LV]	1.52	23.541	15.479	17%	17.41%	0.26	88.897	19.38%	0.29	79.879	8 (0.99) 14 (0.01)	19%	90%
Malta [MT]	0.64	10.533	16.551	19%	18.62%	0.12	88.897	35.89%	0.23	46.111	8 (1.00)	36%	52%
Cyprus [CY]	1.92	21.410	11.160	13%	12.56%	0.24	88.897	13.09%	0.25	85.286	8 (1.00) 14 (0.00)	13%	96%
Estonia [EE]	0.23	20.307	88.897	100%	176.81%	0.23	88.897	357.61%	0.23	88.897	16	100%	100%

En el ámbito de la tecnología de retorno de escala variable, aparte de Estonia; Alemania, Francia, Suecia e Irlanda también cumplen con la eficiencia en sus respectivas escalas. Con las  $\theta$  dadas, se calcula el nuevo consumo y con este la eficiencia absoluta. Los intervalos presentados en el benchmark comprenden uno mayoritario que abarca dieciséis países (Estonia-Irlanda), otro con dos (Irlanda-Suecia) y un último con cuatro (Suecia-Francia). En el intervalo Francia-Alemania ningún país es proyectado. El cálculo de las eficiencias técnicas y de escalas vuelve a reconocer la eficiencia de Estonia en ambas tecnologías.

### 4.3 Resultados

Para la realización del DEA multidimensional se va a hacer uso del programa EMS (Efficiency Measurement System) en su versión 1.3, desarrollado por la Universidad de Dortmund, Alemania. El programa permite introducir los datos (entradas y salidas) a través de una hoja de Excel. Una vez cargados y ejecutado el programa, permitiendo seleccionar la estructura del modelo (convexa o no convexa), el tipo de retorno de escala (constante, variable, sin incremento o sin decremento), la distancia (radial, aditiva, media máxima o media mínima) y la orientación (de entrada, de salida o sin orientación). Otra característica es que cuando se elige la distancia radial es la posibilidad de cálculo de la supereficiencia, la cual para las unidades eficientes indica la distancia máxima radial para la cual esa unidad sigue siendo eficiente.

Se ha decidido utilizar un modelo con estructura convexa, retorno de escala variable, distancia radial y orientación de entrada debido a las características del problema de estudio. También se ha considerado eliminar la columna de “Otros” para el análisis debido a los valores negativos que presenta no tienen relación directa con la producción de energía de cada país.

#### 4.3.1 Escenario original

El primer escenario cuenta con la población, el consumo de petróleo, el consumo de gas, el consumo de renovables, el consumo de nuclear y el consumo de carbón como entradas y el PIB como salida, es decir, el modelo tiene seis variables de entrada y una variable de salida.

DMU	Score	x1(N)/V	x2(O)/V	x3(O)/V	x4(O)/V	x5(O)/V	x6(O)/V	y1(O)/V	Benchmarks	(S) x1(O)	(S) x2(O)	(S) x3(O)	(S) x4(O)	(S) x5(O)	(S) x6(O)	(S) y1(O)
1 AT	61.45542198%	0.00	0.68	0.32	0.00	0.00	0.00	1.24	7 (0.29) 14 (0.70) 15 (0.01)	0.00000007	0.00000021	2.94624191	0.00000000	0.64793685	0.00087029	
2 BE	68.48911359%	0.00	0.00	0.00	0.44	0.00	0.56	0.95	10 (0.01) 14 (0.84) 20 (0.14)	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00012389
3 BG	25.12638943%	0.00	0.54	0.33	0.13	0.00	0.00	0.21	7 (0.00) 9 (0.35) 14 (0.10) 19 (0.55)	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	1.04524025	0.12732059	0.00000149
4 HR	49.92944037%	0.00	0.96	0.00	0.00	0.00	0.04	0.34	6 (0.02) 14 (0.12) 19 (0.86)	0.00000000	0.56099457	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000
5 CY	bg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
6 CZ	45.07106518%	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.47	8 (0.43) 14 (0.57)	0.00000000	0.39407059	0.64989714	3.15125169	3.68075731	0.00000576	
7 DK	198.01477395%	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2.16								
8 EE	357.60965698%	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.64								
9 FI	57.02891762%	0.00	0.53	0.24	0.23	0.00	0.00	0.54	7 (0.40) 8 (0.33) 19 (0.08) 27 (0.18)	0.00000000	0.00000000	0.00000001	0.93989491	0.07190017	0.00000478	
10 FR	360.84707206%	7.13	0.00	0.00	0.00	1.00	12.65									
11 DE	bg	26167820.14	0.01	0.03	0.02	0.91	0.02	33253094.54								
12 GR	49.50606191%	0.00	0.00	0.76	0.24	0.00	0.00	0.54	5 (0.46) 7 (0.10) 14 (0.44)	0.00000000	0.64138459	0.00000000	0.00000000	1.15538761	0.00000612	
13 HU	39.30773253%	0.00	0.94	0.00	0.00	0.00	0.06	0.33	8 (0.11) 14 (0.38) 19 (0.52)	0.00000000	1.41492011	0.27544077	1.45554567	0.00000001	0.00000601	
14 IE	bg	18233175.77	0.00	0.00	0.99	0.00	0.00	26034193.07								
15 IT	bg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
16 LV	62.17625134%	0.00	0.61	0.00	0.00	0.00	0.39	0.66	14 (0.03) 18 (0.07) 19 (0.90)	0.00000000	0.26305709	0.94965696	0.00000000	0.00000000	0.00000081	
17 LT	56.46237093%	0.00	0.52	0.00	0.00	0.00	0.48	0.59	14 (0.07) 18 (0.21) 19 (0.72)	0.00000000	0.40271722	0.53443005	0.00000000	0.00000000	0.00000077	
18 LU	bg	17510073.49	0.28	0.71	0.00	0.00	0.00	21202692.79								
19 MT	bg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00								
20 NL	321.72090812%	9.99	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	18.85								
21 PL	67.93296091%	0.00	0.00	0.85	0.15	0.00	0.00	1.19	7 (0.57) 14 (0.26) 15 (0.16)	0.00000004	0.00000030	0.00000000	0.00000000	24.89110224	0.00150012	
22 PT	69.95294567%	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.96	1.08	14 (0.20) 15 (0.05) 19 (0.75)	0.00000002	2.96300553	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000058	
23 RO	37.41754044%	0.00	0.91	0.00	0.00	0.00	0.09	0.33	8 (0.32) 14 (0.54) 19 (0.14)	0.00000000	0.99723615	0.83787986	1.03001946	0.00000003	0.00000378	
24 SK	52.52689384%	0.00	0.84	0.00	0.00	0.00	0.16	0.42	8 (0.42) 14 (0.23) 19 (0.35)	0.00000000	0.79996397	0.13710438	1.96150131	0.00000000	0.000002548	
25 SI	56.88947411%	0.00	0.62	0.23	0.15	0.00	0.00	0.46	7 (0.07) 8 (0.14) 14 (0.03) 19 (0.76)	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.00000000	0.81169902	0.150362298	0.000000027
26 ES	116.18967174%	0.00	0.00	0.04	0.00	0.88	1.20									
27 SE	529.11373646%	8.96	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	20.05								

Figura 24. Tabla de resultados en el EMS (Ver Anexo de Figuras).

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

La Figura 24, tomada directamente de la tabla de resultados que da el programa, proporciona información la cual se desglosa a continuación. En la primera columna, cada país (DMU) está representado con el código alfa-2 asignados según la ISO-3166-1, ordenados alfabéticamente por la inicial de su nombre en inglés, dándole el programa un número inequívoco del uno al veintisiete, siendo este el número de estados miembros que forman la Unión Europea. La columna “Score”, da el valor de lo que en el modelo llamamos  $\theta$ , en otras, palabras, el porcentaje al cuál se deben reducir las salidas para que estas sean eficientes. Las siguientes siete columnas dan los llamados pesos, precios sombras o costes de oportunidad, que se definen como el precio de referencia que tendría un bien en condiciones de competencia perfecta en unidades monetarias. Carecen de interés en este trabajo por lo que serán ignorados en etapas posteriores. La siguiente columna, “Benchmarks”, presenta los espacios en los que están contenidos las unidades no eficientes en la frontera. Estos pueden ser expresados en una combinación lineal de dos, tres e incluso cuatro países. Para cerrar, las últimas siete columnas dan las holguras de entradas, las cuales deben ser restadas después de la reducción radial para obtener la disminución de entradas óptimas para conseguir la eficiencia.

Tabla 9. Tabla con las  $\theta$ , las holguras de entradas y los puntos de referencia (Ver Anexo de Tablas).

2020	Score [%]	Holgura x2 [Mtoe]	Holgura x3 [Mtoe]	Holgura x4 [Mtoe]	Holgura x5 [Mtoe]	Holgura x6 [Mtoe]	Benchmarks
Austria [AU]	61%	0.00	0.00	2.95	0.00	0.65	7 (0,29) 14 (0,70) 15 (0,01)
Belgium [BE]	68%	3.51	0.55	0.00	3.00	0.00	10 (0,01) 14 (0,84) 20 (0,14)
Bulgaria [BG]	25%	0.00	0.00	0.00	1.05	0.13	7 (0,00) 8 (0,35) 14 (0,10) 19 (0,55)
Croatia [HR]	50%	0.00	0.56	0.77	0.00	0.00	8 (0,02) 14 (0,12) 19 (0,86)
Cyprus [CY]	big						1
Czech Republic [CZ]	45%	0.00	0.39	0.65	3.15	3.68	8 (0,43) 14 (0,57)
Denmark [DK]	199%						6
Estonia [EE]	358%						8
Finland [FI]	57%	0.00	0.00	0.00	1.00	0.07	7 (0,40) 8 (0,33) 19 (0,08) 27 (0,18)
France [FR]	361%						1
Germany [DE]	big						-
Greece [GR]	50%	0.64	0.00	0.00	0.00	0.16	5 (0,46) 7 (0,10) 14 (0,44)
Hungary [HU]	39%	0.00	1.41	0.28	1.46	0.00	8 (0,11) 14 (0,38) 19 (0,52)
Ireland [IE]	big						14
Italy [IT]	big						3
Latvia [LV]	62%	0.00	0.26	0.95	0.00	0.00	14 (0,03) 18 (0,07) 19 (0,90)
Lithuania [LT]	56%	0.00	0.40	0.53	0.00	0.00	14 (0,07) 18 (0,21) 19 (0,72)
Luxembourg [LU]	big						3
Malta [MT]	big						9
Netherlands [NL]	322%						1
Poland [PL]	68%	6.73	0.00	0.00	0.00	24.89	7 (0,57) 14 (0,26) 15 (0,16)
Portugal [PT]	89%	2.32	0.00	2.96	0.00	0.00	14 (0,20) 15 (0,05) 18 (0,75)
Romania [RO]	37%	0.00	1.00	0.84	1.03	0.00	8 (0,32) 14 (0,54) 19 (0,14)
Slovakia [SK]	53%	0.00	0.80	0.14	1.96	0.00	8 (0,42) 14 (0,23) 19 (0,35)
Slovenia [SI]	57%	0.00	0.00	0.00	0.81	0.15	7 (0,07) 8 (0,14) 14 (0,03) 19 (0,76)
Spain [ES]	116%						-
Sweden [SE]	529%						1

Habiendo purgado toda aquella información innecesaria para la presentación de los resultados, se ha plasmado toda aquella de valor en la Tabla 9, de modo que sea más sencillo identificar la procedencia de los números de la tabla final de resultados. Los países eficientes son Chipre, Dinamarca, Estonia, Francia, Alemania, Irlanda, Italia, Luxemburgo, Malta, Países Bajos, España y Suecia, en los que se proyectarán en mayor o menor medida el resto de países. Por ello, se realiza una transcripción de los números referidos en el programa al nombre de los propios países para facilitar la descomposición de los puntos de referencia:

- Dinamarca-Irlanda-Italia: Austria y Polonia
- Francia-Irlanda-Países Bajos: Bélgica
- Dinamarca-Estonia-Irlanda-Malta: Bulgaria y Eslovenia
- Estonia-Irlanda-Malta: Croacia, Hungría, Rumanía y Eslovaquia
- Estonia-Irlanda: República Checa
- Dinamarca-Estonia-Malta-Suecia: Finlandia
- Chipre-Dinamarca-Irlanda: Grecia
- Irlanda-Luxemburgo-Malta: Letonia y Lituania

- Irlanda-Italia-Luxemburgo: Portugal

Tabla 10. Presentación final de los resultados del DEA (Ver Anexo de Tablas).

2020	Petroleum [Mtoe]	Natural Gas [Mtoe]	Renewable [Mtoe]	Nuclear [Mtoe]	Solid fossil fuel [Mtoe]	Others [Mtoe]	New Consumption [Mtoe]	Old Consumption [Mtoe]
Austria [AU]	6.58	4.30	3.23	0.00	1.20	0.19	15.49	30.93
Belgium [BE]	10.02	7.32	2.55	1.36	1.56	0.26	23.08	43.88
Bulgaria [BG]	1.06	0.60	0.61	0.00	0.92	-0.21	2.99	17.19
Croatia [HR]	1.31	0.61	0.25	0.00	0.19	0.38	2.73	7.76
Cyprus [CY]	1.92	0.00	0.24	0.00	0.04	0.00	2.20	2.2
Czech Republic [CZ]	3.63	2.66	1.50	0.00	1.64	-0.79	8.63	37.59
Denmark [DK]	5.97	1.97	5.78	0.00	1.09	0.57	15.38	15.38
Estonia [EE]	0.23	0.33	1.19	0.00	2.28	0.28	4.31	4.31
Finland [FI]	4.28	1.11	6.31	1.92	1.60	1.35	16.56	29.9
France [FR]	60.93	32.23	26.41	85.47	6.45	-3.54	207.95	207.95
Germany [DE]	92.26	68.41	42.98	15.20	44.82	-1.57	262.10	262.1
Greece [GR]	4.19	2.12	1.45	0.00	0.64	0.67	9.07	19.24
Hungary [HU]	2.68	1.73	0.79	0.00	0.68	0.96	6.82	23.69
Ireland [IE]	6.18	4.40	1.74	0.00	1.16	-0.01	13.46	13.46
Italy [IT]	43.53	53.59	26.99	0.00	5.82	2.38	132.32	132.32
Latvia [LV]	0.95	0.26	0.10	0.00	0.05	0.13	1.49	4.26
Lithuania [LT]	1.38	0.48	0.21	0.00	0.09	0.73	2.90	6.23
Luxembourg [LU]	2.38	0.62	0.40	0.00	0.08	0.46	3.94	3.94
Malta [MT]	0.64	0.08	0.01	0.00	0.00	0.01	0.74	0.74
Netherlands [NL]	27.42	21.98	4.91	0.64	3.45	0.06	58.47	58.47
Poland [PL]	12.22	11.12	8.22	0.00	1.89	1.07	34.52	96.66
Portugal [PT]	5.25	4.09	2.03	0.00	0.59	0.12	12.08	19.5
Romania [RO]	3.47	2.47	1.31	0.00	1.35	0.25	8.86	30.93
Slovakia [SK]	1.75	1.19	0.91	0.00	1.23	0.02	5.08	15.18
Slovenia [SI]	1.15	0.40	0.65	0.00	0.43	-0.17	2.47	6.15
Spain [ES]	46.21	24.79	17.01	13.44	3.26	0.32	105.03	105.03
Sweden [SE]	9.66	1.11	19.69	10.49	2.19	-1.86	41.28	41.28
							999.9424892	1236.67
							<b>Reduction [%]</b>	<b>80,86%</b>

En la Tabla 10, se pueden observar las nuevas entradas de consumo después de haber aplicado ambas reducciones, radial y lineal. Durante la realización de las tablas y de este documento en sí, se decidió prescindir de la población ya que era considerada una variable no-discrecional, por lo tanto, su reducción hubiera sido nula. Por añadidura, durante el transcurso del análisis también se reparó en una relación lineal población-consumo, por lo que la presencia de más o menos consumo, ya respaldara un cierto número de habitantes. Al disminuir drásticamente el consumo de todos los tipos de energía alrededor de un 20%, manteniendo la población y el PIB igual, es clave el papel del desarrollo de una tecnología eficiente, como se mencionó en el objetivo asociado a este análisis, para el éxito de esta medida.

### 4.3.2 Escenario energías renovables

Durante la concepción de este punto, surgió como planteamiento, el trato igualitario dado a todos los tipos de energía, sin diferenciar el impacto medioambiental en su consumo. Es por ello, que se optó por realizar otro DEA, pero esta vez, el consumo de energías renovables de cada nación sería la inversa de este. Esto provoca que aquellos países que mayor consumo de energías renovables dispongan de una relación inversa, beneficiándose en el análisis. Las entradas y la salida son las mismas que las del escenario original.

DMU	Score	x1(0)	x2(0)	x3(0)	x4(0)	x5(0)	x6(0)	y1(0)	Benchmarks	(S) x1(0)	(S) x2(0)	(S) x3(0)	(S) x4(0)	(S) x5(0)	(S) x6(0)	(S) y1(0)
1	AT	165.43749176%	0.26	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.06	1						
2	BE	61.68487827%	0.07	0.00	0.00	0.05	0.00	0.95	0.58	7 (0.81)	10 (0.03)	16 (0.01)	22 (0.06)			
3	BG	91.21145056%	0.00	0.49	0.00	0.51	0.00	0.00	0.00	7 (0.52)	16 (0.48)					
4	HR	99.92831459%	0.00	0.34	0.00	0.66	0.00	0.00	0.00	7 (0.25)	16 (0.75)					
5	CY	big	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1						
6	CZ	76.91660357%	0.00	0.67	0.00	0.33	0.00	0.00	0.00	7 (0.86)	9 (0.14)					
7	DK	249.24075522%	4.13	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	2.01							
8	EE	731.01614289%	2.51	0.93	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00							
9	FI	226.59824464%	6.56	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00							
10	FR	360.84707204%	7.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	12.65							
11	DE	big	72.53	0.03	0.03	0.00	0.90	0.03	89.85							
12	GR	60.41596174%	0.00	0.34	0.00	0.31	0.00	0.35	0.00	7 (0.81)	16 (0.08)	22 (0.11)				
13	HU	72.67050814%	0.00	0.63	0.00	0.37	0.00	0.00	0.00	7 (0.77)	16 (0.23)					
14	IE	big	25.49	0.99	0.00	0.00	0.00	0.00	98.51							
15	IT	big	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
16	LV	245.04080202%	2.39	0.00	0.00	0.94	0.00	0.06	0.00							
17	LT	78.25102269%	0.00	0.01	0.00	0.18	0.00	0.81	0.72	14 (0.04)	16 (0.93)	18 (0.01)	22 (0.03)			
18	LU	big	49.75	0.01	0.00	0.98	0.00	0.01	47.59							
19	MT	big	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00							
20	NL	321.72090935%	9.99	0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	18.65							
21	PL	104.13351614%	0.00	0.00	0.21	0.79	0.00	0.00	0.00							
22	PT	138.02291134%	0.00	0.00	0.00	0.39	0.00	0.61	0.00							
23	RO	75.99474826%	0.00	0.41	0.00	0.50	0.09	0.00	0.00	1 (0.10)	7 (0.49)	9 (0.41)				
24	SK	90.15776469%	0.00	0.38	0.00	0.62	0.00	0.00	0.00	7 (0.33)	16 (0.67)					
25	SI	91.71715736%	0.00	0.00	0.63	0.19	0.00	0.19	0.05	5 (0.04)	8 (0.35)	16 (0.56)	27 (0.05)			
26	ES	121.38308361%	0.00	0.00	0.00	0.10	0.05	0.85	0.89							
27	SE	570.54216505%	14.10	0.00	0.85	0.15	0.00	0.00	26.53							

Figura 25. Resultados del DEA en el caso de las energías renovables (Ver Anexo de Figuras).

Reparando en la Figura 25 y comparándolo con el escenario inicial, es notable el aumento de las DMU eficientes, ya que como se han invertido los valores, las entradas en este caso tienden a cero, aumentando la eficiencia. Aun así, este escenario es meramente experimental ya que el objetivo principal de este punto no interfiere en la diferenciación de la fuente del consumo, si no en la eficiencia del consumo.



# 5 DIVERSIFICACIÓN DE PROVEEDORES

---

*La diversificación es la protección contra la ignorancia.*

Warren Buffett, 1930

La diversificación de proveedores se considera un objetivo fundamental en la lucha por la independencia del gas ruso. En este punto, utilizando el modelo de transportes vamos a hallar la distribución óptima entre proveedores y clientes. Estos, serán las regiones establecidas según la Plataforma de Energía de la UE, las cuales presentarán una demanda agregada.

## 5.1 Caso de Estudio

Haciendo uso del problema de transportes para la determinación de los datos, la distribución del caso de estudio consta de tres etapas. La primera es el cálculo de la producción por parte de los proveedores. La segunda se corresponde al cálculo de la demanda por parte de los clientes. Y la tercera consiste en la determinación de la matriz de distancias entre proveedores y clientes.

### 5.1.1 Cálculo de la producción

Para determinar el cálculo de la producción lo primero que se ha efectuado es un sumatorio del consumo de gas de todos los países de la UE, que da la suma de 290,91 Mtoe, como se repara en la columna izquierda de la Tabla 11. Esta información se ha sacado de la tabla de datos del punto anterior (Ahorro de Energía). A pesar de que el resto de los datos sean referidos al 2022, y este en específico al 2020, no supone una gran diferencia, ya que los consumos entre uno o dos años consecutivos suelen ser similares, teniendo en cuenta que no ha sido posible encontrar todos los datos necesarios referidos a un mismo año.

A continuación, pasamos a considerar los posibles proveedores. Gracias a la página del Consejo Europeo, pudimos saber el porcentaje de fuentes de importación de gas de la UE de enero a noviembre del 2022 [49]. Este se componía por un 25,72% de GNL (Gas Natural Licuado) proveniente mayoritariamente de Estados Unidos, Catar y Nigeria, un 24,93% de Noruega, un 24,64% de gas ruso, un 13,09% de “Otros” y un 11,62% de Argelia. Todos estos datos se pueden apreciar con mayor detalle en la primera sección de la columna derecha de la Tabla 11.

El siguiente paso era suprimir a Rusia de la ecuación y repartir el suministro de este entre los restantes. Por ello, se eliminó el 24,64% de gas aportado por Rusia y se recalcularon los porcentajes, esta vez sin la inclusión del país exsoviético, dividiendo el porcentaje inicial de cada proveedor por la suma de todos sin Rusia. La sección dos representa el paso intermedio, siendo la sección tres la nueva distribución.

Incluso, ahondando más en la repartición, la sección cuatro presenta cómo se distribuyen los porcentajes entre los proveedores restantes con la desaparición de Moscú.

Tabla 11. Cálculos relacionados con el cálculo de la producción.

2020	Natural Gas [Mtoe]	2022	Gas [%]
Austria [AU]	6,99	Argelia [DZ]	11,62%
Belgium [BE]	11,50	GNL	25,72%
Bulgaria [BG]	2,41	Norway [NR]	24,93%
Croatia [HR]	2,35	Others	13,09%
Cyprus [CY]	0,00	Russia [RU]	24,64%
Czech Republic [CZ]	6,77		100,00%
Denmark [DK]	1,97		
Estonia [EE]	0,33	2022	Gas [%]
Finland [FI]	1,94	Argelia [DZ]	11,62%
France [FR]	32,23	GNL	25,72%
Germany [DE]	68,41	Norway [NR]	24,93%
Greece [GR]	4,29	Others	13,09%
Hungary [HU]	8,00	Russia [RU]	24,64%
Ireland [IE]	4,40		75,36%
Italy [IT]	53,59		
Latvia [LV]	0,85	2022	Gas [%]
Lithuania [LT]	1,57	Argelia [DZ]	15,42%
Luxembourg [LU]	0,62	GNL	34,13%
Malta [MT]	0,08	Norway [NR]	33,08%
Netherlands [NL]	21,98	Others	17,37%
Poland [PL]	16,37	Russia [RU]	0,00%
Portugal [PT]	4,60		100,00%
Romania [RO]	9,28		
Slovakia [SK]	3,78	2022	Gas [%]
Slovenia [SI]	0,70	Argelia [DZ]	3,80%
Spain [ES]	24,79	GNL	8,41%
Sweden [SE]	1,11	Norway [NR]	8,15%
		Others	4,28%
		Russia [RU]	0,00%
			24,64%
<b>TOTAL</b>	<b>290,91</b>		

Realizada la distribución queda especificar los países que conforman las entidades “GNL” y “Others”. Para el Gas Natural Licuado, en la página donde se ha obtenido la información, comentaba que los tres proveedores principales eran EE. UU., Catar y Nigeria, por lo que se ha decidido dividir el porcentaje atribuido entre estos tres países. Misma situación con Otros, donde se respalda que los mayores suministradores son Azerbaiyán e Israel, por lo que se ha hecho un reparto a medias entre ambos países asiáticos.

Tabla 12. Proveedores y cantidades a producir en Mtoe.

2022	Gas [%]	Gas [Mtoe]
Argelia [DZ]	15,42%	44,86
Azerbaijan [AZ]	8,68%	25,27
Israel [IL]	8,68%	25,27
Nigeria [NG]	11,38%	33,10
Norway [NR]	33,08%	96,24
Qatar [QA]	11,38%	33,10
United States [US]	11,38%	33,10
	100,00%	290,91

Por último, queda la conversión de porcentajes a la unidad de media, que es millones de toneladas de petróleo equivalente, Mtoe. Para ello, se ha multiplicado la cantidad total de demanda calculada en el sumatorio y se ha multiplicado por los respectivos porcentajes, quedando zanjados los proveedores y la cantidad a suministrar (producción), como indica la Tabla 12.

### 5.1.2 Cálculo de la demanda

En el cálculo de la demanda es de vital importancia la repartición de países según las regiones estipuladas en la “Plataforma de Energía de la UE”. Tomando los consumos de gas natural del punto anterior, se reparten, quedando conformadas las demandas agregadas por regiones, como se expone en la Tabla 13.

Tabla 13. Demanda agregada por regiones.

<b>South East Europe [SEE]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>	<b>Central &amp; Eastern Europe [CEE]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>
Bulgaria [BG]	2,41	Austria [AU]	6,99
Greece [GR]	4,29	Croatia [HR]	2,35
Moldova [MD]	0,00	Czech Republic [CZ]	6,77
North Macedonia [MK]	0,00	Germany [DE]	34,20
Romania [RO]	9,28	Hungary [HU]	8,00
Serbia [RS]	0,00	Italy [IT]	26,79
Ukraine [UA]	0,00	Moldova [MD]	0,00
<b>TOTAL</b>	<b>15,98</b>	Poland [PL]	16,37
<b>South East Europe [SEE]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>	Slovakia [SK]	3,78
Belgium [BE]	11,50	Slovenia [SI]	0,70
Denmark [DK]	1,97	Ukraine [UA]	0,00
France [FR]	16,12	<b>TOTAL</b>	<b>105,96</b>
Germany [DE]	34,20	<b>South West Europe [SWE]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>
Ireland [IE]	4,40	France [FR]	16,12
Luxembourg [LU]	0,62	Italy [IT]	26,79
Netherlands [NL]	21,98	Portugal [PT]	4,60
Sweden [SE]	1,11	Spain [ES]	24,79
<b>TOTAL</b>	<b>91,90</b>	<b>TOTAL</b>	<b>72,30</b>
<b>Baltics &amp; Finland [BF]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>	<b>Independent [IND]</b>	<b>Natural Gas [Mtoe]</b>
Estonia [EE]	0,33	Cyprus [CY]	0,00
Finland [FI]	1,94	Malta [MT]	0,08
Latvia [LV]	0,85		
Lithuania [LT]	1,57		
<b>TOTAL</b>	<b>4,69</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,08</b>

Consideraciones a tener en cuenta:

- La demanda de países que pertenecen a dos grupos distintos, como es el caso de Alemania, Francia o Italia, ha sido dividida entre dos, asumiendo las demandas en cada región de forma independiente.
- No ha sido posible localizar la demanda de los países que no pertenecen a la UE (Ucrania, Moldavia, Serbia, ...), por lo que se han considerado que sus demandas son nulas.

- Chipre y Malta son los dos únicos países que no están acogidos a ningún grupo. El caso chipriota es irrelevante, ya que el país mediterráneo no presenta consumo de gas en su mix. Para Malta, se ha creado un nuevo bloque, llamado “Independiente”, formado únicamente por el país, y que también estará incluido en el problema.

### 5.1.3 Cálculo de la matriz de distancias

El último cálculo inexcusable para la determinación de los datos necesarios para resolver el problema de transportes es la matriz de distancias.

En el caso de los proveedores, para Argelia se ha determinado que la situación del nodo debe ser la ciudad de Hassi R'Mel, ya que allí es donde se encuentra el yacimiento de gas más importante del país. La situación de Azerbaiyán, Israel y Noruega es que los yacimientos de gas se ubican en aguas nacionales del mar Caspio, mar Mediterráneo y mar del Norte, por lo que los nodos se han ubicado en la ciudad costera más próxima. Los nodos de Nigeria, Catar y EE. UU., se han estimado las ciudades más importantes de las tres naciones, ya que suponemos que las importaciones proceden de allí.

Para las regiones de Europa (Clientes), se ha estimado que el nodo final de cada una de ellas es la capital del país que más gas demande. Para el sudeste de Europa es Bucarest, capital de Rumanía que demanda 9,28 Mtoe. Para el centro y este de Europa y el noreste de Europa es Berlín, capital de Alemania, que demanda 34,20 Mtoe en cada bloque. Para el suroeste de Europa es Roma, capital de Italia, que demanda 26,79 Mtoe. Para Bálticos y Finlandia es Helsinki, capital de Finlandia, que demanda 1,94 Mtoe. Además de La Valeta, capital de Malta, que computa como bloque independiente. Nótese que en la Tabla 13, el nombre de dichos países está en cursiva.

Tabla 14. Matriz de distancias en km (Ver Anexo de Tablas).

Distance [km]	Bucharest [RO][SEE]	Berlin [GE][CEE]	Rome [IT][SWE]	Berlin [GE][SEE]	Helsinki [FI][BF]	Valetta [MT][IND]
Hassi R'Mel [DZ]	2346,68	2324,51	1286,12	2324,51	3421,76	1075,38
Bakú [AZ]	1996,66	3061,03	3109,13	3061,03	2791,43	3120,11
Tel Aviv [IL]	1568,06	2852,19	2249,65	2852,19	3210,59	1922,02
Lagos [NG]	4763,9	5203,41	4041,02	5203,41	6247,1	3461,21
Bergen [NR]	2244,05	1001,89	2112,52	1001,89	1081,81	2797,53
Doha [QA]	3124,23	4390,75	4010,44	4390,75	4382,59	3715,72
New York [US]	7650,34	6385,27	6892,87	6385,27	6620,28	7390,83

Las distancias entre los nodos iniciales y finales han sido consultadas en una página web especializada en el cálculo de distancias entre ciudades, y su unidad de medida son los kilómetros.

## 5.2 Resultados

Para la resolución del problema de transportes se ha utilizado el programa LINGO (*LINear Generalize Optimizer*) en su versión 9.0, una herramienta simple para formular problemas lineales y no lineales, resolverlos y analizar su solución.

Tabla 15. Datos necesarios para el problema de transportes.

1	Argelia [DZ]	44,86	1	South East Europe [SEE]	15,98
2	Azerbaijan [AZ]	25,27	2	Central & Eastern Europe [CEE]	105,96
3	Israel [IL]	25,27	3	South West Europe [SWE]	72,30
4	Nigeria [NG]	33,10	4	South East Europe [SEE]	91,90
5	Norway [NR]	96,24	5	Baltics & Finland [BF]	4,69
6	Qatar [QA]	33,10	6	Independent [IND]	0,08
7	United States [US]	33,10		<b>TOTAL CLIENTES</b>	<b>290,91</b>
	<b>TOTAL PROVEEDORES</b>	<b>290,91</b>			

Distance [km]	Bucharest [RO][SEE]	Berlin [GE][CEE]	Rome [IT][SWE]	Berlin [GE][SEE]	Helsinki [FI][BF]	Valetta [MT][IND]
Hassi R'Mel [DZ]	2346,68	2324,51	1286,12	2324,51	3421,76	1075,38
Bakú [AZ]	1996,66	3061,03	3109,13	3061,03	2791,43	3120,11
Tel Aviv [IL]	1568,06	2852,19	2249,65	2852,19	3210,59	1922,02
Lagos [NG]	4763,9	5203,41	4041,02	5203,41	6247,1	3461,21
Bergen [NR]	2244,05	1001,89	2112,52	1001,89	1081,81	2797,53
Doha [QA]	3124,23	4390,75	4010,44	4390,75	4382,59	3715,72
New York [US]	7650,34	6385,27	6892,87	6385,27	6620,28	7390,83

En el caso de estudio, hemos determinado la producción y la demanda de los nodos productores y clientes, así como la matriz de costes (distancias), imprescindibles para resolver el problema. Es relevante recalcar el hecho de que la suma de las producciones es igual a la suma de las demandas, requisito que se señaló en la metodología del problema. Estos datos los hemos pasado a una hoja de cálculo Excel para posteriormente introducirlos en Lingo, como se observa en la Tabla 15.

```

Model:
Sets: !-----;
Regiones/@OLE('TFG2.xlsx','Regiones')/:Demanda;
Proveedores/@OLE('TFG2.xlsx','Proveedores')/:Produccion;
Doble(Proveedores,Regiones):Distancias,Variables;

Endsets !-----;
Data: !-----;
!DATOS;
Produccion=@OLE('TFG2.xlsx','Produccion');
Demanda=@OLE('TFG2.xlsx','Demanda');
Distancias=@OLE('TFG2.xlsx','Distancias');
!VARIABLES;
@OLE('TFG2.xlsx','Solucion')=Variables;
EndData !-----;
!----- RESTRICCIONES -----;
@for(Proveedores(i):
    [PROV] @sum(Regiones(j): Variables(i,j)) = Produccion(i);
);
@for(Regiones(j):
    [REG] @sum(Proveedores(i): Variables(i,j)) = Demanda(j);
);
!----- FUNCION OBJETIVO -----;
FuncObj = @sum(Doble(i,j): Distancias(i,j)*Variables(i,j));

Min = FuncObj;
    
```

```

Data :
@OLE (' TFG2.xlsx', 'FO')=FuncObj;
EndData

End

```

Figura 26. Programación del problema de transportes en Lingo.

En Lingo, primero se definen los conjuntos. Este problema tiene dos conjuntos, Regiones, que va del 1 al 6, y Proveedores, que va del 1 al 7. También existe un conjunto con dos dimensiones, en las filas, Proveedores, y en las columnas, Regiones, como se contempla en la Figura 26. Esto sirve para definir matrices. A la hora de la declaración de datos y variables, como datos tenemos la Producción, que depende de los Proveedores, la Demanda, que depende de las Regiones, y las Distancias, que depende de Doble (matriz Proveedores x Regiones). Respecto a las variables, tenemos Variables, que será la solución al problema y tiene forma de matriz. Una vez introducidas los dos conjuntos de restricciones y la función objetivo, se ejecuta y devuelve los resultados expuestos en la Tabla 16.

Tabla 16. Resultados del problema de transportes (Ver Anexo de Tablas).

Gas [Mtoe]	Bucharest [RO][SEE]	Berlin [GE][CEE]	Rome [IT][SWE]	Berlin [GE][SEE]	Helsinki [FI][BF]	Valetta [MT][IND]	
Hassi R'Mel [DZ]	0,00	5,57	39,28	0,00	0,00	0,00	44,86
Bakú [AZ]	0,00	20,57	0,00	0,00	4,69	0,00	25,27
Tel Aviv [IL]	15,98	9,29	0,00	0,00	0,00	0,00	25,27
Lagos [NG]	0,00	0,00	33,02	0,00	0,00	0,08	33,10
Bergen [NR]	0,00	4,33	0,00	91,90	0,00	0,00	96,24
Doha [QA]	0,00	33,10	0,00	0,00	0,00	0,00	33,10
New York [US]	0,00	33,10	0,00	0,00	0,00	0,00	33,10
	15,98	105,96	72,30	91,90	4,69	0,08	

Siguiendo la lógica, se puede deducir que el modelo ha asociado los nodos productores a los nodos clientes más cercanos, tratando de minimizar las distancias lo máximo posible. Por comprobación, se suman las columnas y las filas para cerciorarse de que corresponden con las demandas y las producciones respectivas. Analizando el grupo regional del suroeste de Europa, por ejemplo, al que pertenece España, es aprovisionado en 39,28 Mtoe por Argelia y 33,02 Mtoe por Nigeria.

# 6 ENERGÍA LIMPIA

---

*Solo cuando el último árbol esté muerto, el último río envenenado y el último pez atrapado, te darás cuenta de que no puedes comer dinero.*

Proverbio indoamericano

Debido a la imposibilidad de estimar los costes de producción de las energías renovables del modelo por la escasez de medios y recursos, se va a sustituir la resolución del modelo propuesto en el punto tres por un análisis de la producción de energía eléctrica en la Unión Europea, considerando cada tipo de energía renovable, así como el cálculo del coste diario de la electricidad (pool eléctrico). Finalmente, se planteará una propuesta para cumplir el objetivo asociado a este punto, que sirva de referencia para el cumplimiento del plan REPowerEU. La resolución del modelo propuesto queda como una línea de investigación futura.

## 6.1 Caso de Estudio

Para realizar el análisis de la producción de electricidad en el conjunto de países que forman la Unión Europea, se ha vuelto a consultar la página de datos estadísticos de esta organización, siguiendo la misma manera que con el primer objetivo. En Eurostat, se han tomado los datos referidos a la producción de electricidad por fuente en el año 2021, ya que estos eran los únicos que estaban disponibles [50].

Tabla 17. Producción de electricidad por fuente y por país en porcentaje.

2021	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]
Austria [AU]	19,1%	0,0%	9,5%	60,1%	6,3%	3,9%	1,1%
Belgium [BE]	24,7%	50,3%	12,0%	1,4%	4,7%	5,6%	1,3%
Bulgaria [BG]	43,1%	34,7%	3,0%	10,7%	5,4%	3,1%	0,0%
Croatia [HR]	30,1%	0,0%	13,6%	47,5%	7,2%	1,0%	0,6%
Cyprus [CY]	84,9%	0,0%	4,8%	0,0%	1,2%	9,1%	0,0%
Czech Republic [CZ]	49,7%	36,2%	0,7%	4,3%	6,3%	2,7%	0,1%
Denmark [DK]	18,6%	0,0%	48,6%	0,0%	26,4%	4,0%	2,4%
Estonia [EE]	58,8%	0,0%	10,2%	0,3%	24,6%	4,9%	1,2%
Finland [FI]	13,3%	32,8%	11,8%	22,0%	18,9%	0,4%	0,8%
France [FR]	8,4%	68,4%	6,6%	11,5%	1,7%	2,8%	0,6%
Germany [DE]	46,8%	11,8%	19,5%	4,3%	8,0%	8,4%	1,2%
Greece [GR]	59,4%	0,0%	19,2%	10,9%	0,9%	9,6%	0,0%
Hungary [HU]	35,6%	44,4%	1,8%	0,6%	6,2%	10,6%	0,8%
Ireland [IE]	61,7%	0,0%	30,7%	3,2%	3,1%	0,3%	1,0%
Italy [IT]	58,1%	0,0%	7,3%	16,5%	6,6%	8,7%	2,8%
Latvia [LV]	36,4%	0,0%	2,4%	46,3%	14,7%	0,1%	0,1%
Lithuania [LT]	26,9%	0,0%	27,6%	22,4%	14,0%	3,9%	5,2%
Luxembourg [LU]	7,8%	0,0%	14,2%	49,1%	17,6%	8,1%	3,2%
Malta [MT]	88,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	11,6%	0,0%
Netherlands [NL]	61,9%	3,1%	14,8%	0,1%	8,9%	9,5%	1,7%
Poland [PL]	82,2%	0,0%	9,0%	1,7%	4,5%	2,2%	0,4%
Portugal [PT]	34,5%	0,0%	25,9%	26,4%	7,9%	4,4%	0,9%
Romania [RO]	36,2%	19,0%	11,1%	29,8%	1,0%	2,9%	0,0%
Slovakia [SK]	23,3%	52,5%	0,0%	15,2%	6,2%	2,2%	0,6%
Slovenia [SI]	27,9%	35,9%	0,0%	31,5%	1,7%	2,9%	0,1%
Spain [ES]	32,0%	20,6%	22,6%	12,0%	2,5%	9,9%	0,4%
Sweden [SE]	0,8%	30,8%	15,9%	43,0%	7,6%	0,9%	1,0%

Los datos están expresados en porcentaje respecto a la producción total de electricidad de cada país. Se consideran los 27 países de la Unión Europea, expresadas en las filas y las fuentes de producción, expresadas en las columnas. Las fuentes de producción son las siguientes: combustibles fósiles (*Fossil Fuels*), comprendiendo estos petróleo, gas y carbón mayoritariamente, energía nuclear (*Nuclear*), energía eólica (*Wind*), energía hidráulica (*Hydro*), biocombustibles (*Biofuels*), energía solar (*Solar*) y otros (*Others*).

Hay dos consideraciones a tener en cuenta. La primera, en la energía hidráulica, se incluye la hidráulica bombeada, ya que, en ciertos estados miembros, en particular Lituania y Luxemburgo, lleva a un consumo más alto en esta categoría. La segunda, otros (*Others*) incluye energía geotérmica, energía producida a partir de residuos no renovables, energía térmica con calor generado a partir de recursos químicos y otras fuentes.

## 6.2 Análisis de las energías renovables y sus costes

En el siguiente apartado, se va a indagar en las formas de producción de energía eléctrica mediante fuentes renovables con más uso a nivel europeo, y probablemente a nivel mundial. Estas son la energía eólica, la energía hidráulica, los biocombustibles y la energía solar. Realizaremos una breve comparativa basada en los datos

proporcionados por la Tabla 17, y enumeraremos los factores más relevantes para la viabilidad de una instalación de una central de producción de cada una de ellas.

### 6.2.1 Energía eólica

La energía eólica representó el 13.3% de la producción de electricidad en el 2021, lo que la convirtió en la fuente más usada en el campo de las energías renovables.

Principalmente, en la energía eólica existen dos tipos de instalaciones: la *off-shore* y la *on-shore*. La energía eólica off-shore recae en aerogeneradores ubicados en alta mar, donde las altas velocidades de los vientos hacen que la potencia unitaria media sea de alrededor de 6,8 MW. Aun así, este concepto es relativamente nuevo, no está totalmente desarrollado y todavía no posee suficiente peso como para ser una opción rentable. Además, los altos costes de mantenimiento debido a la localización remota de los parques y la dificultad de su ubicación hacen que no sea una apuesta estable [51].

Por otro lado, está la energía eólica on-shore, representando casi toda la producción de energía eólica. A diferencia de la off-shore, se ubican en tierra firme, en sitios estratégicos donde la velocidad del viento sea máxima como zonas costeras o valles. Poseen menor capacidad de potencia instalada, pero son más económicos, accesibles y presentan bajos costes de mantenimiento, radicando ahí su popularidad. Otros aspectos a tener en cuenta, pueden ser el impacto visual y acústico, así como el desarrollo de su tecnología.

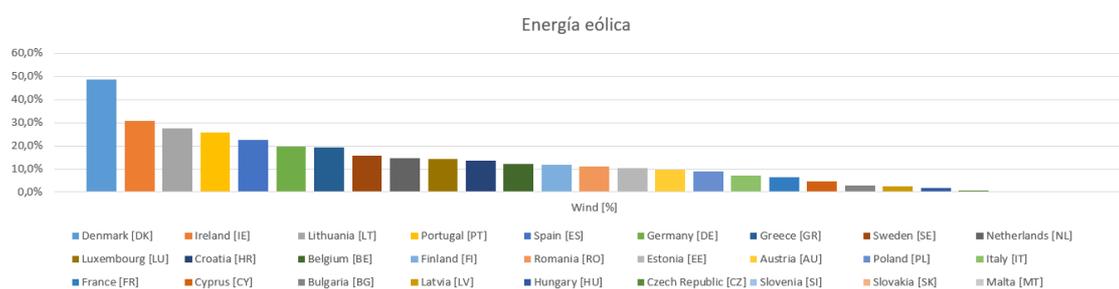


Figura 27. Uso de la energía eólica para la producción de electricidad (Ver Anexo de Figuras).

En lo que respecta al análisis, como se percata en la Figura 27, Dinamarca lidera la producción nacional de electricidad basada en la energía eólica. Esta clasificación no debe considerarse en términos absolutos, ya que responde al propio consumo de cada país. Luego, países como España o Alemania, que ocupan los puestos cuarto y quinto respectivamente, son líderes mundiales en este sector, aunque debido al gran consumo que acarrear, como se mostró en el punto de Ahorro de Energía, el porcentaje de producción no representa su dominio. Así mismo, es sugerente que los nueve primeros países que encabezan el ranking, todos ellos son estados con un litoral bastante extenso y con un relieve suave. Para concluir el estudio, Eslovaquia, Eslovenia y Malta, no hacen uso de este tipo de energía, ya que los tres son países con un territorio no muy extenso y/o con una geografía montañosa que dificulta la instalación de estas.

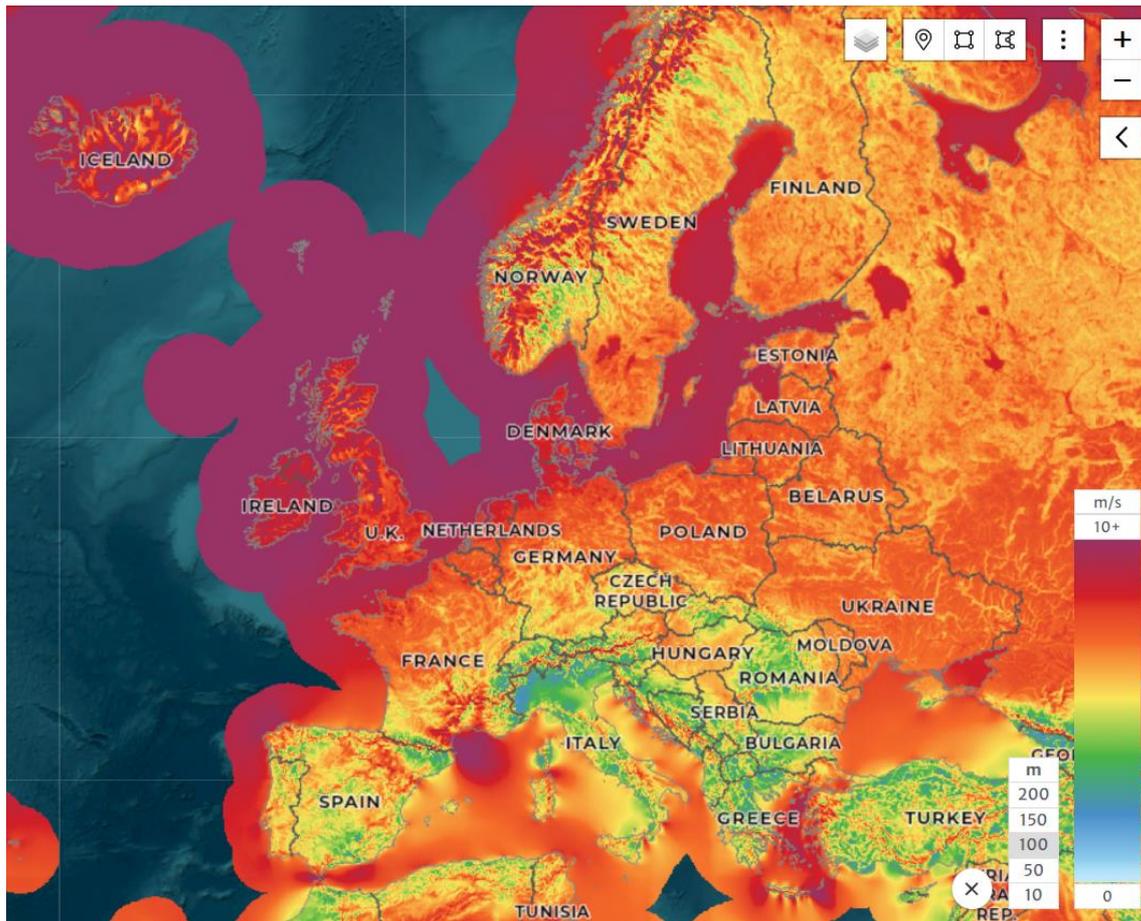


Figura 28. Atlas eólico europeo a 100m sobre el nivel de la superficie escalado con la velocidad del viento en m/s.

Así, finalizado la importancia de la energía eólica, se pasa a enumerar y describir rápidamente los factores a considerar para la ubicación de un parque eólico [52]:

- Viento: Principal factor a observar. Hay que tener en cuenta la intensidad y la frecuencia de los vientos. Áreas con velocidades superiores a 5-6 m/s al menos 2200 horas al año. También hay una relación con la altura del aerogenerador como se puede atisbar en la Figura 28 [53].
- Orografía: Los emplazamientos que a primera vista pueden parecer perfectos para la instalación de un parque eólico pueden no serlo debido a ser áreas montañosas o zonas de difícil acceso. Por ello, es necesario encontrar lugares con orografías suaves.
- Precio del terreno: A tener en consideración dentro de las posibilidades económicas del terreno.
- Zonas protegidas y espacio naturales: Ubicar el parque eólico fuera y lo más lejos posible de parques naturales y zonas protegidas, ya que pudiera ser que los aerogeneradores interfirieran con las rutas migratorias de algunas especies de aves.

## 6.2.2 Energía hidráulica

Con un 12,9%, la energía hidráulica se erigió como la segunda energía renovable con más producción en lo que a energía eléctrica se refiere, en el año 2021. La energía hidráulica basa su producción en aprovechar la transformación de energía potencial a energía cinética del agua, moviendo una turbina y generando electricidad. Así pues, los dos factores más influyentes son el caudal y la altura de salto. A pesar de requerir un gran espacio

energética en Europa bajo el plan REPowerEU

para la construcción de la presa y/o el embalse, las alteraciones que puede tener en el ecosistema, y la dependencia de las precipitaciones, se considera una de las energías de producción más estables y usadas para la producción de consumo eléctrico [54].

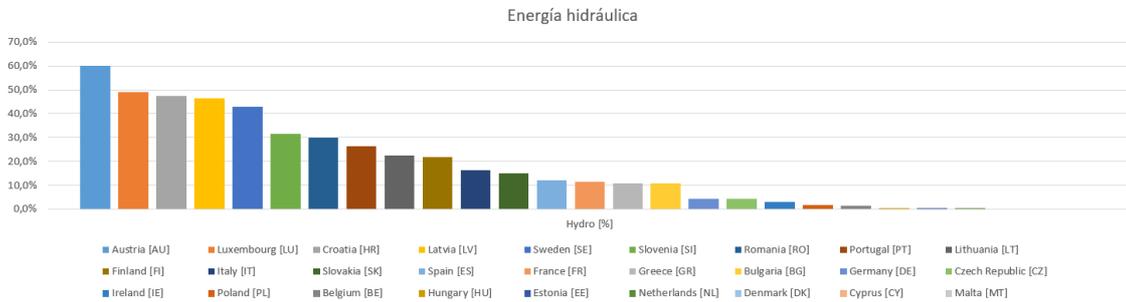


Figura 29. Uso de la energía hidráulica para la producción de electricidad (Ver Anexo de Figuras).

A nivel europeo, Austria, Luxemburgo y Croacia forman el podio de la producción eléctrica de la energía hidráulica. Austria, debido a que es un país montañoso, goza de numerosos accidentes fluviales como pueden ser ríos o cascadas. La plata de Luxemburgo se debe a que dentro de la energía hidráulica existe un tipo denominado hidroeléctrica de bombeo, que consiste en bombear el agua desde un embalse inferior a uno superior en horas valle, para producir energía de la manera ortodoxa en los momentos de mayor demanda [55]. Este procedimiento es muy usado en países que por diferentes motivos no cuentan con las características necesarias para producción tradicional, como Luxemburgo o Lituania. Como contrapeso, la energía hidráulica carece de presencia en tres países (Dinamarca, Chipre y Malta), ya que como se ha comentado en el primer párrafo se precisa de espacio adecuado y un accidente fluvial (río, embalse, ...) en torno al cual construir la presa.

6.2.3 Biocombustibles

Avanzando con el estudio de las energías renovables, nos topamos con una fuente de energía, quizás no tan popular como las tres restantes, pero bastante efectiva a la hora de producir electricidad, generando un 5,8% en el 2021. Y es que los biocombustibles, combustibles obtenidos a partir de recursos naturales o residuos orgánicos, ya sean de origen animal o vegetal (biomasa), suponen una alternativa más ecológica al proceder de residuos sometidos a procesos termoquímicos, como la combustión, o bioquímicos, como la anaerobia o la fermentación [56].

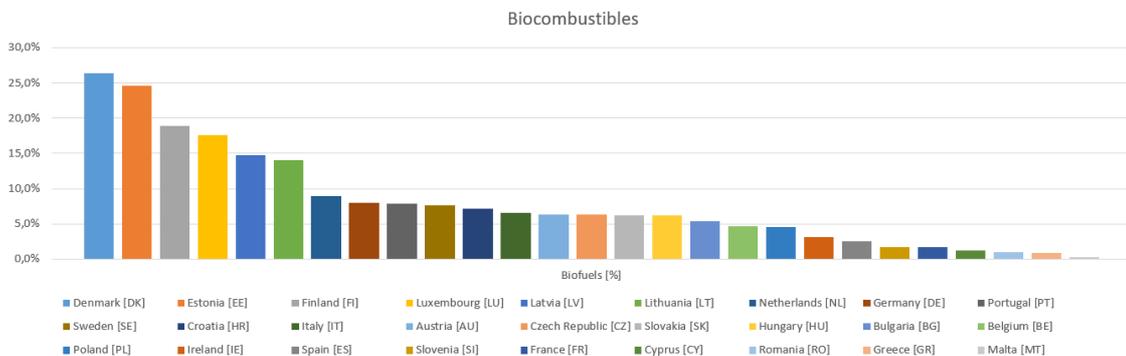


Figura 30. Uso de los biocombustibles para la producción de electricidad (Ver Anexo de Figuras).

Atendiendo a la gráfica de la Figura 30, resalta la tendencia de que los estados que ocupan las primeras posiciones son países nórdicos (Dinamarca, Estonia, Finlandia, ...), donde la tecnología en este tipo de técnicas está más avanzada y puede existir la imposibilidad de emplear otras fuentes por escasez del recurso, como puede ser la energía solar. En contrapartida, cabría la posibilidad de que esta hipótesis fuera cierta, ya que los países en el fondo de la clasificación son naciones de ámbito sureño como pueden ser Rumanía, Grecia o Malta.

Aunque es una disyuntiva a los combustibles fósiles, y refuerza la idea de la economía circular y el reciclaje, varios grupos ecologistas afirman un gran impacto medioambiental que supone, ya que el terreno dedicado a la obtención de estos podría ser destinado a la plantación de cultivos, lo que contrarrestaría las emisiones de CO2 y proporcionaría más alimentos [57].

## 6.2.4 Energía solar

Sorprendentemente, la energía solar produce solo un 5,6% de la energía eléctrica consumida en Europa. Esto es debido al corto recorrido del desarrollo de su tecnología y a que, hasta hace poco, estaba enfocada a aplicaciones térmicas, no eléctricas. En este objetivo, se analiza el uso de energía renovables a la producción de electricidad. Se recuerda que, dentro de la energía solar, existen tres tipos. La energía solar térmica, cuya finalidad es obtener la energía del Sol para transformarla en calor. Este tipo fue la pionera en el campo de la solar, por lo que tiene más recorrido que las otras dos, pero desafortunadamente, no está enfocada a la producción directa de energía eléctrica. Las otras dos, la energía solar fotovoltaica y termoeléctrica, desarrolladas posteriormente, si tienen un mayor enfoque, aunque se encuentren en auge y todavía no se han consolidado, ahí la poca participación en el mix eléctrico [58].

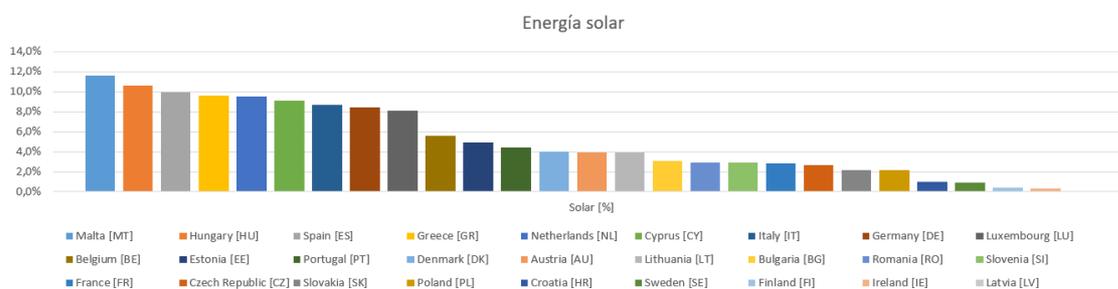


Figura 31. Uso de la energía solar para la producción de electricidad (Ver Anexo de Figuras).

A diferencia de los biocombustibles, la energía solar tiene bastante aceptación el sur de Europa, aunque el poco desarrollo de esta hace que Malta, el primer país en la lista, considere solo un 11,6% en la producción de electricidad. Como ocurría con otras energías como la eólica, el gráfico no representa el cómputo global de energía producida, ya que los países punteros son Alemania, Italia, Países Bajos y España, pero debido a sus altos consumos, su porcentaje no es tan grande.

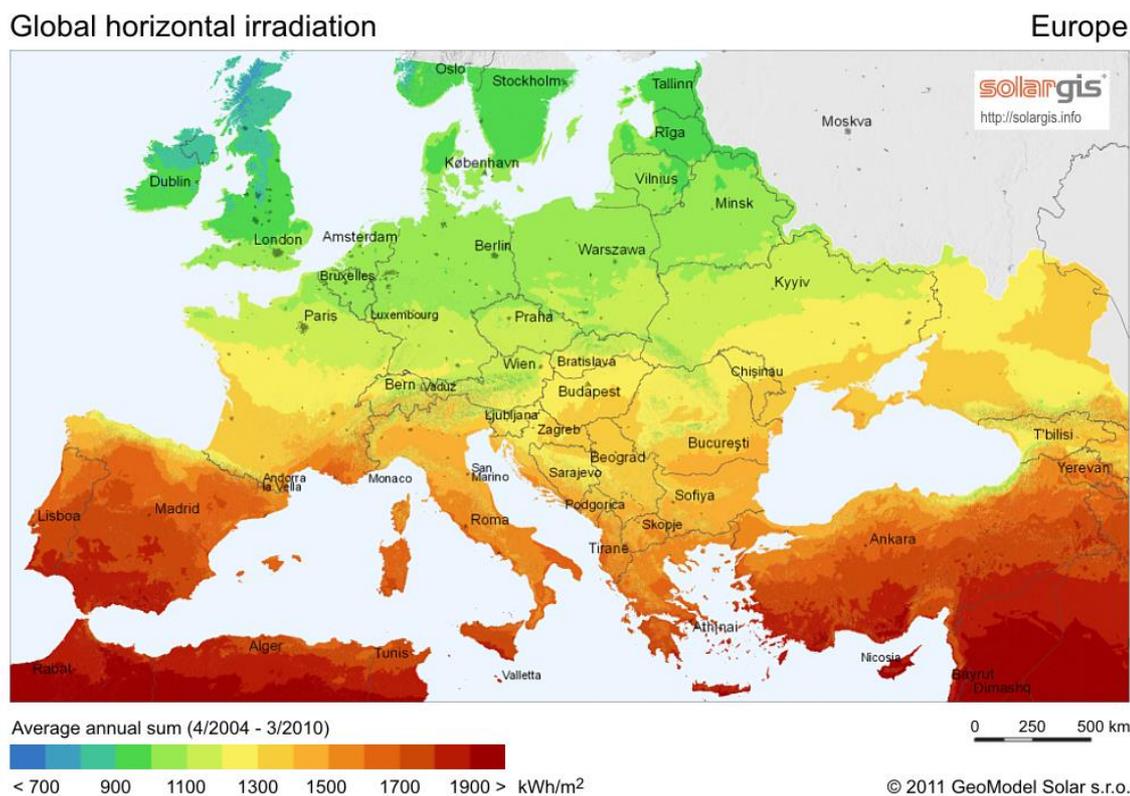


Figura 32. Irradiación global horizontal en Europa.

En relación con los aspectos a tener en cuenta en la construcción de un parque fotovoltaico son los siguientes:

- Irradiación solar: A medida que se desciende en latitud y se aproxima al ecuador, los rayos del Sol son más perpendiculares por lo que la radiación es más directa. Por ello, es un factor importante dependiendo de la situación geográfica, como se atiende en la Figura 32 [59].
- Capacidad instalada: No importa la radiación que reciba si la instalación no está capacitada debidamente, ya que si está no es capaz de aprovechar toda la energía proporcionada por el Sol, la radiación que este emita será inocua. Por ejemplo, Alemania, país que a priori no posee una posición geográfica favorable, es líder en energía solar, ya que tiene una capacidad instalada mucho superior que los demás países, permitiéndole aprovechar el máximo de esta energía. En el caso contrario se encuentra España, el país europeo con la ración solar más alta, pero debido a su novel desarrollo, no tiene una capacidad que le permita liderar [60].
- Orientación: Debido a que Europa se encuentra en el hemisferio norte, la orientación adecuada es la sur, ya que, con esta orientación, se aprovecharía el máximo de horas de Sol posible.
- Orografía: El terreno debe ser lo más plano posible para evitar sombras debido al relieve que puede ocasionar sombras y dejar equipos inutilizados.

### 6.2.5 Cálculos de costes diarios (Pool eléctrico)

Aunque este punto esté orientado a la gestión y el análisis de las energías renovables, resulta sugestivo la explicación de la gestión de la compraventa de la electricidad en Europa, ya que es desconocido para la mayoría de los consumidores y posee una estrecha relación con este objetivo.

España pertenece al mercado de compraventa eléctrico europeo cuyo precio es €/MWh, y por tanto hasta 2030 tiene que adherirse al marco regulatorio europeo, que es marginalista, a menos que quiera convertirse en una

isla, eléctricamente hablando. Nos referiremos a España, pero es aplicable a la mayoría de los mercados marginalistas [61].

El pool eléctrico (*pool* en inglés, en esta definición significa mancomunidad o consorcio) es el procedimiento diario que se realiza entre empresas productoras de electricidad y distribuidoras de electricidad (pueden tener el mismo nombre, pero legalmente son dos entidades distintas).

En la península ibérica (España y Portugal peninsulares), la gestión del sistema eléctrico diario e intradiario está delegado a la OMIE (Operador del Mercado Ibérico de Energía). Su función es fijar el precio horario de la electricidad para el mercado mayorista de la zona, que es marginalista, al igual que el resto de la UE.

### Explicación del procedimiento

Cada día, la Red Eléctrica Española (REE) estima la demanda de electricidad, dividida en 24 tramos horarios para el día siguiente, y esta es informada a los productores. La OMIE establece precios con ayuda del algoritmo EUPHEMIA que se basa en el método marginalista que se explica en el siguiente ejemplo.

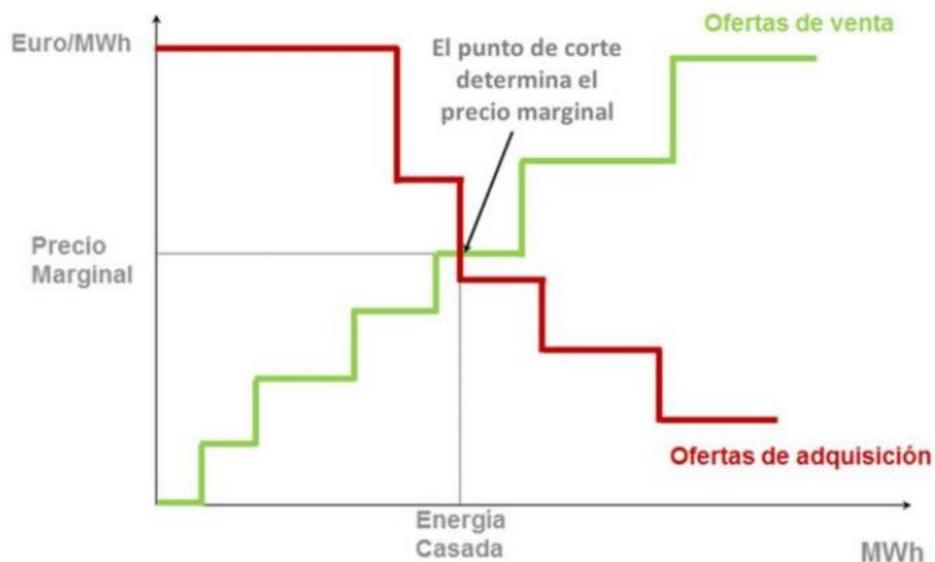


Figura 33. Gráfica demostrativa del método marginalista.

### Ejemplo

Imagine que las necesidades de consumo para un tramo horario en la península ibérica un día X entre las 20:00 y las 21:00 son de 60.000 MWh. Hay tres empresas productoras que ofertan precios y usted es la única empresa distribuidora, que ejerce de comprador.

Las empresas productoras hacen sus ofertas, conocida la demanda:

- Empresa A: 20.000 MWh a 0 €/hora y 5.000 MWh a 100 €/hora.
- Empresa B: 17.000 MWh a 0 €/hora y 10.000 MWh a 80 €/hora.
- Empresa C: 15.000 MWh a 0 €/hora y 8.000 MWh a 95 €/hora.

Las empresas entre sí desconocen los precios ofertados por las otras.

Entonces, primero se adquirirán los tramos a 0 €/hora de las tres empresas pujantes, lo que daría una suma de

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

52.000 MWh. Faltarían 8.000 MWh, que se cogerían de los 10.000 ofrecidos por la Empresa B, que es más barata, con 80 €/hora. Pero finalmente, a todas las empresas (que prestan su servicio) se les pagaría 80 €/MWh. Esto es una simplificación, ya que solo hay un comprador, pero en el caso de haber varios, se fijaría el precio en el intervalo más alto que un comprador esté dispuesto a pagar.

Es llamativo que gran parte de la oferta haya sido a precio cero, y esto es debido a que las centrales nucleares no pueden encenderse y apagarse a voluntad, por ello las empresas buscan asegurarse de que esa energía va a ser adquirida, en cualquier caso. Algo parecido ocurre con las renovables, ya que su producción no depende de la demanda.

Y es que, al contrario de lo que pueda comentar la opinión pública, el hecho de que el precio de la última oferta (la más cara) sea la que fije el precio de todas las ofertas previas, no significa que el precio mínimo que ofertan los productores sea el coste de generación de dicha energía. Las ofertas se realizan a coste de oportunidad, no de producción.

### Características de la producción de energía

Así, cada fuente de energía tiene sus propias características de variabilidad y producción. Las centrales nucleares producen la misma cantidad de electricidad todos los días y operan a capacidad nominal, por lo que tienen que vender esa energía en el día, al igual que la solar y la eólica. Ambas dependen del sol, que tiene un ciclo marcado, y el viento, que presenta una gran variabilidad y con una potencia instalada cuatro veces mayor, por lo que en promedio produce lo mismo que las centrales nucleares, como se puede observar en la Figura 34.

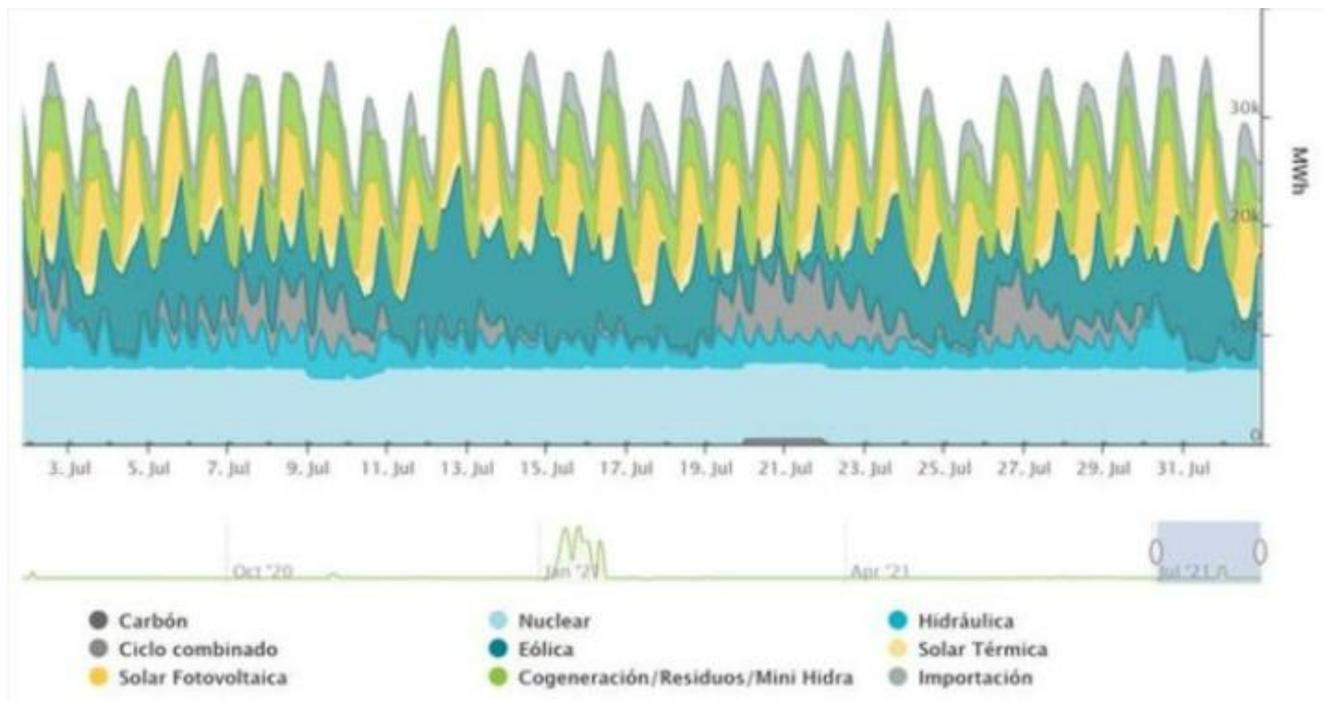


Figura 34. Gráfica de la producción de energía durante julio del 2021.

### Interconexiones

Las interconexiones también son muy importantes, ya que, dentro del mercado europeo, los países se pueden comprar y vender electricidad unos a otros. Desafortunadamente, en el caso de España, la interconexión con Francia es pequeña. El motivo es que los municipios pirenaicos se opusieron a la instalación de tendidos

eléctricos de alta tensión en sus territorios. Por ello, el intercambio de electricidad de la península con Francia y el resto de Europa es muy limitada. Mejores interconexiones abarataría los precios, como es el caso de Alemania, que a pesar de en la actualidad no contar con la energía nuclear en su mix, le compra electricidad a Francia, la cual produce alrededor del 70% a partir de esta fuente.

### Consideraciones

La utilización del método marginalista puede causar controversia ya que probablemente no sea el óptimo para el consumidor, pero varios estudios demuestran que a largo plazo es eficiente, ya que en intervalos largos de tiempo llevaría a precios de compra más bajos.

## 6.3 Resultados

Después del análisis realizado, se procede a la resolución del modelo planteado para calcular el mix energético ideal. A causa de la complejidad para la determinación de los costes de las distintas energías que lo conforman, se optó por plantear el modelo y resolverlo con unos costes aleatorios, para demostrar la validez del modelo, expuestos en la Tabla 18 y en la Figura 35.

Tabla 18. Solución y datos (costes aleatorios) mostrados en el Excel (Ver Anexo de Tablas).

xij	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]
1 Austria [AU]	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	40.0%	0.0%	55.0%
2 Belgium [BE]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	40.0%	5.0%	55.0%
3 Bulgaria [BG]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	95.0%	0.0%
4 Croatia [HR]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%
5 Cyprus [CY]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	40.0%	55.0%
6 Czech Republic [CZ]	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	95.0%	0.0%
7 Denmark [DK]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	40.0%	55.0%
8 Estonia [EE]	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%
9 Finland [FI]	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	40.0%	55.0%
10 France [FR]	0.0%	55.0%	0.0%	5.0%	40.0%	0.0%	0.0%
11 Germany [DE]	0.0%	0.0%	95.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%
12 Greece [GR]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%
13 Hungary [HU]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	95.0%	0.0%
14 Ireland [IE]	0.0%	55.0%	0.0%	0.0%	40.0%	5.0%	0.0%
15 Italy [IT]	0.0%	55.0%	0.0%	0.0%	40.0%	5.0%	0.0%
16 Latvia [LV]	0.0%	55.0%	40.0%	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%
17 Lithuania [LT]	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%	0.0%
18 Luxembourg [LU]	0.0%	0.0%	0.0%	5.0%	95.0%	0.0%	0.0%
19 Malta [MT]	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%
20 Netherlands [NL]	0.0%	0.0%	95.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%
21 Poland [PL]	0.0%	0.0%	5.0%	95.0%	0.0%	0.0%	0.0%
22 Portugal [PT]	0.0%	0.0%	40.0%	5.0%	0.0%	0.0%	55.0%
23 Romania [RO]	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%	0.0%	0.0%
24 Slovakia [SK]	0.0%	0.0%	5.0%	0.0%	95.0%	0.0%	0.0%
25 Slovenia [SI]	0.0%	0.0%	0.0%	95.0%	5.0%	0.0%	0.0%
26 Spain [ES]	55.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%	40.0%	0.0%
27 Sweden [SE]	0.0%	0.0%	95.0%	0.0%	5.0%	0.0%	0.0%

Cij	Fossil fuels	Nuclear	Wind	Hydro	Biofuels	Solar	Other
Austria [AU]	0.93	0.37	0.89	0.46	0.14	0.91	0.03
Belgium [BE]	0.36	0.70	0.79	0.56	0.41	0.46	0.10
Bulgaria [BG]	0.66	0.17	0.89	0.95	0.22	0.17	0.83
Croatia [HR]	0.33	0.65	0.87	0.83	0.28	0.35	0.79
Cyprus [CY]	0.09	0.99	0.94	0.81	0.51	0.15	0.05
Czech Republic [CZ]	0.96	0.49	0.62	0.99	0.83	0.49	0.79
Denmark [DK]	0.73	0.39	0.94	0.60	0.56	0.39	0.05
Estonia [EE]	0.63	0.11	0.02	0.07	0.64	0.99	0.76
Finland [FI]	0.54	0.14	0.66	0.43	0.46	0.09	0.05
France [FR]	0.40	0.07	0.16	0.15	0.11	0.80	0.77
Germany [DE]	0.44	0.56	0.05	0.83	0.90	0.28	0.49
Greece [GR]	0.17	0.55	0.42	0.98	0.16	0.24	0.24
Hungary [HU]	0.87	0.78	0.75	0.83	0.19	0.10	0.44
Ireland [IE]	0.74	0.12	0.82	0.92	0.13	0.55	0.32
Italy [IT]	0.51	0.09	0.56	0.95	0.33	0.37	0.64
Latvia [LV]	0.28	0.10	0.69	0.94	0.82	0.71	0.73
Lithuania [LT]	0.39	0.69	0.78	0.04	0.08	0.67	0.07
Luxembourg [LU]	0.91	0.99	0.11	0.10	0.02	1.00	0.22
Malta [MT]	0.36	0.12	0.25	0.79	0.04	0.21	0.74
Netherlands [NL]	0.26	0.88	0.03	0.50	0.14	0.77	0.97
Poland [PL]	0.80	0.65	0.11	0.03	0.61	0.97	0.89
Portugal [PT]	0.32	0.30	0.20	0.45	0.67	0.82	0.01
Romania [RO]	0.60	0.84	0.20	0.77	0.85	0.80	0.86
Slovakia [SK]	0.37	0.35	0.14	0.65	0.03	0.18	0.16
Slovenia [SI]	0.55	0.54	0.95	0.10	0.52	0.53	0.27
Spain [ES]	0.15	0.89	0.70	0.86	0.99	0.17	0.56
Sweden [SE]	0.31	0.26	0.15	0.83	0.26	0.84	0.98

```

Model :
Sets : !-----;
Países/@OLE('TFG3.xlsx','Países')/;;
Energías/@OLE('TFG3.xlsx','Energías')/;;
Doble(Países,Energías):Costes,Variables,alfa,AlfaRe;
Endsets !-----;
Data : !-----;
!DATOS;
Costes=@OLE('TFG3.xlsx','Cij');
!VARIABLES;
@OLE('TFG3.xlsx','xij')=Variables;
EndData !-----;
    
```

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

```

!----- RESTRICCIONES -----;
@for (Países (i) :
    [TOTAL] @sum (Energias (j) : Variables (i, j)) = 1;
);
@for (Países (i) :
    [RENEW] @sum (Energias (j) | j #GE# 3 #AND# j #LE# 6: Variables (i, j)) >=
0.45;
);
@for (Doble (i, j) :
    [RAux1] Variables (i, j) = @sum (Energias (j) : AlfaRe (i, j));
);
@for (Países (i) :
    [RAux2] @sum (Energias (j) | j #GE# 3 #AND# j #LE# 6: alfa (i, j)) = 2;
);
@for (Doble (i, j) :
    [RAux3] 0.05*alfa (i, j) <= AlfaRe (i, j);
);

!----- FUNCION OBJETIVO -----;
FuncObj = @sum (Doble (i, j) : Costes (i, j)*Variables (i, j));

Min = FuncObj;

Data:
@OLE ('TFG3.xlsx', 'FO')=FuncObj;
EndData

!----- DEFINIR LAS VARIABLES ENTERAS Y BINARIAS -----;
@for (Doble: @BIN (alfa));

End

```

Figura 35. Modelo matemático programado en Lingo.

Con ayuda de una hoja de cálculo Excel y el programa de resolución Lingo (usado también en el punto anterior), se ha determinado la efectividad del modelo, puesto a disposición de futuros trabajos donde se pueda profundizar en la determinación y el cálculo de los costes.

El modelo está resuelto, sin embargo, los resultados de este no nos aportan ninguna rigurosidad para atenernos al devenir de las renovables, ya que son costes ficticios que no se alinean con la verdad. Es por ello, que se procedió a buscar una opción que sirviera de propuesta para este objetivo. En el apartado caso de estudio, se conformó una tabla con los datos de los porcentajes de la producción de electricidad para el año 2021. Aparte del análisis de las energías renovables, se podría emplear para determinar cómo se sitúan los países respecto al objetivo y proponer guías de mejora para el alcance de este, a aquellos países que todavía no lo han logrado.

Tabla 19. Particularización al tercer objetivo.

2021	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]	Renewable [%]	
Luxembourg [LU]	7,8%	0,0%	14,2%	49,1%	17,6%	8,1%	3,2%	89,0%	
Austria [AU]	19,1%	0,0%	9,5%	60,1%	6,3%	3,9%	1,1%	79,8%	
Denmark [DK]	18,6%	0,0%	48,6%	0,0%	26,4%	4,0%	2,4%	79,0%	
Croatia [HR]	30,1%	0,0%	13,6%	47,5%	7,2%	1,0%	0,6%	69,3%	
Lithuania [LT]	26,9%	0,0%	27,6%	22,4%	14,0%	3,9%	5,2%	67,9%	
Sweden [SE]	0,8%	30,8%	15,9%	43,0%	7,6%	0,9%	1,0%	67,4%	
Portugal [PT]	34,5%	0,0%	25,9%	26,4%	7,9%	4,4%	0,9%	64,6%	
Latvia [LV]	36,4%	0,0%	2,4%	46,3%	14,7%	0,1%	0,1%	63,5%	
Finland [FI]	13,3%	32,8%	11,8%	22,0%	18,9%	0,4%	0,8%	53,1%	<b>GOAL</b>
Spain [ES]	32,0%	20,6%	22,6%	12,0%	2,5%	9,9%	0,4%	47,0%	<b>45%</b>
Romania [RO]	36,2%	19,0%	11,1%	29,8%	1,0%	2,9%	0,0%	44,8%	0,2%
Greece [GR]	59,4%	0,0%	19,2%	10,9%	0,9%	9,6%	0,0%	40,6%	4,4%
Germany [DE]	46,8%	11,8%	19,5%	4,3%	8,0%	8,4%	1,2%	40,2%	4,8%
Estonia [EE]	58,8%	0,0%	10,2%	0,3%	24,6%	4,9%	1,2%	40,0%	5,0%
Italy [IT]	58,1%	0,0%	7,3%	16,5%	6,6%	8,7%	2,8%	39,1%	5,9%
Ireland [IE]	61,7%	0,0%	30,7%	3,2%	3,1%	0,3%	1,0%	37,3%	7,7%
Slovenia [SI]	27,9%	35,9%	0,0%	31,5%	1,7%	2,9%	0,1%	36,1%	8,9%
Netherlands [NL]	61,9%	3,1%	14,8%	0,1%	8,9%	9,5%	1,7%	33,3%	11,7%
Belgium [BE]	24,7%	50,3%	12,0%	1,4%	4,7%	5,6%	1,3%	23,7%	21,3%
Slovakia [SK]	23,3%	52,5%	0,0%	15,2%	6,2%	2,2%	0,6%	23,6%	21,4%
France [FR]	8,4%	68,4%	6,6%	11,5%	1,7%	2,8%	0,6%	22,6%	22,4%
Bulgaria [BG]	43,1%	34,7%	3,0%	10,7%	5,4%	3,1%	0,0%	22,2%	22,8%
Hungary [HU]	35,6%	44,4%	1,8%	0,6%	6,2%	10,6%	0,8%	19,2%	25,8%
Poland [PL]	82,2%	0,0%	9,0%	1,7%	4,5%	2,2%	0,4%	17,4%	27,6%
Cyprus [CY]	84,9%	0,0%	4,8%	0,0%	1,2%	9,1%	0,0%	15,1%	29,9%
Czech Republic [CZ]	49,7%	36,2%	0,7%	4,3%	6,3%	2,7%	0,1%	14,0%	31,0%
Malta [MT]	88,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,3%	11,6%	0,0%	11,9%	33,1%

La Tabla 19, muestra los datos recogidos en el caso de estudio, pero esta vez, se ha adjuntado una columna con el sumatorio de las energías renovables para ver si los países cumplen con el mínimo del 45% impuesto por la UE. El sumatorio comprende la energía eólica, la energía hidráulica, los biocombustibles y la energía solar. La columna “Otros” no ha sido incluida en la suma debido a que presenta una agregación de ambos tipos, por lo que se ha optado por dejarla al margen. Se puede afirmar que Luxemburgo, Austria, Dinamarca, Croacia, Lituania, Suecia, Portugal, Letonia, Finlandia y España cumplen con el precepto por lo que no habría que realizar modificación ninguna en su mix. El resto de los países deben disminuir su consumo en combustibles fósiles y/o nuclear y aumentarlo en cualquiera de las renovables en el porcentaje expresado en la última columna, a la derecha de la tabla.

## energética en Europa bajo el plan REPowerEU

Tabla 20. Porcentajes referidos al mix energético renovable.

2021	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	
Romania [RO]	24,8%	66,5%	2,2%	6,5%	100%
Greece [GR]	47,3%	26,8%	2,2%	23,6%	100%
Germany [DE]	48,5%	10,7%	19,9%	20,9%	100%
Estonia [EE]	25,5%	0,8%	61,5%	12,3%	100%
Italy [IT]	18,7%	42,2%	16,9%	22,3%	100%
Ireland [IE]	82,3%	8,6%	8,3%	0,8%	100%
Slovenia [SI]	0,0%	87,3%	4,7%	8,0%	100%
Netherlands [NL]	44,4%	0,3%	26,7%	28,5%	100%
Belgium [BE]	50,6%	5,9%	19,8%	23,6%	100%
Slovakia [SK]	0,0%	64,4%	26,3%	9,3%	100%
France [FR]	29,2%	50,9%	7,5%	12,4%	100%
Bulgaria [BG]	13,5%	48,2%	24,3%	14,0%	100%
Hungary [HU]	9,4%	3,1%	32,3%	55,2%	100%
Poland [PL]	51,7%	9,8%	25,9%	12,6%	100%
Cyprus [CY]	31,8%	0,0%	7,9%	60,3%	100%
Czech Republic [CZ]	5,0%	30,7%	45,0%	19,3%	100%
Malta [MT]	0,0%	0,0%	2,5%	97,5%	100%

En consecuencia, se ha intentado hallar cuál era el método más idóneo para cuantificar el aumento de las renovables. A causa de la complejidad que resulta estimar el cálculo de las energías y partiendo de la premisa de que no sabemos las tendencias energéticas en las que derivarán los países, ya que dependen de parámetros incalculables para un estudiante de grado. Por consiguiente, se ha optado por seguir la tendencia de la utilización de energías renovables que reflejan los datos del caso de estudio y adaptarlos a los porcentajes de incremento dados. Entonces, el primer paso a dar es la determinación del mix energético renovable. Se calculan los porcentajes de los cuatro tipos de energías renovables cogiendo el cociente del porcentaje de dicha energía en el mix total y el sumatorio de porcentajes de las energías renovables de los países que no han superado la criba, resultando la Tabla 20.

Tabla 21. Cambios respecto a la situación inicial.

2021	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]
Romania [RO]	-0,2%	0,0%	0,0%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%
Greece [GR]	-4,4%	0,0%	2,1%	1,2%	0,1%	1,0%	0,0%
Germany [DE]	-4,8%	0,0%	2,3%	0,5%	1,0%	1,0%	1,2%
Estonia [EE]	-5,0%	0,0%	1,3%	0,0%	3,1%	0,6%	1,2%
Italy [IT]	-5,9%	0,0%	1,1%	2,5%	1,0%	1,3%	2,8%
Ireland [IE]	-7,7%	0,0%	6,3%	0,7%	0,6%	0,1%	1,0%
Slovenia [SI]	-8,9%	0,0%	0,0%	7,8%	0,4%	0,7%	0,1%
Netherlands [NL]	-11,7%	0,0%	5,2%	0,0%	3,1%	3,4%	1,7%
Belgium [BE]	-21,3%	0,0%	10,8%	1,3%	4,2%	5,0%	1,3%
Slovakia [SK]	-21,4%	0,0%	0,0%	13,8%	5,6%	2,0%	0,6%
France [FR]	-8,4%	-14,0%	6,5%	11,4%	1,7%	2,8%	0,6%
Bulgaria [BG]	-22,8%	0,0%	3,1%	11,0%	5,5%	3,2%	0,0%
Hungary [HU]	-25,8%	0,0%	2,4%	0,8%	8,3%	14,3%	0,8%
Poland [PL]	-27,6%	0,0%	14,3%	2,7%	7,1%	3,5%	0,4%
Cyprus [CY]	-29,9%	0,0%	9,5%	0,0%	2,4%	18,0%	0,0%
Czech Republic [CZ]	-31,0%	0,0%	1,6%	9,4%	14,0%	6,0%	0,1%
Malta [MT]	-33,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,8%	32,3%	0,0%

Precisados estos, multiplicamos el porcentaje de incremento de cada país por cada uno de los porcentajes de cada energía renovable, lo que dará qué porcentaje debe aumentar la energía x en el país x, en disposición de la tabla inicial de datos. De igual manera, se reducen los porcentajes de combustibles fósiles y de nuclear, en ese orden. Es especial el caso de Francia, ya que utiliza más energía nuclear que renovable, por lo que de los 22,4 puntos que debe reducir, 8,4 serán de energía derivada de combustibles fósiles y 14 serán de energía nuclear. Todos estos cambios son apreciados en la Tabla 21.

Tabla 22. Nueva situación del mix eléctrico.

2021	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]	Renewable [%]
Austria [AU]	19,1%	0,0%	9,5%	60,1%	6,3%	3,9%	1,1%	79,8%
Belgium [BE]	3,4%	50,3%	22,8%	2,7%	8,9%	10,6%	2,6%	45,0%
Bulgaria [BG]	20,3%	34,7%	6,1%	21,7%	10,9%	6,3%	0,0%	45,0%
Croatia [HR]	30,1%	0,0%	13,6%	47,5%	7,2%	1,0%	0,6%	69,3%
Cyprus [CY]	55,0%	0,0%	14,3%	0,0%	3,6%	27,1%	0,0%	45,0%
Czech Republic [CZ]	18,7%	36,2%	2,3%	13,7%	20,3%	8,7%	0,2%	45,0%
Denmark [DK]	18,6%	0,0%	48,6%	0,0%	26,4%	4,0%	2,4%	79,0%
Estonia [EE]	53,8%	0,0%	11,5%	0,3%	27,7%	5,5%	2,4%	45,0%
Finland [FI]	13,3%	32,8%	11,8%	22,0%	18,9%	0,4%	0,8%	53,1%
France [FR]	0,0%	54,4%	13,1%	22,9%	3,4%	5,6%	1,2%	45,0%
Germany [DE]	42,0%	11,8%	21,8%	4,8%	9,0%	9,4%	2,4%	45,0%
Greece [GR]	55,0%	0,0%	21,3%	12,1%	1,0%	10,6%	0,0%	45,0%
Hungary [HU]	9,8%	44,4%	4,2%	1,4%	14,5%	24,9%	1,6%	45,0%
Ireland [IE]	54,0%	0,0%	37,0%	3,9%	3,7%	0,4%	2,0%	45,0%
Italy [IT]	52,2%	0,0%	8,4%	19,0%	7,6%	10,0%	5,6%	45,0%
Latvia [LV]	36,4%	0,0%	2,4%	46,3%	14,7%	0,1%	0,1%	63,5%
Lithuania [LT]	26,9%	0,0%	27,6%	22,4%	14,0%	3,9%	5,2%	67,9%
Luxembourg [LU]	7,8%	0,0%	14,2%	49,1%	17,6%	8,1%	3,2%	89,0%
Malta [MT]	55,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1,1%	43,9%	0,0%	45,0%
Netherlands [NL]	50,2%	3,1%	20,0%	0,1%	12,0%	12,9%	3,4%	45,0%
Poland [PL]	54,6%	0,0%	23,3%	4,4%	11,6%	5,7%	0,8%	45,0%
Portugal [PT]	34,5%	0,0%	25,9%	26,4%	7,9%	4,4%	0,9%	64,6%
Romania [RO]	36,0%	19,0%	11,1%	30,0%	1,0%	2,9%	0,0%	45,0%
Slovakia [SK]	1,9%	52,5%	0,0%	29,0%	11,8%	4,2%	1,2%	45,0%
Slovenia [SI]	19,0%	35,9%	0,0%	39,3%	2,1%	3,6%	0,2%	45,0%
Spain [ES]	32,0%	20,6%	22,6%	12,0%	2,5%	9,9%	0,4%	47,0%
Sweden [SE]	0,8%	30,8%	15,9%	43,0%	7,6%	0,9%	1,0%	67,4%

Finalmente, se realizan los cálculos pertinentes para mostrar la Tabla X, la cual cumple la principal medida de este objetivo, y se puede considerar una propuesta válida como hoja de referencia para aquellos países que tienen que modificar su mix para procurar que se vayan dando los pasos oportunos para la transición energética.

# 7 CONCLUSIONES

---

*En medio de la dificultad reside la oportunidad*

Albert Einstein, 1879-1955

**T**erminado el estudio de los tres objetivos, es el momento de plasmar las conclusiones obtenidas de las diversas aplicaciones de la investigación operativa durante la realización de este trabajo para entender la intención y la labor de la Unión Europea al proponer el Plan REPowerEU para analizar y gestionar la crisis energética en Europa.

## 7.1 Conclusiones del primer objetivo

Examinando la Tabla 23, la primera conclusión que salta a la vista es como el modelo DEA califica de eficientes (países marcados en amarillo) a aquellos países con baja diversificación. Esto puede deberse a que en cada dimensión el DEA coge cada una de las fuentes de energía (entradas) y las compara con la salida (PIB), por lo que aquellos países que tengan un bajo consumo en algún tipo de energía tienen una alta probabilidad de pertenecer a la frontera eficiente.

Tabla 23. Análisis de conclusiones del primer objetivo.

2020	Diversification	2020	Consumption [Mtoe]	2020	GDP [M€]
Slovakia [SK]	0,7684	Germany [DE]	262,1	Germany [DE]	2.876.736,53
Bulgaria [BG]	0,7529	France [FR]	207,95	France [FR]	2.061.682,97
Czech Republic [CZ]	0,7288	Italy [IT]	132,32	Italy [IT]	1.485.669,47
Romania [RO]	0,7110	Spain [ES]	105,03	Spain [ES]	1.051.257,36
Hungary [HU]	0,7094	Poland [PL]	96,86	Netherlands [NL]	698.566,39
Slovenia [SI]	0,7076	Netherlands [NL]	58,47	Poland [PL]	486.243,75
Finland [FI]	0,6934	Belgium [BE]	43,88	Sweden [SE]	443.156,84
Germany [DE]	0,6808	Sweden [SE]	41,28	Belgium [BE]	391.878,18
Lithuania [LT]	0,6369	Czech Republic [CZ]	37,59	Austria [AU]	315.809,75
Croatia [HR]	0,6324	Austria [AU]	30,93	Ireland [IE]	310.625,01
Austria [AU]	0,6218	Romania [RO]	30,93	Denmark [DK]	278.852,12
Spain [ES]	0,6108	Finland [FI]	29,9	Finland [FI]	200.126,08
Poland [PL]	0,6108	Hungary [HU]	23,89	Czech Republic [CZ]	186.074,54
France [FR]	0,6058	Portugal [PT]	19,5	Portugal [PT]	176.060,04
Belgium [BE]	0,5968	Greece [GR]	19,24	Romania [RO]	174.346,12
Denmark [DK]	0,5785	Bulgaria [BG]	17,19	Greece [GR]	173.747,94
Italy [IT]	0,5765	Denmark [DK]	15,38	Hungary [HU]	124.366,07
Latvia [LV]	0,5640	Slovakia [SK]	15,18	Slovakia [SK]	84.051,24
Portugal [PT]	0,5574	Ireland [IE]	13,46	Luxembourg [LU]	51.127,98
Greece [GR]	0,5466	Croatia [HR]	7,76	Croatia [HR]	47.399,37
Ireland [IE]	0,5418	Lithuania [LT]	6,23	Bulgaria [BG]	44.559,00
Sweden [SE]	0,5279	Slovenia [SI]	6,15	Slovenia [SI]	41.372,30
Estonia [EE]	0,5073	Estonia [EE]	4,31	Lithuania [LT]	39.256,96
Netherlands [NL]	0,5036	Latvia [LV]	4,26	Latvia [LV]	23.540,71
Luxembourg [LU]	0,4565	Luxembourg [LU]	3,94	Cyprus [CY]	21.409,80
Malta [MT]	0,1621	Cyprus [CY]	2,2	Estonia [EE]	20.306,75
Cyprus [CY]	0,1473	Malta [MT]	0,74	Malta [MT]	10.533,13

Por otro lado, es interesante como los cinco países con más PIB son los cinco eficientes. Esto es debido a las economías de escala, ya que como hemos hecho uso de la tecnología VRS, las magnitudes que manejan estos estados son tan grandes que, en una visión global, son eficientes porque no hay ninguna otra nación para ejercer una comparación que posea un tamaño similar.

De los doce países eficientes, el país que más aparece como benchmark o punto de referencia es Irlanda. Y es que Irlanda, como se pudo apreciar en el análisis de eficiencia energética realizado posteriormente es el país más eficiente, ya que con un consumo total de 13,46 Mtoe (puesto 19 de 27), consigue tener un PIB de 310.625 millones de € (puesto 10 de 27), haciendo que por cada millón de toneladas de petróleo equivalente se produzca un producto con un valor equivalente a 23,078 millones de €.

Esta eficiencia puede darse en parte como eco del gran crecimiento económico que experimentó el país gaélico a finales de la década de los noventa y lo que la llevó a ganarse el sobrenombre del “Tigre Celta”. A pesar de su dependencia de los combustibles fósiles, representando más de un 87% de su mix, pero su gran apuesta por las energías renovables pretenden convertirla en un país líder para el año 2025 [62].

## 7.2 Conclusiones del segundo objetivo

El segundo objetivo obedece a los resultados de la Tabla 24. Destaca la gran diversificación que es brindada a el centro y este de Europa, seguida del suroeste de Europa y el monopolio surgido para el resto. Quizás la causa de la gran diversificación en un bloque concreto es por ser el que más cantidad demanda, yendo la producción

de Catar y Estados Unidos exclusivamente a parar a este.

Tabla 24. Análisis de conclusiones del segundo objetivo.

<b>South East Europe [SEE]</b>	<b>Central &amp; Eastern Europe [CEE]</b>
100% Israel [IL]	5,3% Argelia [DZ]
<b>South West Europe [SWE]</b>	19,4% Azerbaijan [AZ]
54,3% Argelia [DZ]	9,8% Israel [IL]
45,7% Nigeria [NG]	4,1% Norway [NR]
<b>South East Europe [SEE]</b>	31,2% Qatar [QA]
100% Norway [NR]	31,2% United States [US]
<b>Baltics &amp; Finland [BF]</b>	<b>Independent [IND]</b>
100% Azerbaijan [AZ]	100% Nigeria [NG]

Un aspecto muy importante a considerar es la confianza depositada en el socio. Si hay cooperación entre el proveedor y el cliente, no tendría porqué haber problemas de suministro, al menos en un plano geopolítico. El dilema con Rusia era que, desde finales de la segunda guerra mundial, siempre ha habido tensiones entre oriente y occidente, con el continente europeo de por medio. Y desde 2014, con el inicio de la guerra ruso-ucraniana y la anexión ilegal de Crimea a Rusia, tal vez el gigante exsoviético no era un aliado con el que se pudieran establecer pactos a largo plazo.

Países como Noruega o Estados Unidos, que están alineados con los valores de paz y libertad promovidos por los estados europeos no parecen en la actualidad una amenaza para establecer una dependencia plena en ella. El resto de los países en la actualidad, tienen conflictos bélicos con otros países como el conflicto argelino-marroquí por el Sáhara Occidental, el conflicto armenio-azerí por la región de Nagorno Karabaj o el conflicto palestino-israelí, por nombrar alguno. Lo que hace que estos países tiendan a tener situaciones inestables.

Una posible medida, que no ha sido considerada, era establecer una repartición por porcentaje basada en el índice de democracia o los años que llevan sin participar en un conflicto bélico, de modo que, si alguno de los proveedores falla, no hubiera bloques que quedarán sin suministro, aunque esto implicase un aumento del coste, como se verá posteriormente. De todos modos, la situación política merece un análisis más exhaustivo que escapa de nuestro alcance.

### 7.3 Conclusiones del tercer objetivo

El tercer objetivo carece de unas conclusiones claras, ya que hemos sido incapaces de resolver el modelo planteado debido a la ardua tarea de la asignación de costes. Como apunte se podría comentar que 10 de los 27 países ya cumplen el objetivo de producir un 45% o más de electricidad con energías renovables, lo que representa un 37% del total. Teniendo en cuenta que los datos tomados son del 2021 y el objetivo está establecido para el 2030 y que la media europea respecto al uso de energías renovables es del 43%, se puede considerar que la transición energética va por muy buen camino.

## 7.4 Diversificación y costes

Una característica común que presentan los tres modelos lineales es que, tanto en el modelo de Análisis por Envoltura de Datos, como en el modelo de transportes y el modelo matemático del tercer objetivo, los tres favorecen a una baja diversificación. Y es que como se ha comentado, el hecho de que las funciones objetivo estén relacionadas con minimizar el coste hace que los modelos tiendan a hacer uso de una única variable (probablemente la más barata) en vez de repartir los porcentajes de una manera más equitativa. En el modelo del último objetivo, se introdujo la obligatoriedad de usar dos fuentes de energías renovables por ese mismo motivo, y en el problema de transporte, cuatro de los seis bloques dependen al 100% de un único proveedor.

Posiblemente, dada la simplicidad de los modelos, no se esté modelando la realidad debidamente, con toda la complejidad que ello conlleva. Pero, no deja de ser paradójico, que la diversificación y costes son en la mayoría de los casos proporcionales.

## 7.5 Visión del Plan REPowerEU

En conclusión, haciendo una visión general del trabajo, durante la elaboración de este y después de concretar las posibles conclusiones obtenidas, se apunta a que la intencionalidad de la Unión Europea con el Plan REPowerEU era que cada medida representara una realidad de la crisis energética fijada desde una perspectiva económica, geopolítica y ecológica.

De este modo, el objetivo uno, fija el ahorro de energía y la eficiencia energética, abordando el asunto desde un plano económico. Tras la aplicación del DEA concluimos que aparte de reducir el consumo en casi todos los países, muchos de los que son eficientes presentan baja diversificación, lo que se podría comprender como un ahorro de costes fijos al no tener que invertir en instalaciones adicionales para la producción de energía dependiendo de distintas fuentes. Igualmente, la eficiencia se basa en el consumo de combustibles fósiles y en las peculiaridades capacitivas del país, siendo los ámbitos ecológicos y políticos relegados a un segundo plano.

El objetivo dos muestra una fuerte influencia política. Dejando a un lado el papel ruso en la invasión de Ucrania, el hecho de boicotear al país y buscar otros proveedores más lejanos, demuestra que la política a veces se impone a la economía, ya que desde este punto sería más barato comprar gas a Rusia por cercanía, sin importar el contexto. En el plano ecológico, el gas en sí ya se considera una transición. Las transiciones toman su tiempo, por lo que pensar en la dependencia total de las energías renovables de inmediato es imposible.

Finalmente queda el factor ecológico representado por el punto tres. Este aboga por el uso de energías renovables, que según los estudios son rentables a largo plazo y fomentan la independencia energética de los países. Aunque tristemente todo esto pertenece a un hipotético futuro. Se necesitan soluciones para el presente. Aun así, la UE aboga por la paciencia y obliga a los países miembros a pensar a largo plazo.



Figura 36. Diagrama de Venn de la visión del Plan REPowerEU.

La Figura 36 representa en un diagrama de Venn visualmente todo lo que se comenta en este apartado. Los tres puntos con sus tres visiones y las medidas intermedias. Se podría decir que los objetivos uno y tres eran los inicialmente planteados en el Pacto Verde Europeo, una transición energética que contara con el impulso de las renovables y compra mayoritaria de gas a Rusia. Con el inicio de la guerra se activó el plano geopolítico lo que dejó una disyuntiva. Por un lado, la búsqueda de nuevos proveedores de gas, la cual tiene una tendencia mucho más ecológica, y por el otro, la utilización de la energía nuclear, mucho más barata y estable, como van a optar países como Polonia o Italia. El Plan REPowerEU tiene una máxima unificadora para intentar que los tres objetivos se cumplan, superar la crisis y avanzar hacia el futuro.

## 7.6 Futuras líneas de investigación

Como futuras líneas de investigación quedan la estimación de costes de las distintas energías que conforman el modelo del objetivo de energía limpia. También sería interesante la indagación en la programación del algoritmo EUPHEMIA para la determinación del coste diario de la electricidad, ya que parece ser que la variabilidad en la producción de energía renovables no está del todo correctamente modelada [63].



# REFERENCIAS

---

- [1][https://www.naturgy.com/de\\_donde\\_viene\\_la\\_energia#:~:text=Pues%20viene%20del%20lat%C3%ADn%2C%20concretamente,%E2%80%9Cfuerza%20de%20trabajo%E2%80%9D](https://www.naturgy.com/de_donde_viene_la_energia#:~:text=Pues%20viene%20del%20lat%C3%ADn%2C%20concretamente,%E2%80%9Cfuerza%20de%20trabajo%E2%80%9D). Fecha de acceso: abril de 2023.
- [2][https://icaen.gencat.cat/es/energia/que\\_es/#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20es%20la%20capacidad,la%20intervenci%C3%B3n%20de%20la%20energ%C3%ADa](https://icaen.gencat.cat/es/energia/que_es/#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20es%20la%20capacidad,la%20intervenci%C3%B3n%20de%20la%20energ%C3%ADa) . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [3] <https://www.fundacionendesa.org/es/educacion/endesa-educa/recursos/que-es-la-energia> . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [4][https://energyeducation.ca/Enciclopedia\\_de\\_Energia/index.php/Ley\\_de\\_conservaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_energ%C3%ADa#:~:text=La%20ley%20de%20la%20conservaci%C3%B3n,se%20a%3%B1ada%20desde%20el%20exterior](https://energyeducation.ca/Enciclopedia_de_Energia/index.php/Ley_de_conservaci%C3%B3n_de_la_energ%C3%ADa#:~:text=La%20ley%20de%20la%20conservaci%C3%B3n,se%20a%3%B1ada%20desde%20el%20exterior) . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [5]<https://www2.montes.upm.es/dptos/digfa/cfisica/termo1p/energiaint.html#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20interna%20es%20el,tipo%20gravitatorio%2C%20electromagn%C3%A9tico%20y%20nuclear> . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [6]<https://www.repsol.com/es/energia-futuro/transicion-energetica/energia-electrica/index.cshhtml#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20es%20un,generar%20la%20llamada%20corriente%20el%C3%A9ctrica> . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [7]<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/preguntas-y-respuestas/curiosidades-sobre-energia/que-es-la-energia-electromagnetica/> . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [8]<https://www.ier.unam.mx/~rbb/ERyS2013-1/Historia-Energia.pdf>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [9]<https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/origen-y-evolucion/>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [10]<https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20181023/452521450976/historia-energia-fuego-energias-renovables.html>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [11]<https://www.xlsemanal.com/conocer/ciencia/20210610/origen-energia-evolucion-historia-uso.html>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [12][https://climate.nasa.gov/en-espanol/datos/causas/#:~:text=La%20actividad%20humana%20es%20la,carbono%20atmosf%C3%A9rico%20\(CO2\)](https://climate.nasa.gov/en-espanol/datos/causas/#:~:text=La%20actividad%20humana%20es%20la,carbono%20atmosf%C3%A9rico%20(CO2)) . Fecha de acceso: abril de 2023.
- [13]<https://energia.gob.es/gas/Gas/Paginas/gasnatural.aspx#:~:text=El%20gas%20natural%20como%20cualquier,de%20las%20del%20fuel%20Doil>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [14]<https://e-ficiencia.com/energia-nuclear-como-energia-renovable/>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [15]<https://www.enelgreenpower.com/es/learning-hub/transicion-energetica>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [16][https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_es). Fecha de acceso: abril de 2023.
- [17][https://elpais.com/internacional/2017/06/02/actualidad/1496393721\\_751866.html](https://elpais.com/internacional/2017/06/02/actualidad/1496393721_751866.html). Fecha de acceso: abril de 2023.
- [18]<https://www.aa.com.tr/es/mundo/estados-unidos-se-retira-oficialmente-del-acuerdo-clim%C3%A1tico-de-par%C3%ADs/20232361#:~:text=Trump%20afirmaba%20que%20el%20acuerdo,en%20la%20econom%C3%ADa%20en%20general>. Fecha de acceso: abril de 2023.
- [19][https://www.abc.es/sociedad/abci-solo-y-siete-paises-mas-cumpliran-metas-acuerdo-paris-2030-201911051827\\_noticia.html](https://www.abc.es/sociedad/abci-solo-y-siete-paises-mas-cumpliran-metas-acuerdo-paris-2030-201911051827_noticia.html). Fecha de acceso: abril de 2023.
- [20]<https://www.lavanguardia.com/historiayvida/historia-contemporanea/20220227/8085999/depende-europa->



[20en%202020](#). Fecha de acceso: mayo de 2023.

[40] [https://www.elconfidencial.com/mundo/2021-09-05/retorno-energia-nuclear-italia-ecologismo-radial-chic\\_3269478/](https://www.elconfidencial.com/mundo/2021-09-05/retorno-energia-nuclear-italia-ecologismo-radial-chic_3269478/). Fecha de acceso: mayo de 2023.

[41] [https://www.elconfidencial.com/mundo/2023-02-17/ambicion-muchos-problemas-sueno-gas-italiano-acabar-pesadilla\\_3577376/](https://www.elconfidencial.com/mundo/2023-02-17/ambicion-muchos-problemas-sueno-gas-italiano-acabar-pesadilla_3577376/). Fecha de acceso: mayo de 2023.

[42] <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/TTR00005/default/table?lang=en>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[43] <https://www.epdata.es/datos/mercado-gas-espana-graficos/614#:~:text=Importaci%C3%B3n%20de%20gas%20en%20Espa%C3%B1a&text=Argelia%20es%20el%20principal%20pa%C3%ADs,travel%C3%A9s%20del%20gasoducto%20Magreb%2DEuropa>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[44] <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2022/11/15/63729d8ffdddf04838b45b3.html>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[45] <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/energia-nuclear-en-espana/>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[46] <https://www.newtral.es/energia-nuclear-espana-centrales-nucleares/20220910/>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[47] <https://www.newtral.es/centrales-termicas-carbon/20220926/>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[48] <https://www.world-nuclear.org/information-library/country-profiles/others/european-union.aspx#:~:text=The%20103%20nuclear%20power%20reactors,in%20only%20one%20country%20%E2%80%93%20France>. Fecha de acceso: mayo de 2023.

[49] <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/eu-gas-supply/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[50] <https://ec.europa.eu/eurostat/web/interactive-publications/energy-2023>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[51] <http://www.eolivertical.es/2019/08/28/eolica-onshore-vs-offshore/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[52] <https://www.ealde.es/proyecto-parque-eolico/#:~:text=Existen%20varios%20factores%20a%20tener,o%20el%20tipo%20de%20aerogeneradores>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[53] <https://globalwindatlas.info/es/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[54] <https://twenergy.com/energia/energia-hidraulica/que-es-la-energia-hidraulica-426/#:~:text=En%20el%20aprovechamiento%20de%20la,tambi%C3%A9n%20para%20aumentar%20el%20salto>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[55] <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/central-hidroelectrica-bombeo>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[56] <https://www.primagas.es/blog/biocombustibles#:~:text=Los%20biocombustibles%20son%20aquellos%20combustibles,para%20reducir%20las%20emisiones%20contaminantes>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[57] <https://www.ecologistasenaccion.org/286624/un-estudio-revela-que-europa-malgasta-una-superficie-equivalente-a-irlanda-en-biocombustibles/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[58] <https://www.repsol.es/particulares/asesoramiento-consumo/diferencias-energia-solar-termica-y-fotovoltaica/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[59] <http://solargis.info>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[60] <https://www.irena.org/>

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Apr/IRENA\\_RE\\_Capacity\\_Statistics\\_2022.pdf?rev=460f190dea15442eba8373d9625341ae](#). Fecha de acceso: junio de 2023.

[61] <https://naukas.com/2021/08/23/euphemia-el-algoritmo-que-establece-el-precio-de-la-luz-electricidad/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[62] <https://hipertextual.com/2022/11/independencia-energetica-energias-renovables>. Fecha de acceso: junio de 2023.

[63] <https://elperiodicodelaenergia.com/euphemia-el-complejo-algoritmo-que-casa-los-precios-de-los-mercados-electricos-y-que-no-entienden-ni-los-traders/>. Fecha de acceso: junio de 2023.

# ANEXO DE TABLAS

Tabla 1. Datos presentados sin modificación previa

2020	Petroleum [%]	Natural Gas [%]	Renewable [%]	Nuclear [%]	Solid fossil fuel [%]	Others [%]	Consumption [Mtoe]	Population [hab]	GDP/Capita [€/hab]
Austria [AU]	34,6%	22,6%	32,5%	0,0%	9,7%	0,6%	30,93	8.901.064	35.480
Belgium [BE]	45,0%	26,2%	8,5%	14,5%	5,2%	0,6%	43,88	11.522.440	34.010
Bulgaria [BG]	24,5%	14,0%	14,2%	24,2%	24,3%	-1,2%	17,19	6.951.482	6.410
Croatia [HR]	33,7%	30,3%	26,3%	0,0%	4,8%	4,9%	7,76	4.058.165	11.680
Cyprus [CY]	87,2%	0,0%	10,9%	0,0%	1,9%	0,0%	2,2	888.005	24.110
Czech Republic [CZ]	21,4%	18,0%	12,7%	18,6%	31,4%	-2,1%	37,59	10.693.939	17.400
Denmark [DK]	38,8%	12,8%	37,6%	0,0%	7,1%	3,7%	15,38	5.822.763	47.890
Estonia [EE]	5,3%	7,7%	27,6%	0,0%	52,9%	6,5%	4,31	1.328.976	15.280
Finland [FI]	25,1%	6,5%	37,0%	17,1%	9,8%	4,5%	29,9	5.525.292	36.220
France [FR]	29,3%	15,5%	12,7%	41,1%	3,1%	-1,7%	207,95	67.485.531	30.550
Germany [DE]	35,2%	26,1%	16,4%	5,8%	17,1%	-0,6%	262,1	83.166.711	34.590
Greece [GR]	50,7%	22,3%	15,2%	0,0%	8,3%	3,5%	19,24	10.718.565	16.210
Hungary [HU]	28,5%	33,5%	11,3%	15,5%	7,2%	4,0%	23,89	9.769.526	12.730
Ireland [IE]	45,9%	32,7%	12,9%	0,0%	8,6%	-0,1%	13,46	4.964.440	62.570
Italy [IT]	32,9%	40,5%	20,4%	0,0%	4,4%	1,8%	132,32	59.641.488	24.910
Latvia [LV]	35,7%	19,9%	39,6%	0,0%	1,7%	3,1%	4,26	1.907.675	12.340
Lithuania [LT]	39,2%	25,2%	21,2%	0,0%	2,7%	11,7%	6,23	2.794.090	14.050
Luxembourg [LU]	60,3%	15,7%	10,1%	0,0%	2,1%	11,8%	3,94	626.108	81.660
Malta [MT]	86,0%	10,8%	1,9%	0,0%	0,0%	1,3%	0,74	514.564	20.470
Netherlands [NL]	46,9%	37,6%	8,4%	1,1%	5,9%	0,1%	58,47	17.407.585	40.130
Poland [PL]	28,8%	16,9%	12,5%	0,0%	40,7%	1,1%	96,86	37.958.138	12.810
Portugal [PT]	43,6%	23,6%	28,8%	0,0%	3,4%	0,6%	19,5	10.295.909	17.100
Romania [RO]	30,0%	30,0%	18,6%	8,9%	11,7%	0,8%	30,93	19.328.838	9.020
Slovakia [SK]	21,9%	24,9%	13,1%	24,6%	15,4%	0,1%	15,18	5.457.873	15.400
Slovenia [SI]	32,9%	11,4%	18,5%	23,2%	16,7%	-2,7%	6,15	2.095.861	19.740
Spain [ES]	44,0%	23,6%	16,2%	12,8%	3,1%	0,3%	105,03	47.332.614	22.210
Sweden [SE]	23,4%	2,7%	47,7%	25,4%	5,3%	-4,5%	41,28	10.327.589	42.910

Tabla 2. Datos dispuestos para el análisis

2020	Population [hab]	Petroleum [Mtoe]	Natural Gas [Mtoe]	Renewable [Mtoe]	Nuclear [Mtoe]	Solid fossil fuel [Mtoe]	Others [Mtoe]	GDP [M€]	Surface Area [km2]
Austria [AU]	8.901.064	10,70	6,99	10,05	0,00	3,00	0,19	315.810	83.879
Belgium [BE]	11.522.440	19,75	11,50	3,73	6,36	2,28	0,26	391.878	30.528
Bulgaria [BG]	6.951.482	4,21	2,41	2,44	4,16	4,18	-0,21	44.559	110.370
Croatia [HR]	4.058.165	2,62	2,35	2,04	0,00	0,37	0,38	47.399	56.594
Cyprus [CY]	888.005	1,92	0,00	0,24	0,00	0,04	0,00	21.410	9.251
Czech Republic [CZ]	10.693.939	8,04	6,77	4,77	6,99	11,80	-0,79	186.075	78.868
Denmark [DK]	5.822.763	5,97	1,97	5,78	0,00	1,09	0,57	278.852	42.924
Estonia [EE]	1.328.976	0,23	0,33	1,19	0,00	2,28	0,28	20.307	45.227
Finland [FI]	5.525.292	7,50	1,94	11,06	5,11	2,93	1,35	200.126	338.440
France [FR]	67.485.531	60,93	32,23	26,41	85,47	6,45	-3,54	2.061.683	633.187
Germany [DE]	83.166.711	92,26	68,41	42,98	15,20	44,82	-1,57	2.876.737	357.376
Greece [GR]	10.718.565	9,75	4,29	2,92	0,00	1,60	0,67	173.748	132.049
Hungary [HU]	9.769.526	6,81	8,00	2,70	3,70	1,72	0,96	124.366	93.011
Ireland [IE]	4.964.440	6,18	4,40	1,74	0,00	1,16	-0,01	310.625	69.797
Italy [IT]	59.641.488	43,53	53,59	26,99	0,00	5,82	2,38	1.485.669	302.073
Latvia [LV]	1.907.675	1,52	0,85	1,69	0,00	0,07	0,13	23.541	64.573
Lithuania [LT]	2.794.090	2,44	1,57	1,32	0,00	0,17	0,73	39.257	65.286
Luxembourg [LU]	626.108	2,38	0,62	0,40	0,00	0,08	0,46	51.128	2.586
Malta [MT]	514.564	0,64	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	10.533	315
Netherlands [NL]	17.407.585	27,42	21,98	4,91	0,64	3,45	0,06	698.566	41.540
Poland [PL]	37.958.138	27,90	16,37	12,11	0,00	39,42	1,07	486.244	312.679
Portugal [PT]	10.295.909	8,50	4,60	5,62	0,00	0,66	0,12	176.060	92.226
Romania [RO]	19.328.838	9,28	9,28	5,75	2,75	3,62	0,25	174.346	238.391
Slovakia [SK]	5.457.873	3,32	3,78	1,99	3,73	2,34	0,02	84.051	49.035
Slovenia [SI]	2.095.861	2,02	0,70	1,14	1,43	1,03	-0,17	41.372	20.273
Spain [ES]	47.332.614	46,21	24,79	17,01	13,44	3,26	0,32	1.051.257	505.944
Sweden [SE]	10.327.589	9,66	1,11	19,69	10,49	2,19	-1,86	443.157	438.574

**Tabla 4. Mixes energéticos de los países A y B con su diversificación**

	Petroleum [%]	Natural Gas [%]	Renewable [%]	Nuclear [%]	Solid fossil fuel [%]	Others [%]	Diversificación
<b>País A</b>	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	16,7%	1,0000
<b>País B</b>	100,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,6273

**Tabla 5. Diversificación por países ordenados de mayor a menor con diversos parámetros agrupados**

2020	Diversificación	Population [hab]	Consumption [Mtoe]	GDP [M€]	Ingreso	Longitud [O-E]	Latitud [N-S]	Superficie [km2]
Slovakia [SK]	0,7684	5.457.873	15,18	84.051	2.004	17,1093	48,1517	49.035
Bulgaria [BG]	0,7529	6.951.482	17,19	44.559	2.007	23,3217	42,6977	110.370
Czech Republic [CZ]	0,7288	10.693.939	37,59	186.075	2.004	14,4465	50,0596	78.868
Romania [RO]	0,7110	19.328.838	30,93	174.346	2.007	26,1027	44,4361	238.391
Hungary [HU]	0,7094	9.769.526	23,89	124.366	2.004	19,0404	47,4980	93.011
Slovenia [SI]	0,7076	2.095.861	6,15	41.372	2.004	14,5069	46,0500	20.273
Finland [FI]	0,6934	5.525.292	29,9	200.126	1.995	24,9427	60,1675	338.440
Germany [DE]	0,6808	83.166.711	262,1	2.876.737	1.958	13,3889	52,5170	357.376
Lithuania [LT]	0,6369	2.794.090	6,23	39.257	2.004	25,2829	54,6870	65.286
Croatia [HR]	0,6324	4.058.165	7,76	47.399	2.013	15,9622	45,8426	56.594
Austria [AU]	0,6218	8.901.064	30,93	315.810	1.995	16,3725	48,2084	83.879
Spain [ES]	0,6108	47.332.614	105,03	1.051.257	1.986	-3,7036	40,4167	505.944
Poland [PL]	0,6108	37.958.138	96,86	486.244	2.004	21,0067	52,2320	312.679
France [FR]	0,6058	67.485.531	207,95	2.061.683	1.958	2,3200	48,8589	633.187
Belgium [BE]	0,5968	11.522.440	43,88	391.878	1.958	4,3517	50,8466	30.528
Denmark [DK]	0,5785	5.822.763	15,38	278.852	1.973	12,5701	55,6867	42.924
Italy [IT]	0,5765	59.641.488	132,32	1.485.669	1.958	12,4829	41,8933	302.073
Latvia [LV]	0,5640	1.907.675	4,26	23.541	2.004	24,1052	56,9494	64.573
Portugal [PT]	0,5574	10.295.909	19,5	176.060	1.986	-9,1366	38,7078	92.226
Greece [GR]	0,5466	10.718.565	19,24	173.748	1.981	23,7283	37,9839	132.049
Ireland [IE]	0,5418	4.964.440	13,46	310.625	1.973	-6,2603	53,3498	69.797
Sweden [SE]	0,5279	10.327.589	41,28	443.157	1.995	18,0711	59,3251	438.574
Estonia [EE]	0,5073	1.328.976	4,31	20.307	2.004	24,7454	59,4372	45.227
Netherlands [NL]	0,5036	17.407.585	58,47	698.566	1.958	4,8925	52,3731	41.540
Luxembourg [LU]	0,4565	626.108	3,94	51.128	1.958	6,1297	49,8159	2.586
Malta [MT]	0,1621	514.564	0,74	10.533	2.004	14,5137	35,8990	315
Cyprus [CY]	0,1473	888.005	2,2	21.410	2.004	33,3639	35,1749	9.251

Tabla 6. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional población-PIB

2020	Population [hab]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/hab]	Ef Global [%]	%CRS	New population CRS [hab]	GDP/Capita [€/hab]	%VRS	New population VRS [hab]	Ef Absoluta [€/hab]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Malta [MT]	514.564	10.533	20.470	25%	25,07%	128.988	81.660	121,68%	514.564	20.470	7	100%	25%
Estonia [EE]	1.328.976	20.307	15.280	19%	18,71%	248.674	81.660	40,74%	541.419	37.507	18 (0,24) 19 (0,76)	41%	46%
Cyprus [CY]	888.005	21.410	24.110	30%	29,52%	262.182	81.660	61,31%	544.450	39.324	18 (0,27) 19 (0,73)	61%	48%
Latvia [LV]	1.907.675	23.541	12.340	15%	15,11%	288.277	81.660	28,85%	550.305	42.778	18 (0,32) 19 (0,68)	29%	52%
Lithuania [LT]	2.794.090	39.257	14.050	17%	17,21%	480.737	81.660	21,24%	593.490	66.146	18 (0,71) 19 (0,29)	21%	81%
Slovenia [SI]	2.095.861	41.372	19.740	24%	24,17%	506.641	81.660	28,59%	599.302	69.034	18 (0,76) 19 (0,24)	29%	85%
Bulgaria [BG]	6.951.482	44.559	6.410	8%	7,85%	545.665	81.660	8,75%	608.058	73.281	18 (0,84) 19 (0,16)	9%	90%
Croatia [HR]	4.058.165	47.399	11.680	14%	14,30%	580.448	81.660	15,18%	615.863	76.964	18 (0,91) 19 (0,09)	15%	94%
Luxembourg [LU]	626.108	51.128	81.660	100%	130,51%	626.108	81.660	178,33%	626.108	81.660	15	100%	100%
Slovakia [SK]	5.457.873	84.051	15.400	19%	18,86%	1.029.283	81.660	21,56%	1.176.527	71.440	14 (0,13) 18 (0,87)	22%	87%
Hungary [HU]	9.769.526	124.366	12.730	16%	15,59%	1.522.974	81.660	18,94%	1.850.519	67.206	14 (0,28) 18 (0,72)	19%	82%
Greece [GR]	10.718.565	173.748	16.210	20%	19,85%	2.127.699	81.660	24,97%	2.676.097	64.926	14 (0,47) 18 (0,53)	25%	80%
Romania [RO]	19.328.838	174.346	9.020	11%	11,05%	2.135.025	81.660	13,90%	2.686.098	64.907	14 (0,47) 18 (0,53)	14%	79%
Portugal [PT]	10.295.909	176.060	17.100	21%	20,94%	2.156.013	81.660	26,37%	2.714.751	64.853	14 (0,48) 18 (0,52)	26%	79%
Czech Republic [CZ]	10.693.939	186.075	17.400	21%	21,31%	2.278.650	81.660	26,95%	2.882.176	64.560	14 (0,52) 18 (0,48)	27%	79%
Finland [FI]	5.525.292	200.126	36.220	44%	44,35%	2.450.723	81.660	56,41%	3.117.093	64.203	14 (0,57) 18 (0,43)	56%	79%
Denmark [DK]	5.822.763	278.852	47.890	59%	58,65%	3.414.795	81.660	76,14%	4.433.253	62.900	14 (0,88) 18 (0,12)	76%	77%
Ireland [IE]	4.964.440	310.625	62.570	77%	76,62%	3.803.882	81.660	134,84%	4.964.440	62.570	16	100%	77%
Austria [AU]	8.901.064	315.810	35.480	43%	43,45%	3.867.374	81.660	57,55%	5.122.445	61.652	11 (0,00) 14 (1,00)	58%	75%
Belgium [BE]	11.522.440	391.878	34.010	42%	41,65%	4.798.900	81.660	64,58%	7.440.631	52.667	11 (0,03) 14 (0,97)	65%	64%
Sweden [SE]	10.327.589	443.157	42.910	53%	52,55%	5.426.853	81.660	87,18%	9.003.349	49.221	11 (0,05) 14 (0,95)	87%	60%
Poland [PL]	37.958.138	486.244	12.810	16%	15,69%	5.954.491	81.660	27,18%	10.316.422	47.133	11 (0,07) 14 (0,93)	27%	58%
Netherlands [NL]	17.407.585	698.566	40.130	49%	49,14%	8.554.572	81.660	96,43%	16.786.957	41.614	11 (0,15) 14 (0,85)	96%	51%
Spain [ES]	47.332.614	1.051.257	22.210	27%	27,20%	12.873.590	81.660	58,17%	27.535.217	38.179	11 (0,29) 14 (0,71)	58%	47%
Italy [IT]	59.641.488	1.485.669	24.910	31%	30,50%	18.193.356	81.660	68,37%	40.773.930	36.437	11 (0,46) 14 (0,54)	68%	45%
France [FR]	67.485.531	2.061.683	30.550	37%	37,41%	25.247.159	81.660	86,43%	58.327.946	35.346	11 (0,68) 14 (0,32)	86%	43%
Germany [DE]	83.166.711	2.876.737	34.590	42%	42,36%	35.228.221	81.660	big	83.166.711	34.590	8	100%	42%

**Tabla 7. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional consumo-PIB**

2020	Consumption [Mtoe]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Ef Global [%]	%CRS	New consumption CRS [Mtoe]	GDP/Consumption [€/Mtoe]	%VRS	New consumption VRS [Mtoe]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Malta [MT]	0,74	10.533	14.234	62%	61,68%	0,46	23.078	297,30%	0,74	14.234	16	100%	62%
Estonia [EE]	4,31	20.307	4.712	20%	20,42%	0,88	23.078	26,78%	1,15	17.593	14 (0,03) 19 (0,97)	27%	20%
Cyprus [CY]	2,20	21.410	9.732	42%	42,17%	0,93	23.078	54,59%	1,20	17.826	14 (0,04) 19 (0,96)	55%	42%
Latvia [LV]	4,26	23.541	5.526	24%	23,95%	1,02	23.078	30,31%	1,29	18.229	14 (0,04) 19 (0,96)	30%	24%
Lithuania [LT]	6,23	39.257	6.301	27%	27,30%	1,70	23.078	31,42%	1,96	20.054	14 (0,10) 19 (0,90)	31%	27%
Slovenia [SI]	6,15	41.372	6.727	29%	29,15%	1,79	23.078	33,29%	2,05	20.209	14 (0,10) 19 (0,90)	33%	29%
Bulgaria [BG]	17,19	44.559	2.592	11%	11,23%	1,93	23.078	12,69%	2,18	20.419	14 (0,11) 19 (0,89)	13%	11%
Croatia [HR]	7,76	47.399	6.108	26%	26,47%	2,05	23.078	29,67%	2,30	20.585	14 (0,12) 19 (0,88)	30%	26%
Luxembourg [LU]	3,94	51.128	12.977	56%	56,23%	2,22	23.078	62,45%	2,46	20.778	14 (0,14) 19 (0,86)	62%	56%
Slovakia [SK]	15,18	84.051	5.537	24%	23,99%	3,64	23.078	25,40%	3,86	21.796	14 (0,24) 19 (0,76)	25%	24%
Hungary [HU]	23,89	124.366	5.206	23%	22,56%	5,39	23.078	23,29%	5,57	22.348	14 (0,38) 19 (0,62)	23%	23%
Greece [GR]	19,24	173.748	9.031	39%	39,13%	7,53	23.078	39,80%	7,66	22.688	14 (0,54) 19 (0,46)	40%	39%
Portugal [PT]	19,50	176.060	9.029	39%	39,12%	7,63	23.078	39,78%	7,76	22.699	14 (0,55) 19 (0,45)	40%	39%
Romania [RO]	30,93	174.346	5.637	24%	24,43%	7,55	23.078	24,84%	7,68	22.691	14 (0,55) 19 (0,45)	25%	24%
Czech Republic [CZ]	37,59	186.075	4.950	21%	21,45%	8,06	23.078	21,76%	8,18	22.746	14 (0,58) 19 (0,42)	22%	21%
Finland [FI]	29,90	200.126	6.693	29%	29,00%	8,67	23.078	29,35%	8,78	22.803	14 (0,63) 19 (0,37)	29%	29%
Denmark [DK]	15,38	278.852	18.131	79%	78,56%	12,08	23.078	78,76%	12,11	23.020	14 (0,89) 19 (0,11)	79%	79%
Ireland [IE]	13,46	310.625	23.078	100%	127,28%	13,46	23.078	136,68%	13,46	23.078	24	100%	100%
Austria [AU]	30,93	315.810	10.210	44%	44,24%	13,68	23.078	45,14%	13,96	22.619	11 (0,00) 14 (1,00)	45%	44%
Belgium [BE]	43,88	391.878	8.931	39%	38,70%	16,98	23.078	48,62%	21,33	18.370	11 (0,03) 14 (0,97)	49%	39%
Sweden [SE]	41,28	443.157	10.735	47%	46,52%	19,20	23.078	63,71%	26,30	16.849	11 (0,05) 14 (0,95)	64%	47%
Poland [PL]	96,86	486.244	5.020	22%	21,75%	21,07	23.078	31,46%	30,48	15.955	11 (0,07) 14 (0,93)	31%	22%
Netherlands [NL]	58,47	698.566	11.947	52%	51,77%	30,27	23.078	87,31%	51,05	13.684	11 (0,15) 14 (0,85)	87%	52%
Spain [ES]	105,03	1.051.257	10.009	43%	43,37%	45,55	23.078	81,14%	85,22	12.335	11 (0,29) 14 (0,71)	81%	43%
Italy [IT]	132,32	1.485.669	11.228	49%	48,65%	64,38	23.078	96,22%	127,31	11.669	11 (0,46) 14 (0,54)	96%	49%
France [FR]	207,95	2.061.683	9.914	43%	42,96%	89,34	23.078	88,06%	183,13	11.258	11 (0,68) 14 (0,32)	88%	43%
Germany [DE]	262,10	2.876.737	10.976	48%	47,56%	124,65	23.078	big	262,10	10.976	8	100%	48%

Tabla 8. Análisis por Envoltura de Datos bidimensional petróleo-PIB

2020	Petroleum [Mtoe]	GDP [M€]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Ef Global [%]	%CRS	New petroleum CRS [Mtoe]	GDP/Petroleum [€/Mtoe]	%VRS	New petroleum VRS [Mtoe]	Ef Absoluta [€/Mtoe]	Benchmark	Ef Técnica [%]	Ef Escala [%]
Germany [DE]	92,26	2.876.737	31.181	35%	35,08%	32,36	88.897	big	92,26	31.181	0	100%	35%
France [FR]	60,93	2.061.683	33.837	38%	38,06%	23,19	88.897	104,56%	60,93	33.837	4	100%	38%
Italy [IT]	43,53	1.485.669	34.127	38%	38,39%	16,71	88.897	98,05%	42,68	34.807	10 (0,64) 27 (0,36)	98%	39%
Spain [ES]	46,21	1.051.257	22.748	26%	25,59%	11,83	88.897	62,58%	28,92	36.348	10 (0,38) 27 (0,62)	63%	41%
Netherlands [NL]	27,42	698.566	25.474	29%	28,66%	7,86	88.897	64,73%	17,75	39.356	10 (0,16) 27 (0,84)	65%	44%
Poland [PL]	27,90	486.244	17.431	20%	19,61%	5,47	88.897	39,52%	11,02	44.106	10 (0,03) 27 (0,97)	40%	50%
Sweden [SE]	9,66	443.157	45.878	52%	51,61%	4,99	88.897	106,86%	9,66	45.878	6	100%	52%
Belgium [BE]	19,75	391.878	19.846	22%	22,32%	4,41	88.897	42,10%	8,31	47.143	14 (0,39) 27 (0,61)	42%	53%
Austria [AU]	10,70	315.810	29.510	33%	33,20%	3,55	88.897	59,00%	6,31	50.015	14 (0,96) 27 (0,04)	59%	56%
Ireland [IE]	6,18	310.625	50.278	57%	56,56%	3,49	88.897	108,15%	6,18	50.278	17	100%	57%
Denmark [DK]	5,97	278.852	46.729	53%	52,57%	3,14	88.897	92,62%	5,53	50.453	8 (0,11) 14 (0,89)	93%	57%
Finland [FI]	7,50	200.126	26.666	30%	30,00%	2,25	88.897	52,15%	3,91	51.136	8 (0,38) 14 (0,62)	52%	58%
Czech Republic [CZ]	8,04	186.075	23.131	26%	26,02%	2,09	88.897	45,07%	3,63	51.322	8 (0,43) 14 (0,57)	45%	58%
Portugal [PT]	8,50	176.060	20.708	23%	23,29%	1,98	88.897	40,23%	3,42	51.474	8 (0,46) 14 (0,54)	40%	58%
Greece [GR]	9,75	173.748	17.812	20%	20,04%	1,95	88.897	34,58%	3,37	51.511	8 (0,47) 14 (0,53)	35%	58%
Romania [RO]	9,28	174.346	18.789	21%	21,14%	1,96	88.897	36,48%	3,39	51.501	8 (0,47) 14 (0,53)	36%	58%
Hungary [HU]	6,81	124.366	18.266	21%	20,55%	1,40	88.897	34,68%	2,36	52.675	8 (0,64) 14 (0,36)	35%	59%
Slovakia [SK]	3,32	84.051	25.283	28%	28,44%	0,95	88.897	46,17%	1,53	54.764	8 (0,78) 14 (0,22)	46%	62%
Luxembourg [LU]	2,38	51.128	21.520	24%	24,21%	0,58	88.897	36,20%	0,86	59.446	8 (0,89) 14 (0,11)	36%	67%
Croatia [HR]	2,62	47.399	18.125	20%	20,39%	0,53	88.897	29,97%	0,78	60.485	8 (0,91) 14 (0,09)	30%	68%
Bulgaria [BG]	4,21	44.559	10.580	12%	11,90%	0,50	88.897	17,23%	0,73	61.423	8 (0,92) 14 (0,08)	17%	69%
Lithuania [LT]	2,44	39.257	16.075	18%	18,08%	0,44	88.897	25,26%	0,62	63.647	8 (0,93) 14 (0,07)	25%	72%
Slovenia [SI]	2,02	41.372	20.447	23%	23,00%	0,47	88.897	32,63%	0,66	62.672	8 (0,93) 14 (0,07)	33%	70%
Latvia [LV]	1,52	23.541	15.479	17%	17,41%	0,26	88.897	19,38%	0,29	79.879	8 (0,99) 14 (0,01)	19%	90%
Malta [MT]	0,64	10.533	16.551	19%	18,62%	0,12	88.897	35,89%	0,23	46.111	8 (1,00)	36%	52%
Cyprus [CY]	1,92	21.410	11.160	13%	12,55%	0,24	88.897	13,09%	0,25	85.286	8 (1,00) 14 (0,00)	13%	96%
Estonia [EE]	0,23	20.307	88.897	100%	176,81%	0,23	88.897	357,61%	0,23	88.897	16	100%	100%

**Tabla 9. Tabla con las thetas, las holguras de entradas y los puntos de referencia**

2020	Score [%]	Holgura x2 [Mtoe]	Holgura x3 [Mtoe]	Holgura x4 [Mtoe]	Holgura x5 [Mtoe]	Holgura x6 [Mtoe]	Benchmarks
Austria [AU]	61%	0,00	0,00	2,95	0,00	0,65	7 (0,29) 14 (0,70) 15 (0,01)
Belgium [BE]	68%	3,51	0,55	0,00	3,00	0,00	10 (0,01) 14 (0,84) 20 (0,14)
Bulgaria [BG]	25%	0,00	0,00	0,00	1,05	0,13	7 (0,00) 8 (0,35) 14 (0,10) 19 (0,55)
Croatia [HR]	50%	0,00	0,56	0,77	0,00	0,00	8 (0,02) 14 (0,12) 19 (0,86)
Cyprus [CY]	big						1
Czech Republic [CZ]	45%	0,00	0,39	0,65	3,15	3,68	8 (0,43) 14 (0,57)
Denmark [DK]	199%						6
Estonia [EE]	358%						8
Finland [FI]	57%	0,00	0,00	0,00	1,00	0,07	7 (0,40) 8 (0,33) 19 (0,08) 27 (0,18)
France [FR]	361%						1
Germany [DE]	big						-
Greece [GR]	50%	0,64	0,00	0,00	0,00	0,16	5 (0,46) 7 (0,10) 14 (0,44)
Hungary [HU]	39%	0,00	1,41	0,28	1,46	0,00	8 (0,11) 14 (0,38) 19 (0,52)
Ireland [IE]	big						14
Italy [IT]	big						3
Latvia [LV]	62%	0,00	0,26	0,95	0,00	0,00	14 (0,03) 18 (0,07) 19 (0,90)
Lithuania [LT]	56%	0,00	0,40	0,53	0,00	0,00	14 (0,07) 18 (0,21) 19 (0,72)
Luxembourg [LU]	big						3
Malta [MT]	big						9
Netherlands [NL]	322%						1
Poland [PL]	68%	6,73	0,00	0,00	0,00	24,89	7 (0,57) 14 (0,26) 15 (0,16)
Portugal [PT]	89%	2,32	0,00	2,96	0,00	0,00	14 (0,20) 15 (0,05) 18 (0,75)
Romania [RO]	37%	0,00	1,00	0,84	1,03	0,00	8 (0,32) 14 (0,54) 19 (0,14)
Slovakia [SK]	53%	0,00	0,80	0,14	1,96	0,00	8 (0,42) 14 (0,23) 19 (0,35)
Slovenia [SI]	57%	0,00	0,00	0,00	0,81	0,15	7 (0,07) 8 (0,14) 14 (0,03) 19 (0,76)
Spain [ES]	116%						-
Sweden [SE]	529%						1

Tabla 10. Presentación final de los resultados del DEA

2020	Petroleum [Mtoe]	Natural Gas [Mtoe]	Renewable [Mtoe]	Nuclear [Mtoe]	Solid fossil fuel [Mtoe]	Others [Mtoe]	New Consumption [Mtoe]	Old Consumption [Mtoe]
Austria [AU]	6,58	4,30	3,23	0,00	1,20	0,19	15,49	30,93
Belgium [BE]	10,02	7,32	2,55	1,36	1,56	0,26	23,08	43,88
Bulgaria [BG]	1,06	0,60	0,61	0,00	0,92	-0,21	2,99	17,19
Croatia [HR]	1,31	0,61	0,25	0,00	0,19	0,38	2,73	7,76
Cyprus [CY]	1,92	0,00	0,24	0,00	0,04	0,00	2,20	2,2
Czech Republic [CZ]	3,63	2,66	1,50	0,00	1,64	-0,79	8,63	37,59
Denmark [DK]	5,97	1,97	5,78	0,00	1,09	0,57	15,38	15,38
Estonia [EE]	0,23	0,33	1,19	0,00	2,28	0,28	4,31	4,31
Finland [FI]	4,28	1,11	6,31	1,92	1,60	1,35	16,56	29,9
France [FR]	60,93	32,23	26,41	85,47	6,45	-3,54	207,95	207,95
Germany [DE]	92,26	68,41	42,98	15,20	44,82	-1,57	262,10	262,1
Greece [GR]	4,19	2,12	1,45	0,00	0,64	0,67	9,07	19,24
Hungary [HU]	2,68	1,73	0,79	0,00	0,68	0,96	6,82	23,89
Ireland [IE]	6,18	4,40	1,74	0,00	1,16	-0,01	13,46	13,46
Italy [IT]	43,53	53,59	26,99	0,00	5,82	2,38	132,32	132,32
Latvia [LV]	0,95	0,26	0,10	0,00	0,05	0,13	1,49	4,26
Lithuania [LT]	1,38	0,48	0,21	0,00	0,09	0,73	2,90	6,23
Luxembourg [LU]	2,38	0,62	0,40	0,00	0,08	0,46	3,94	3,94
Malta [MT]	0,64	0,08	0,01	0,00	0,00	0,01	0,74	0,74
Netherlands [NL]	27,42	21,98	4,91	0,64	3,45	0,06	58,47	58,47
Poland [PL]	12,22	11,12	8,22	0,00	1,89	1,07	34,52	96,86
Portugal [PT]	5,25	4,09	2,03	0,00	0,59	0,12	12,08	19,5
Romania [RO]	3,47	2,47	1,31	0,00	1,35	0,25	8,86	30,93
Slovakia [SK]	1,75	1,19	0,91	0,00	1,23	0,02	5,08	15,18
Slovenia [SI]	1,15	0,40	0,65	0,00	0,43	-0,17	2,47	6,15
Spain [ES]	46,21	24,79	17,01	13,44	3,26	0,32	105,03	105,03
Sweden [SE]	9,66	1,11	19,69	10,49	2,19	-1,86	41,28	41,28
							999,9424892	1236,67
							<b>Reduction [%]</b>	<b>80,86%</b>

**Tabla 14. Matriz de distancias en km**

Distance [km]	Bucharest [RO][SEE]	Berlin [GE][CEE]	Rome [IT][SWE]	Berlin [GE][SEE]	Helsinki [FI][BF]	Valetta [MT][IND]
Hassi R'Mel [DZ]	2346,68	2324,51	1286,12	2324,51	3421,76	1075,38
Bakú [AZ]	1996,66	3061,03	3109,13	3061,03	2791,43	3120,11
Tel Aviv [IL]	1568,06	2852,19	2249,65	2852,19	3210,59	1922,02
Lagos [NG]	4763,9	5203,41	4041,02	5203,41	6247,1	3461,21
Bergen [NR]	2244,05	1001,89	2112,52	1001,89	1081,81	2797,53
Doha [QA]	3124,23	4390,75	4010,44	4390,75	4382,59	3715,72
New York [US]	7650,34	6385,27	6892,87	6385,27	6620,28	7390,83

**Tabla 16. Resultados del problema de transportes**

Gas [Mtoe]	Bucharest [RO][SEE]	Berlin [GE][CEE]	Rome [IT][SWE]	Berlin [GE][SEE]	Helsinki [FI][BF]	Valetta [MT][IND]	
Hassi R'Mel [DZ]	0,00	5,57	39,28	0,00	0,00	0,00	44,86
Bakú [AZ]	0,00	20,57	0,00	0,00	4,69	0,00	25,27
Tel Aviv [IL]	15,98	9,29	0,00	0,00	0,00	0,00	25,27
Lagos [NG]	0,00	0,00	33,02	0,00	0,00	0,08	33,10
Bergen [NR]	0,00	4,33	0,00	91,90	0,00	0,00	96,24
Doha [QA]	0,00	33,10	0,00	0,00	0,00	0,00	33,10
New York [US]	0,00	33,10	0,00	0,00	0,00	0,00	33,10
	15,98	105,96	72,30	91,90	4,69	0,08	

Tabla 18. Solución y datos (costes aleatorios) mostrados en el Excel

	xij	Fossil fuels [%]	Nuclear [%]	Wind [%]	Hydro [%]	Biofuels [%]	Solar [%]	Other [%]
1	Austria [AU]	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	40,0%	0,0%	55,0%
2	Belgium [BE]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	40,0%	5,0%	55,0%
3	Bulgaria [BG]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	95,0%	0,0%
4	Croatia [HR]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%
5	Cyprus [CY]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	40,0%	55,0%
6	Czech Republic [CZ]	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	95,0%	0,0%
7	Denmark [DK]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	40,0%	55,0%
8	Estonia [EE]	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%
9	Finland [FI]	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	40,0%	55,0%
10	France [FR]	0,0%	55,0%	0,0%	5,0%	40,0%	0,0%	0,0%
11	Germany [DE]	0,0%	0,0%	95,0%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%
12	Greece [GR]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%
13	Hungary [HU]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	95,0%	0,0%
14	Ireland [IE]	0,0%	55,0%	0,0%	0,0%	40,0%	5,0%	0,0%
15	Italy [IT]	0,0%	55,0%	0,0%	0,0%	40,0%	5,0%	0,0%
16	Latvia [LV]	0,0%	55,0%	40,0%	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%
17	Lithuania [LT]	0,0%	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%
18	Luxembourg [LU]	0,0%	0,0%	0,0%	5,0%	95,0%	0,0%	0,0%
19	Malta [MT]	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%
20	Netherlands [NL]	0,0%	0,0%	95,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%
21	Poland [PL]	0,0%	0,0%	5,0%	95,0%	0,0%	0,0%	0,0%
22	Portugal [PT]	0,0%	0,0%	40,0%	5,0%	0,0%	0,0%	55,0%
23	Romania [RO]	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%	0,0%
24	Slovakia [SK]	0,0%	0,0%	5,0%	0,0%	95,0%	0,0%	0,0%
25	Slovenia [SI]	0,0%	0,0%	0,0%	95,0%	5,0%	0,0%	0,0%
26	Spain [ES]	55,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%	40,0%	0,0%
27	Sweden [SE]	0,0%	0,0%	95,0%	0,0%	5,0%	0,0%	0,0%
		1	2	3	4	5	6	7

	Cij	Fossil fuels	Nuclear	Wind	Hydro	Biofuels	Solar	Other
	Austria [AU]	0,93	0,37	0,89	0,46	0,14	0,91	0,03
	Belgium [BE]	0,36	0,70	0,79	0,56	0,41	0,46	0,10
	Bulgaria [BG]	0,66	0,17	0,89	0,95	0,22	0,17	0,83
	Croatia [HR]	0,33	0,65	0,87	0,83	0,28	0,35	0,79
	Cyprus [CY]	0,09	0,99	0,94	0,81	0,51	0,15	0,05
	Czech Republic [CZ]	0,96	0,49	0,62	0,99	0,83	0,49	0,79
	Denmark [DK]	0,73	0,39	0,94	0,60	0,56	0,39	0,05
	Estonia [EE]	0,63	0,11	0,02	0,07	0,64	0,99	0,76
	Finland [FI]	0,54	0,14	0,66	0,43	0,46	0,09	0,05
	France [FR]	0,40	0,07	0,16	0,15	0,11	0,80	0,77
	Germany [DE]	0,44	0,56	0,05	0,83	0,90	0,28	0,49
	Greece [GR]	0,17	0,55	0,42	0,98	0,16	0,24	0,24
	Hungary [HU]	0,87	0,78	0,75	0,83	0,19	0,10	0,44
	Ireland [IE]	0,74	0,12	0,82	0,92	0,13	0,55	0,32
	Italy [IT]	0,51	0,09	0,56	0,95	0,33	0,37	0,64
	Latvia [LV]	0,28	0,10	0,69	0,94	0,82	0,71	0,73
	Lithuania [LT]	0,39	0,69	0,78	0,04	0,08	0,67	0,07
	Luxembourg [LU]	0,91	0,99	0,11	0,10	0,02	1,00	0,22
	Malta [MT]	0,36	0,12	0,25	0,79	0,04	0,21	0,74
	Netherlands [NL]	0,26	0,88	0,03	0,50	0,14	0,77	0,97
	Poland [PL]	0,80	0,65	0,11	0,03	0,61	0,97	0,89
	Portugal [PT]	0,32	0,30	0,20	0,45	0,67	0,82	0,01
	Romania [RO]	0,60	0,84	0,20	0,77	0,85	0,80	0,86
	Slovakia [SK]	0,37	0,35	0,14	0,65	0,03	0,18	0,16
	Slovenia [SI]	0,55	0,54	0,95	0,10	0,52	0,53	0,27
	Spain [ES]	0,15	0,89	0,70	0,86	0,99	0,17	0,56
	Sweden [SE]	0,31	0,26	0,15	0,83	0,26	0,84	0,98

# ANEXO DE FIGURAS

Figura 15. Relación entre la población y el PIB

Población [hab] vs. PIB [M€]

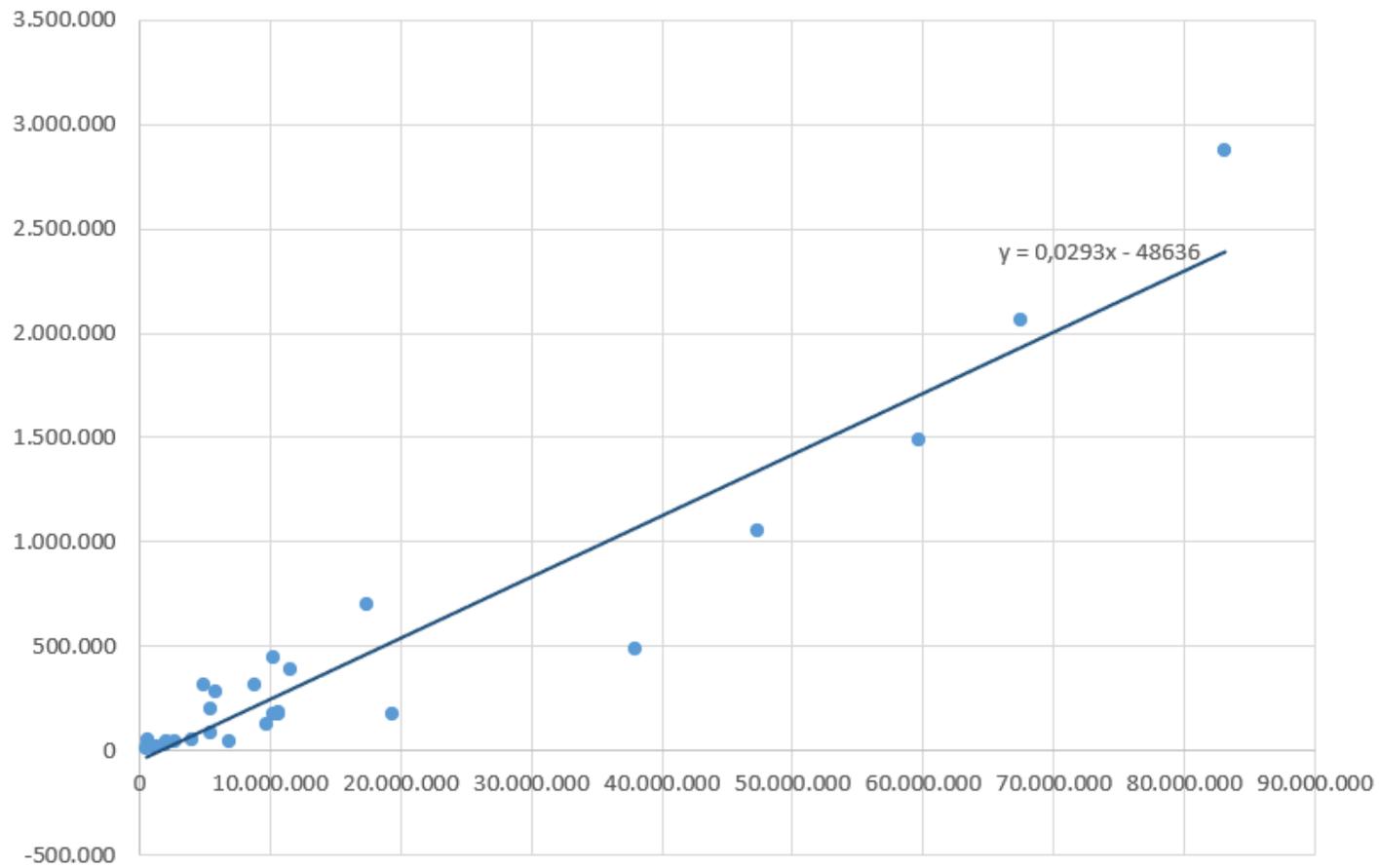


Figura 16. Relación entre la población y el consumo

Población [hab] vs. Consumo [Mtoe]

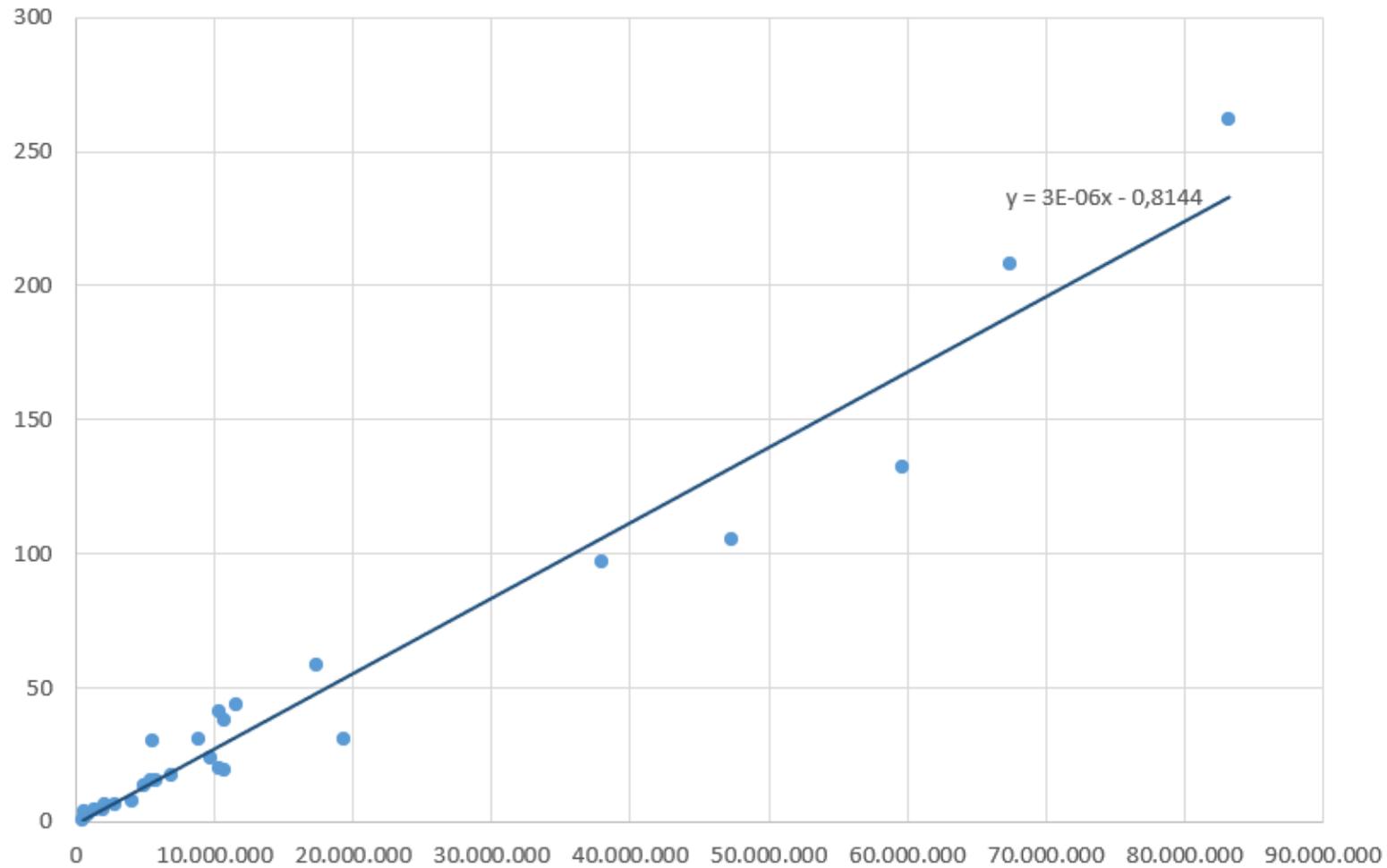


Figura 17. Relación entre el PIB y el consumo

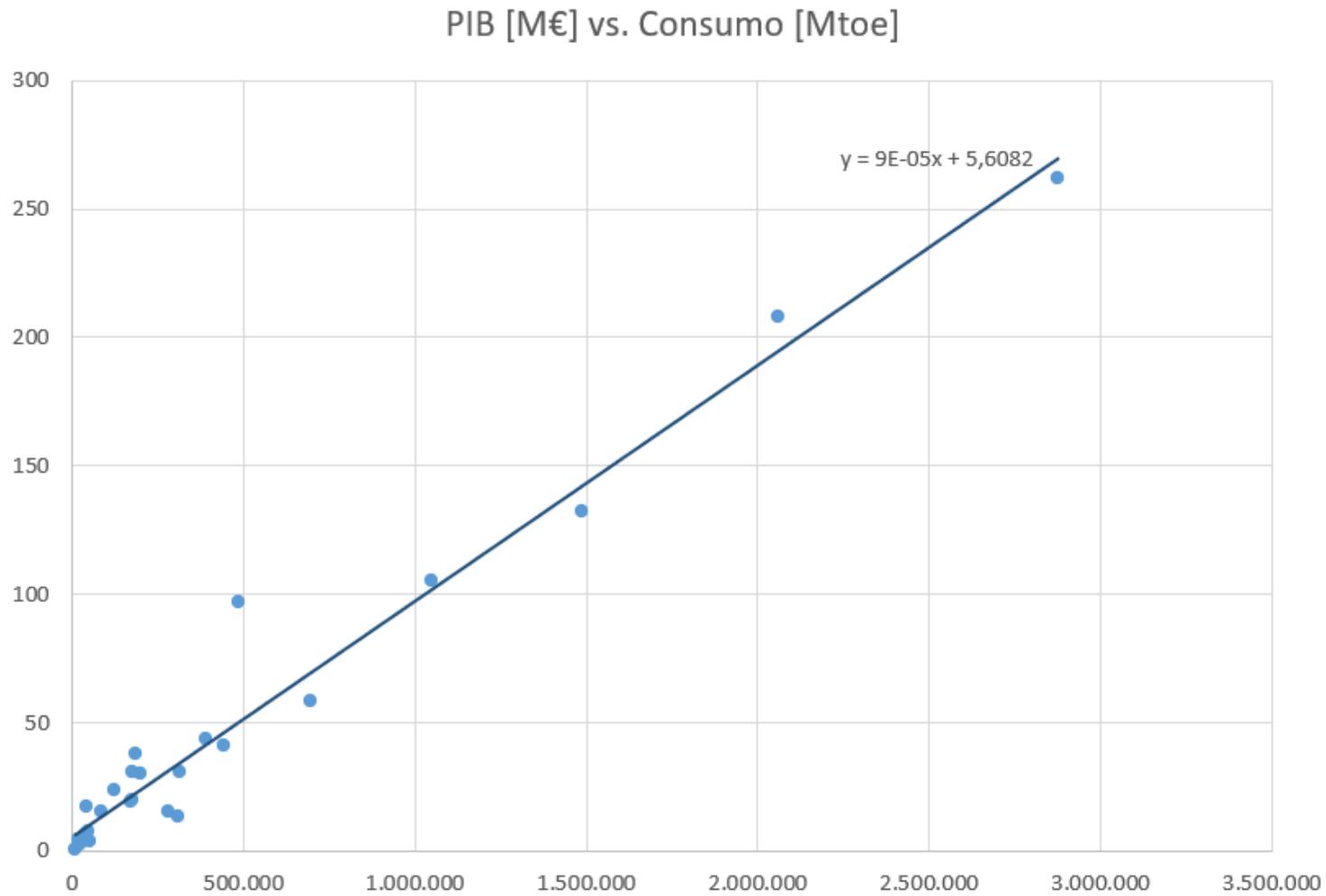
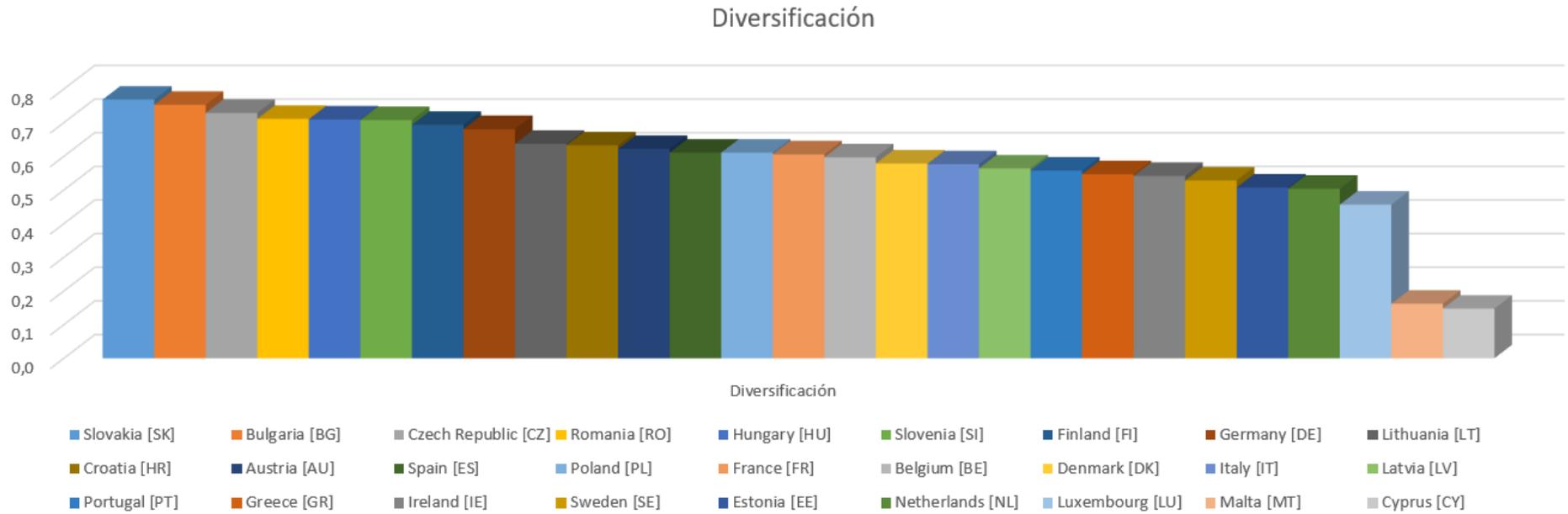


Figura 20. Países ordenados de mayor a menor índice de diversificación



**Figura 21a. Diversificación frente a la población**

Diversificación vs. Población [hab]

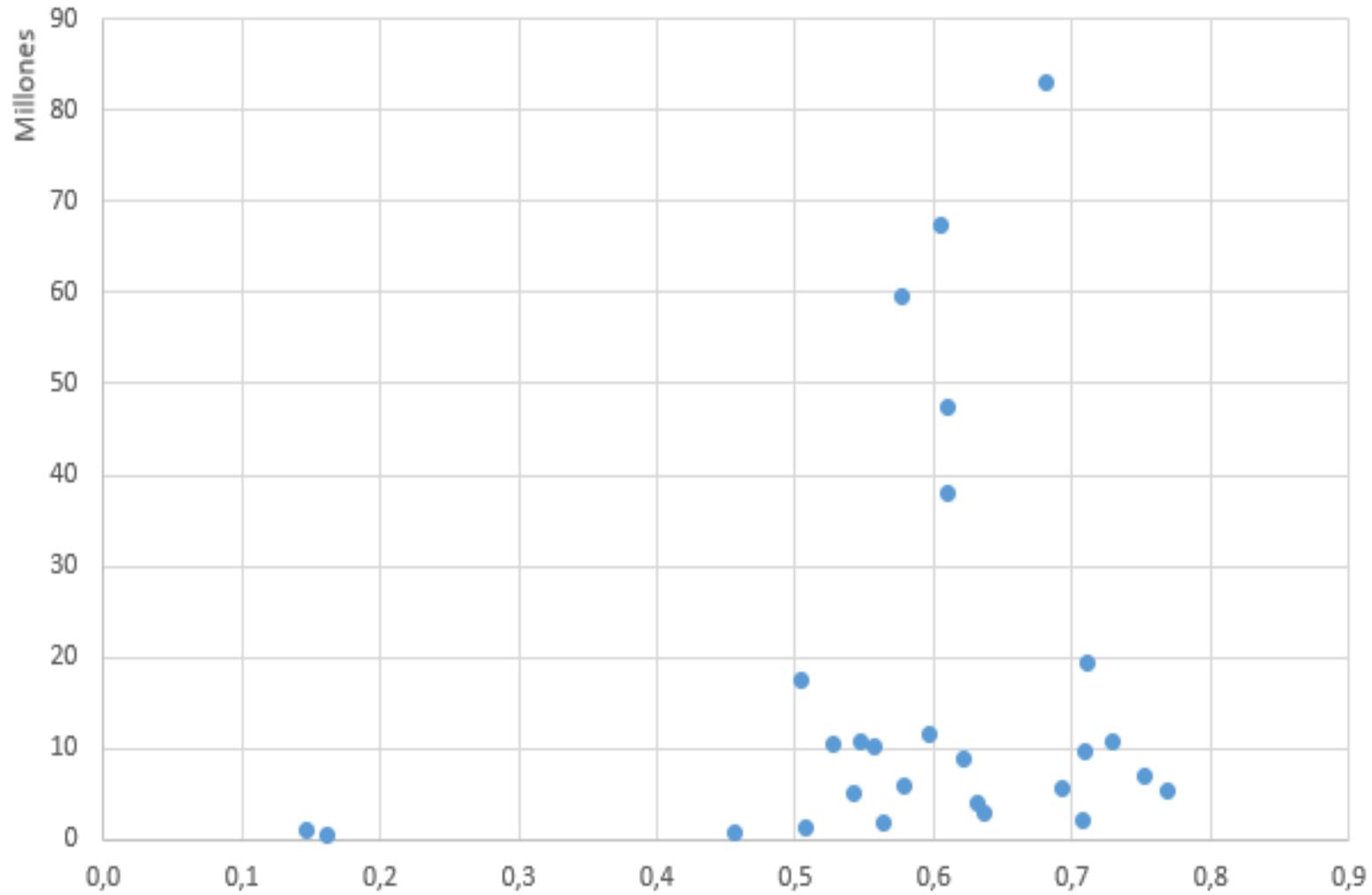
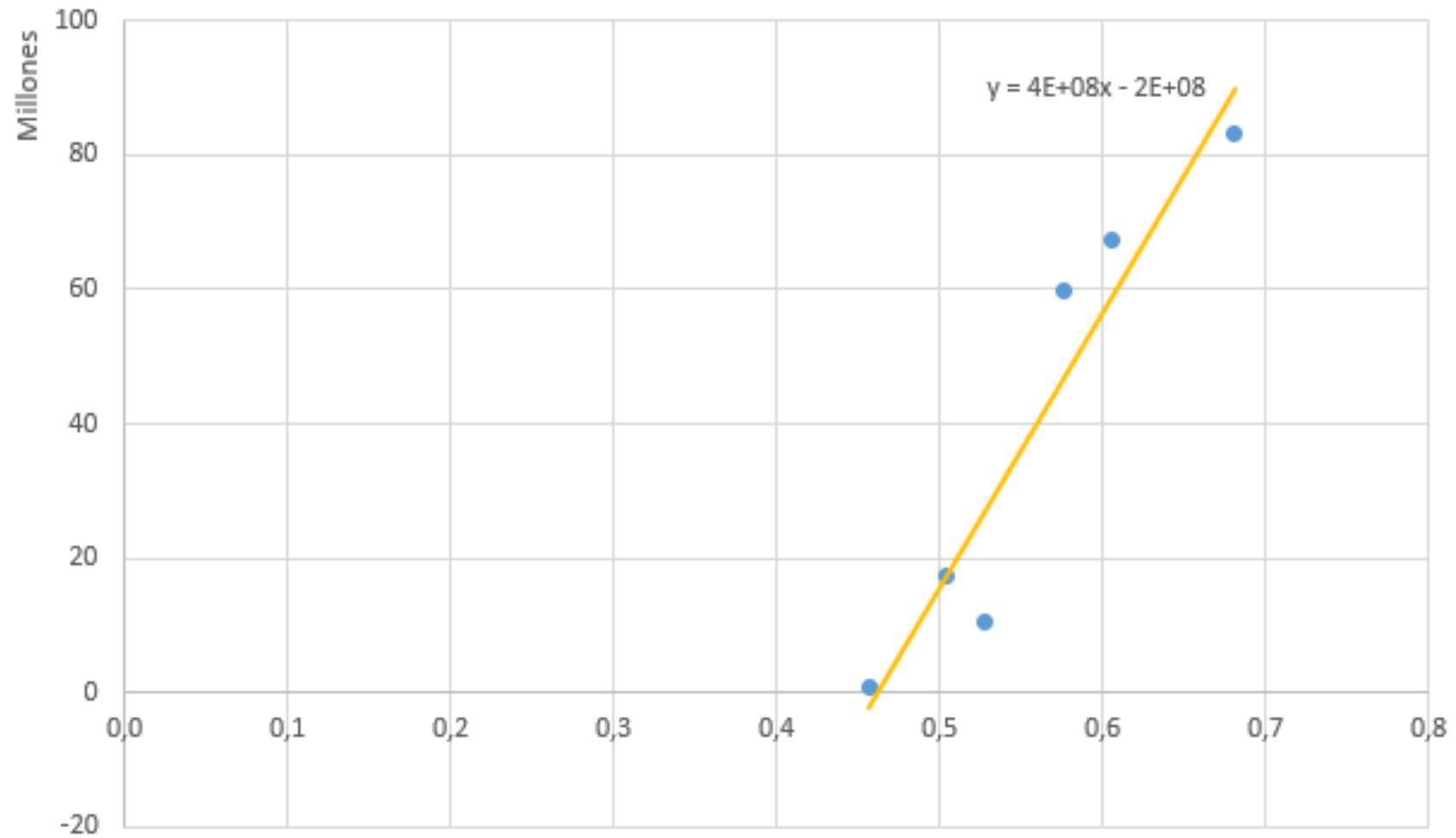


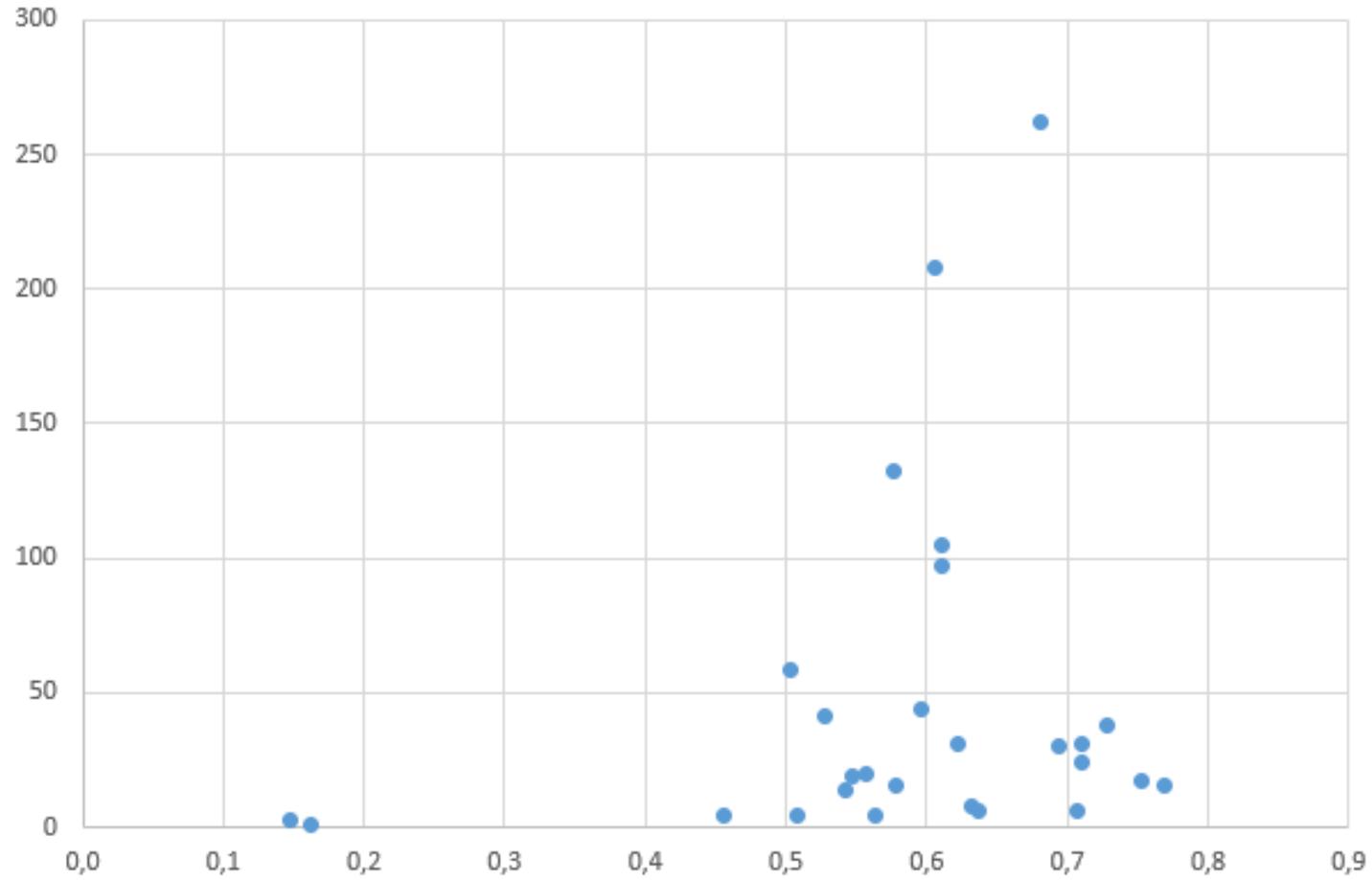
Figura 21b. Diversificación frente a la población

Diversificación vs. Población [hab]



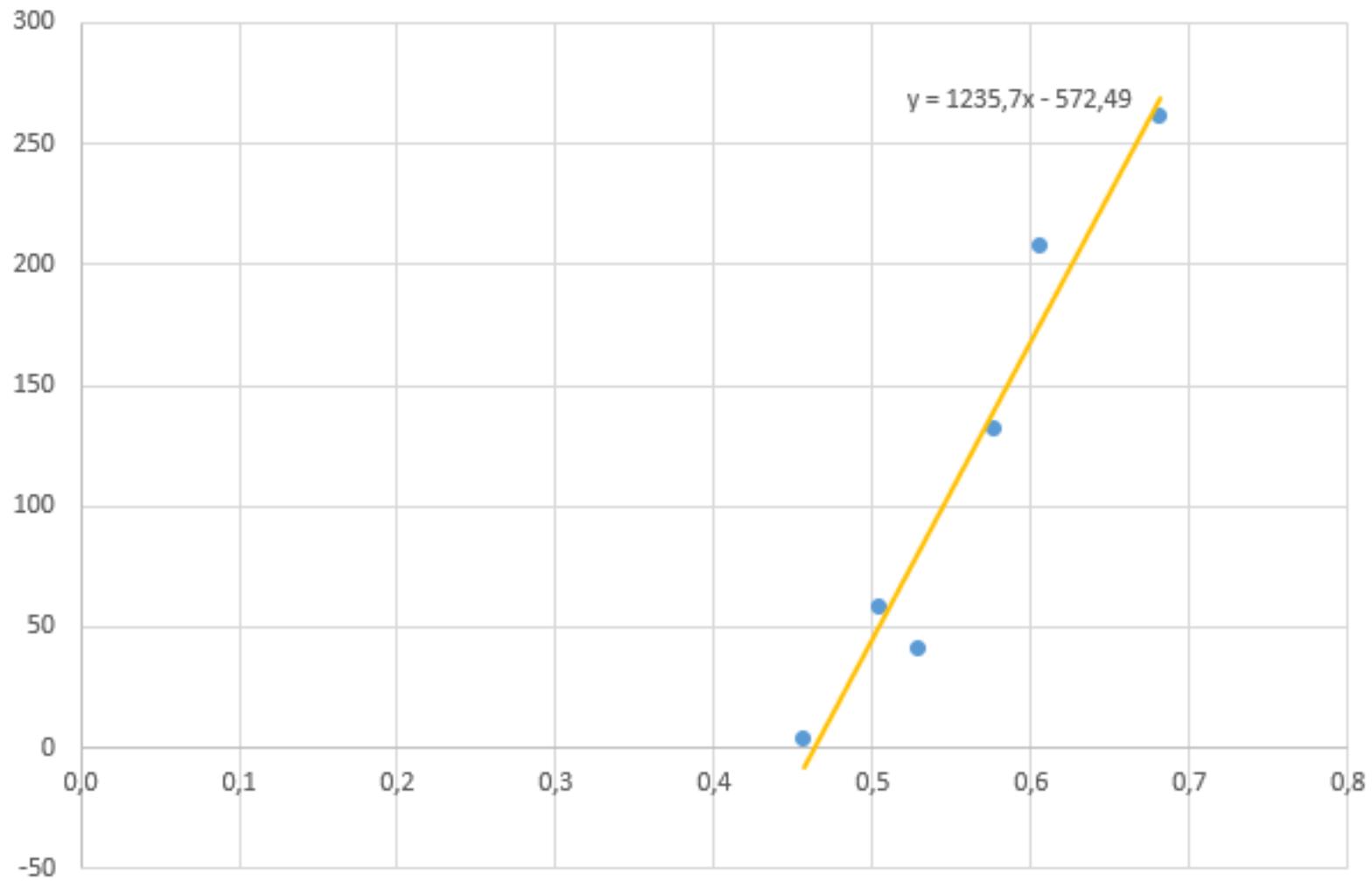
**Figura 21c. Diversificación frente a la población**

Diversificación vs. Consumo [Mtoe]



**Figura 21d. Diversificación frente a la población**

Diversificación vs. Consumo [Mtoe]



**Figura 21e. Diversificación frente a la población**

Diversificación vs. PIB [Mill €]

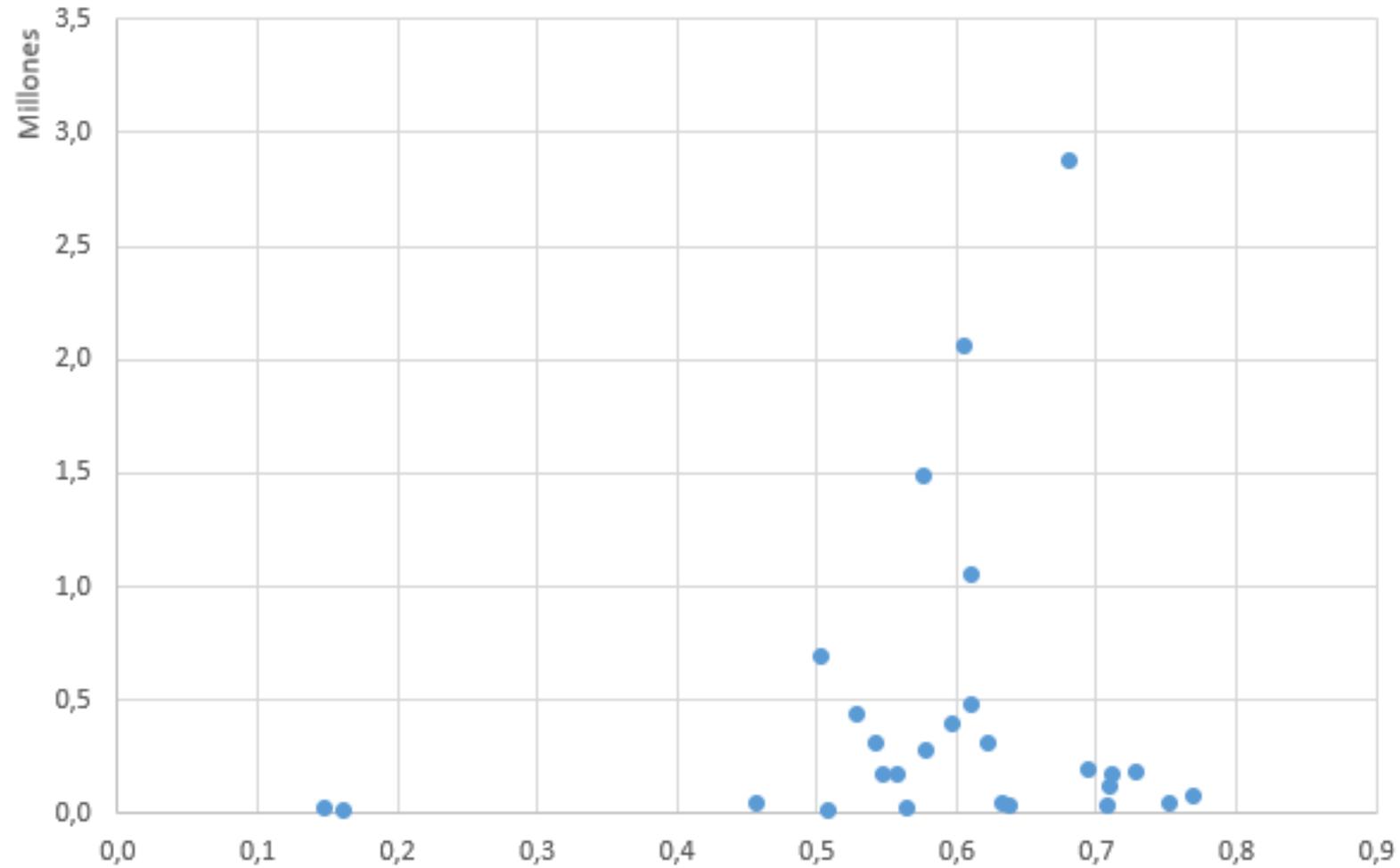
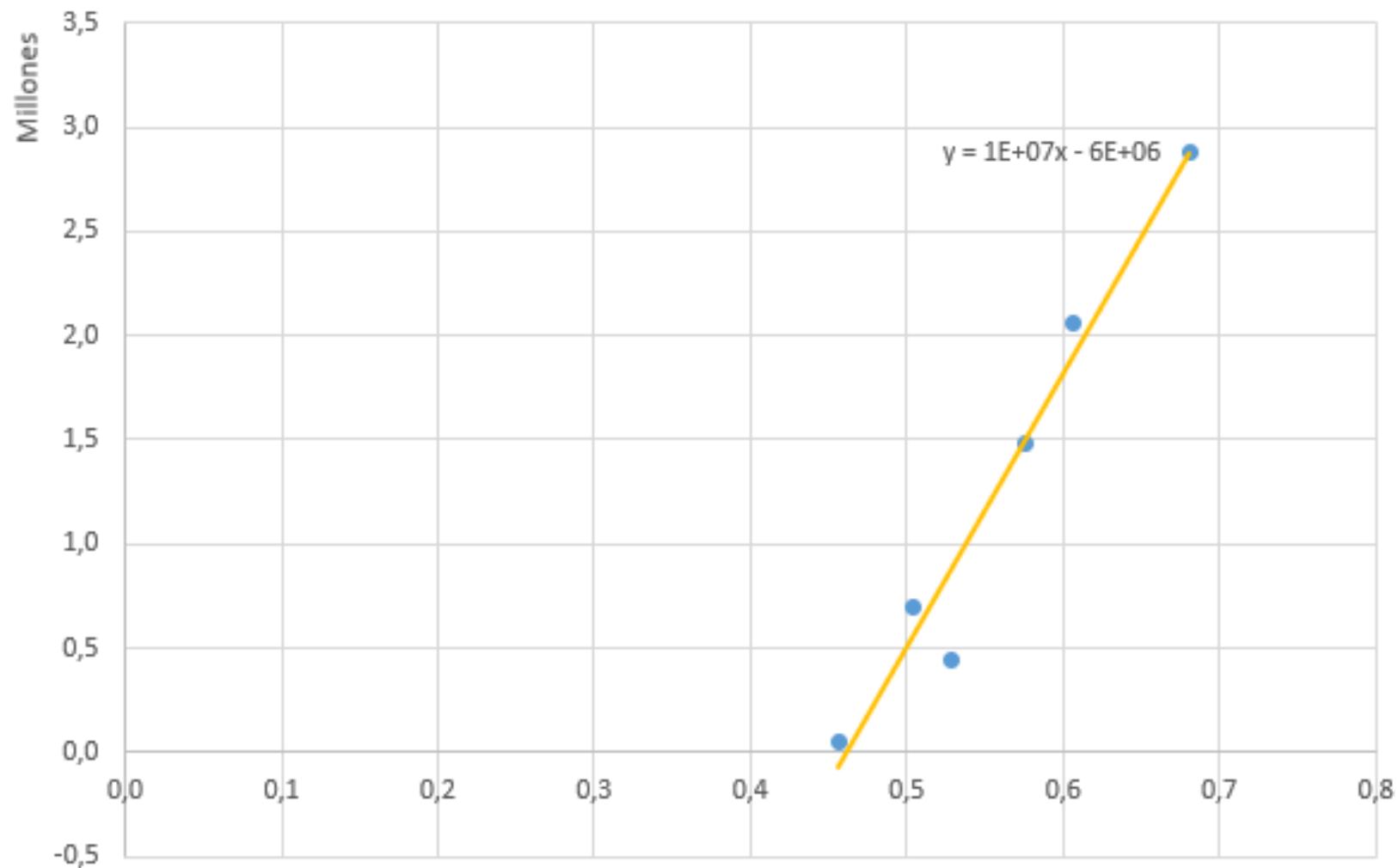


Figura 21f. Diversificación frente a la población

Diversificación vs. PIB [Mill €]



**Figura 22a. Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE**

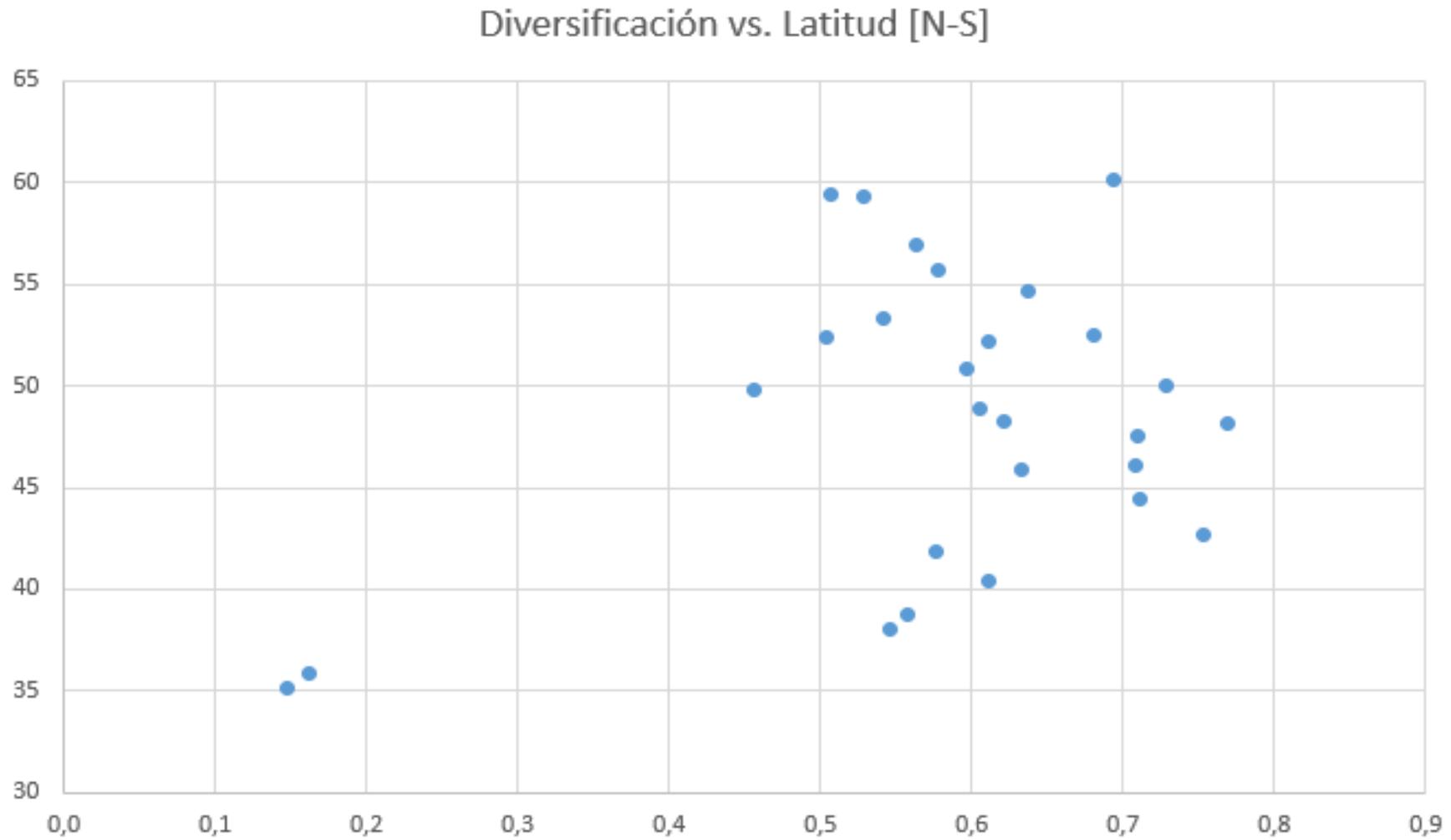


Figura 22b. Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE

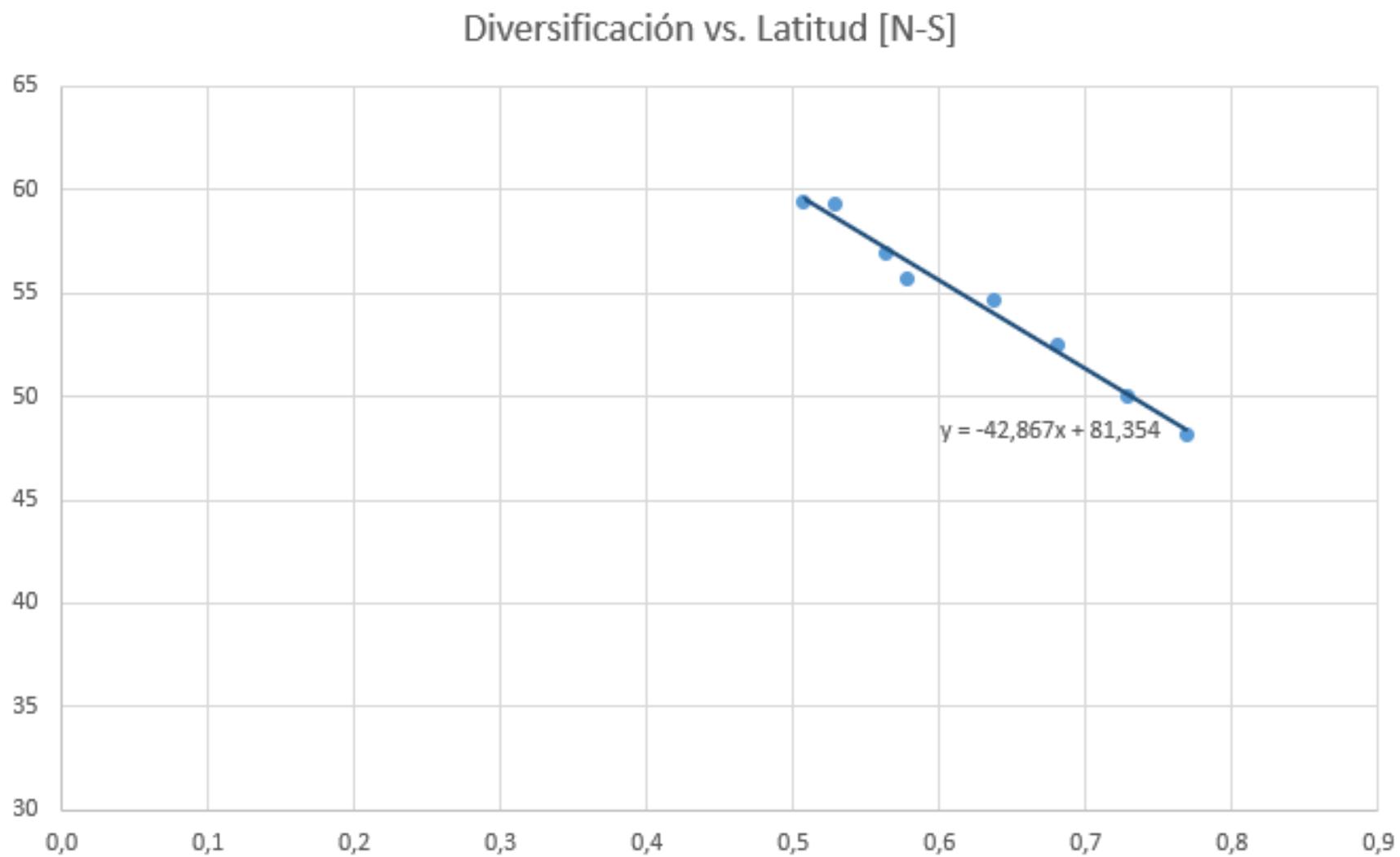


Figura 22c. Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE

Diversificación vs. Latitud [N-S]

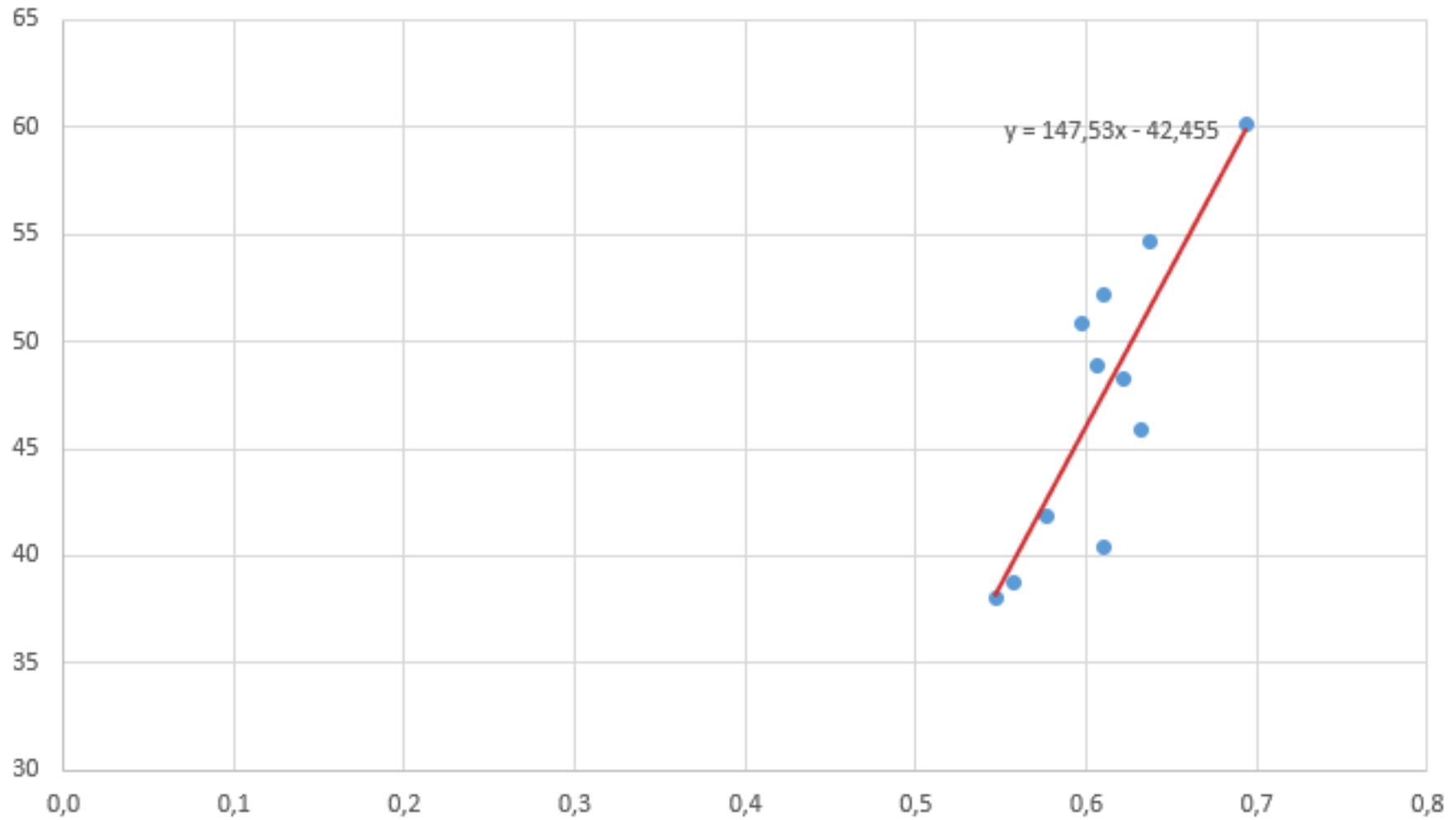
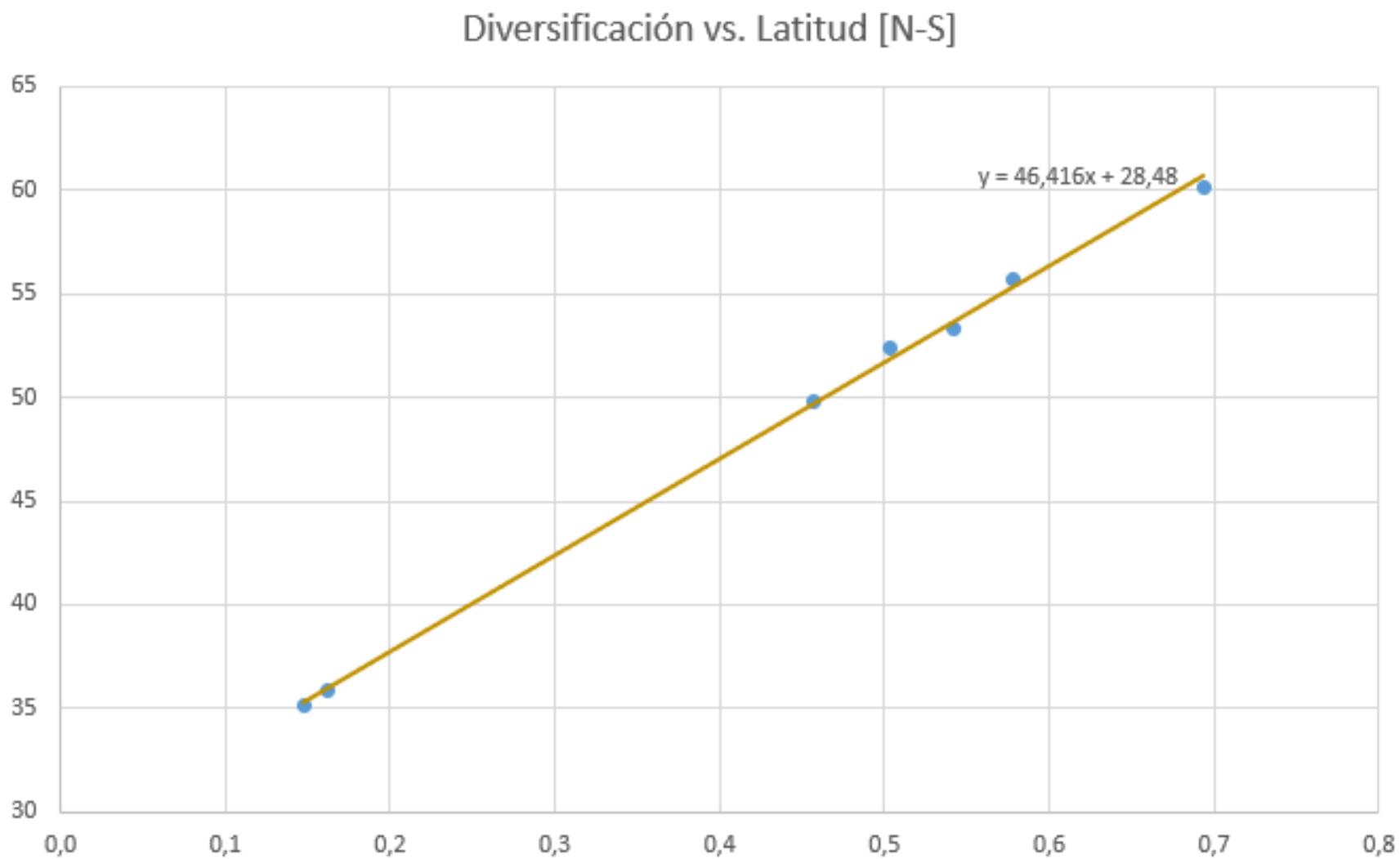


Figura 22d. Diversificación frente a latitud de las capitales de la UE



**Figura 23a. Diversificación frente a superficie**

Diversificación vs. Superficie [km2]

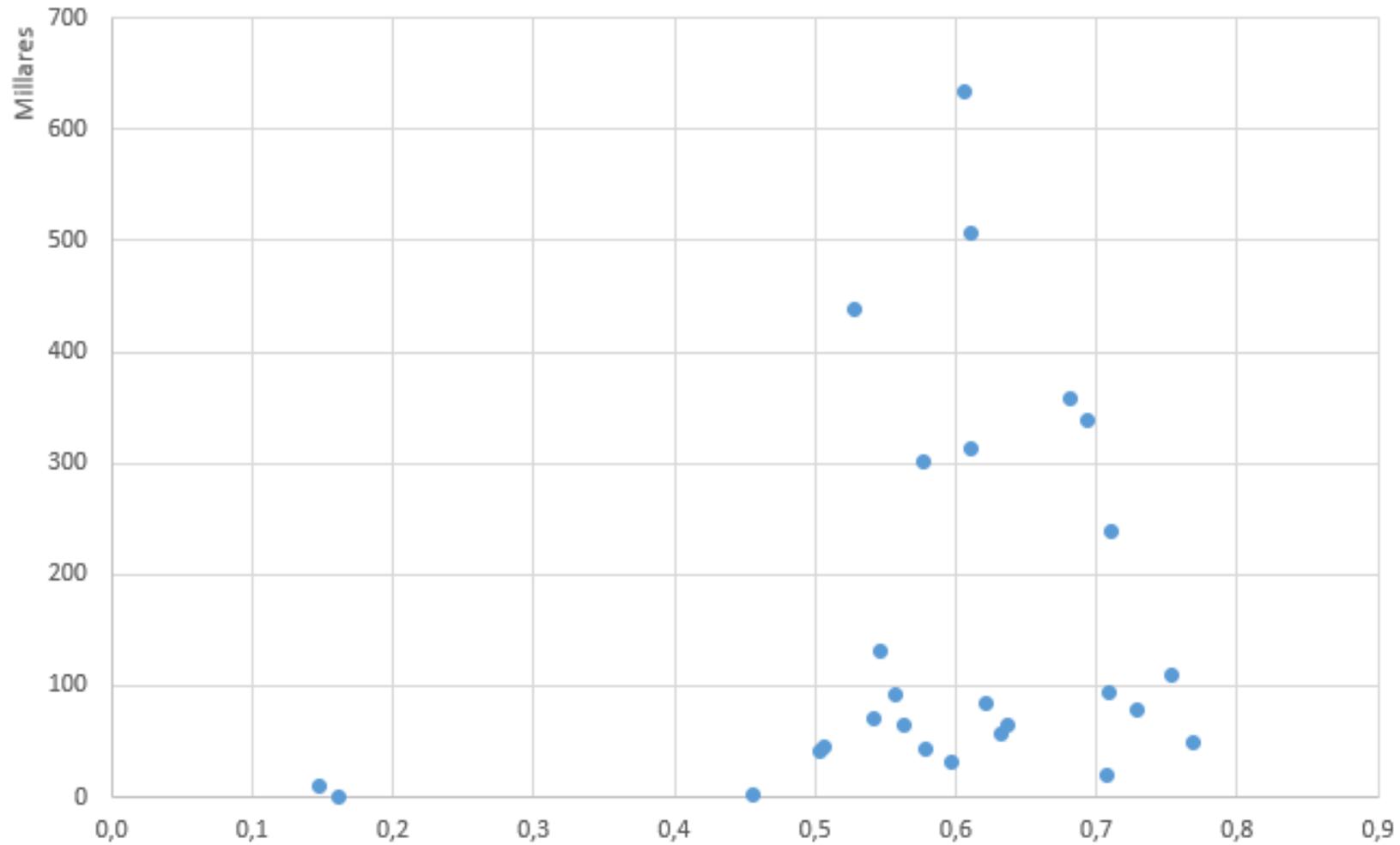


Figura 23b. Diversificación frente a superficie

Diversificación vs. Superficie [km2]

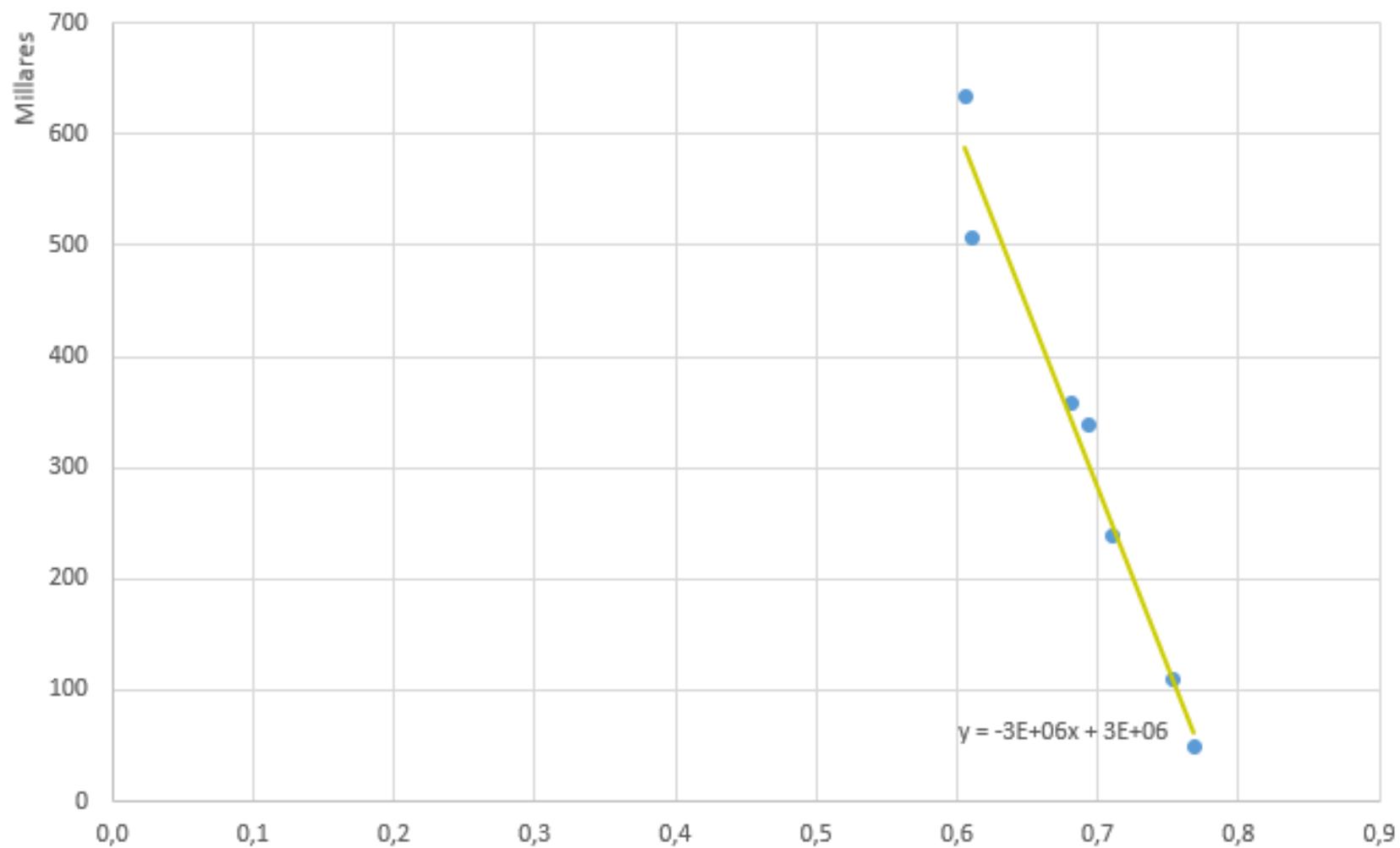


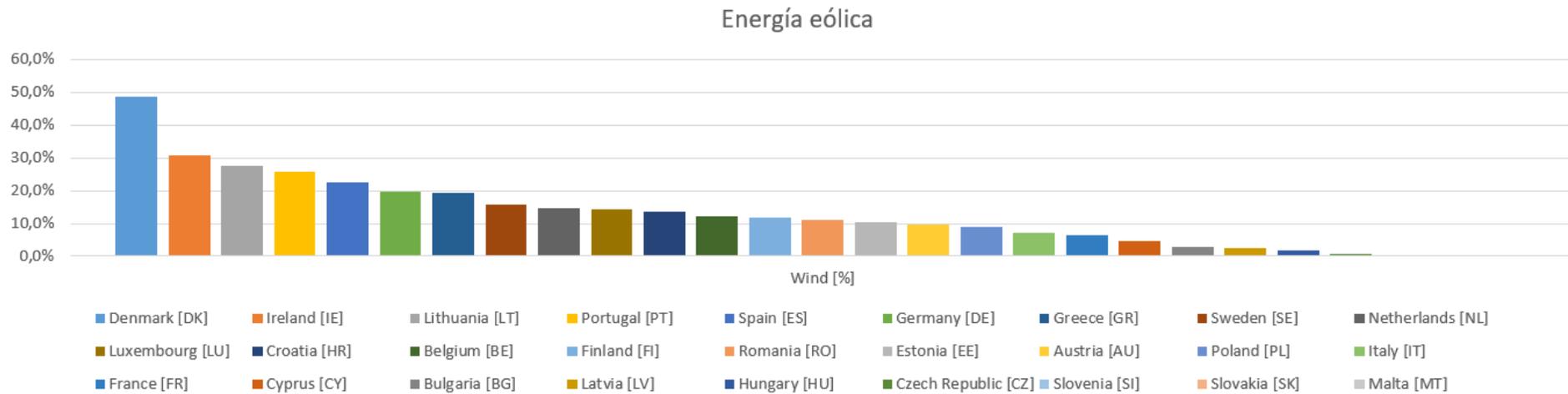
Figura 24. Tabla de resultados en el EMS

	DMU	Score	x1(IN){V}	x2(I){V}	x3(I){V}	x4(I){V}	x5(I){V}	x6(I){V}	y1(O){V}	Benchmarks	{S} x1(IN)	{S} x2(I)	{S} x3(I)	{S} x4(I)	{S} x5(I)	{S} x6(I)	{S} y1(O)
1	AT	61.45542198%	0,00	0,68	0,32	0,00	0,00	0,00	1,24	7 (0,29) 14 (0,70) 15 (0,01)	011734,51577868	0,00000007	0,00000021	2,94624191	0,00000000	0,64793685	0,00087029
2	BE	68.48911358%	0,00	0,00	0,00	0,44	0,00	0,56	0,95	10 (0,01) 14 (0,84) 20 (0,14)	857693,84938893	3,50537940	0,55285852	0,00000000	3,00032901	0,00000003	0,00012389
3	BG	25.12608843%	0,00	0,54	0,33	0,13	0,00	0,00	0,21	7 (0,00) 8 (0,35) 14 (0,10) 19 (0,55)	693444,25834552	0,00000000	0,00000000	0,00000000	1,04524025	0,12792059	0,00000149
4	HR	49.92944037%	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,04	0,34	8 (0,02) 14 (0,12) 19 (0,86)	983865,57757075	0,00000000	0,56099457	0,77150649	0,00000000	0,00000000	0,00003032
5	CY	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1						
6	CZ	45.07106518%	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,47	8 (0,43) 14 (0,57)	289162,38611775	0,00000000	0,39407059	0,64989714	3,15125169	3,68075731	0,00000576
7	DK	199.01477395%	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	2,16		6						
8	EE	357.60965608%	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,64		8						
9	FI	57.02891762%	0,00	0,53	0,24	0,23	0,00	0,00	0,54	7 (0,40) 8 (0,33) 19 (0,08) 27 (0,18)	822982,48117772	0,00000000	0,00000000	0,00000001	0,99989481	0,07190017	0,00000478
10	FR	360.84707206%	7,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	12,65		1						
11	DE	big	26167820,14	0,01	0,03	0,02	0,91	0,02	33253094,54		0						
12	GR	49.50606191%	0,00	0,00	0,76	0,24	0,00	0,00	0,54	5 (0,46) 7 (0,10) 14 (0,44)	553191,87190778	0,64138459	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,15538761	0,00000612
13	HU	39.30773253%	0,00	0,94	0,00	0,00	0,00	0,06	0,33	8 (0,11) 14 (0,38) 19 (0,52)	496233,33309675	0,00000000	1,41492011	0,27544077	1,45554567	0,00000001	0,00000601
14	IE	big	18233179,77	0,00	0,00	0,99	0,00	0,00	26034153,07		14						
15	IT	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		3						
16	LV	62.17625134%	0,00	0,61	0,00	0,00	0,00	0,39	0,66	14 (0,03) 18 (0,07) 19 (0,90)	234408,26217861	0,00000000	0,26305709	0,94965896	0,00000000	0,00000000	0,00000081
17	LT	56.46237098%	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,48	0,59	14 (0,07) 18 (0,21) 19 (0,72)	958672,30582677	0,00000000	0,40271722	0,53449005	0,00000000	0,00000000	0,00000077
18	LU	big	17510073,49	0,28	0,71	0,00	0,00	0,00	21202692,79		3						
19	MT	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		9						
20	NL	321.72090812%	9,99	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	18,65		1						
21	PL	67.93296081%	0,00	0,00	0,85	0,15	0,00	0,00	1,19	7 (0,57) 14 (0,26) 15 (0,16)	480962,97591820	6,73054680	0,00000004	0,00000030	0,00000000	24,89110224	0,00150012
22	PT	88.95284567%	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,96	1,08	14 (0,20) 15 (0,05) 18 (0,75)	773940,78124250	2,31752448	0,00000002	2,96300553	0,00000000	0,00000000	0,00000058
23	RO	37.41756404%	0,00	0,91	0,00	0,00	0,00	0,09	0,33	8 (0,32) 14 (0,54) 19 (0,14)	169568,29620850	0,00000000	0,99723615	0,83787986	1,03001946	0,00000003	0,00009378
24	SK	52.52689384%	0,00	0,84	0,00	0,00	0,00	0,16	0,42	8 (0,42) 14 (0,23) 19 (0,35)	571199,07989205	0,00000000	0,79996397	0,13710438	1,96150131	0,00000000	0,00002548
25	SI	56.88947411%	0,00	0,62	0,23	0,15	0,00	0,00	0,46	7 (0,07) 8 (0,14) 14 (0,03) 19 (0,76)	936547,89346157	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,81169902	0,15036298	0,00000027
26	ES	116.18967174%	0,00	0,00	0,04	0,00	0,08	0,88	1,20		0						
27	SE	529.11373646%	8,96	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	20,05		1						

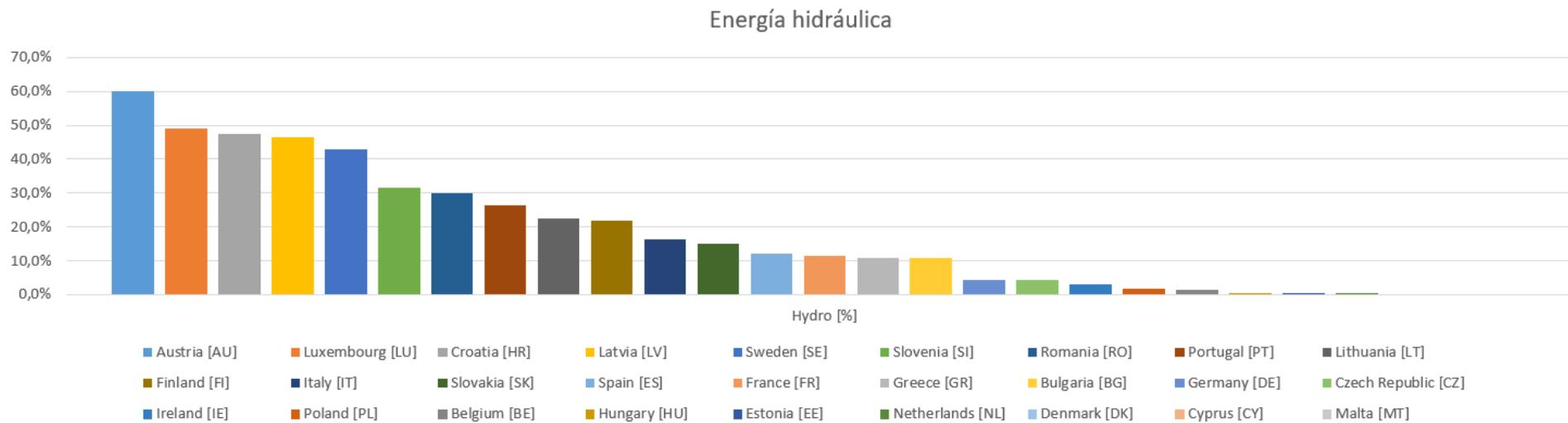
Figura 25. Resultados del DEA en el caso de las energías renovables

	DMU	Score	x1(I)	x2(I)	x3(I)	x4(I)	x5(I)	x6(I)	y1(O)	Benchmarks	{S} x1(I)	{S} x2(I)	{S} x3(I)	{S} x4(I)	{S} x5(I)	{S} x6(I)	{S} y1(O)
1	AT	165,43749176%	0,26	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,06		1						
2	BE	61,68487827%	0,07	0,00	0,00	0,05	0,00	0,95	0,58	7 (0,81) 10 (0,03) 16 (0,01) 22 (0,06)	0,01569005	0,96301845	2,08343876	0,00000000	0,00000303	0,00000000	0,00008294
3	BG	91,21145056%	0,00	0,49	0,00	0,51	0,00	0,00	0,00	7 (0,52) 16 (0,48)	000606,17446933	0,00000000	0,76238088	0,00000000	3,79437810	3,20555079	112223,26769326
4	HR	99,92831459%	0,00	0,34	0,00	0,66	0,00	0,00	0,00	7 (0,25) 16 (0,75)	188649,00539024	0,00000000	1,22647687	0,00000000	0,00000000	0,04931212	38865,08630476
5	CY	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		1						
6	CZ	76,91660357%	0,00	0,67	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	7 (0,86) 9 (0,14)	913728,63405705	0,00000002	3,23928783	0,00000000	4,64641362	7,72373201	81515,88351269
7	DK	249,24075522%	4,13	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	2,01		8						
8	EE	731,01614289%	2,51	0,93	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00		1						
9	FI	226,59824464%	6,56	0,00	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00		2						
10	FR	360,84707204%	7,13	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	12,65		1						
11	DE	big	72,53	0,03	0,03	0,00	0,90	0,03	99,85		0						
12	GR	60,41596174%	0,00	0,34	0,00	0,31	0,00	0,35	0,00	7 (0,81) 16 (0,08) 22 (0,11)	716451,02140726	0,00000000	0,42459162	0,00000000	0,00000000	0,00000000	73760,41607778
13	HU	72,67050814%	0,00	0,63	0,00	0,37	0,00	0,00	0,00	7 (0,77) 16 (0,23)	844448,03190845	0,00000000	4,10429924	0,00000000	2,69095258	0,39178439	95946,04307049
14	IE	big	25,49	0,99	0,00	0,00	0,00	0,00	98,51		1						
15	IT	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0						
16	LV	245,04080202%	2,39	0,00	0,00	0,94	0,00	0,06	0,00		8						
17	LT	78,25102269%	0,00	0,01	0,00	0,18	0,00	0,81	0,72	14 (0,04) 16 (0,93) 18 (0,01) 22 (0,03)	530383,26671094	0,00000016	0,13505286	0,00000000	0,00000000	0,00000000	0,00000752
18	LU	big	49,75	0,01	0,00	0,98	0,00	0,01	47,59		1						
19	MT	big	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		0						
20	NL	321,72090935%	9,99	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	18,65		0						
21	PL	104,13351614%	0,00	0,00	0,21	0,79	0,00	0,00	0,00		0						
22	PT	138,02291134%	0,00	0,00	0,00	0,39	0,00	0,61	0,00		3						
23	RO	75,99474826%	0,00	0,41	0,00	0,50	0,09	0,00	0,00	1 (0,10) 7 (0,49) 9 (0,41)	331905,17615430	0,00000003	4,61053806	0,00000000	0,00000004	0,72259608	75847,27460114
24	SK	90,15776469%	0,00	0,38	0,00	0,62	0,00	0,00	0,00	7 (0,33) 16 (0,67)	250278,64694100	0,00000000	2,18789078	0,00000000	3,36674338	1,69669353	24260,02146986
25	SI	91,71715736%	0,00	0,00	0,63	0,19	0,00	0,19	0,05	5 (0,04) 8 (0,35) 16 (0,56) 27 (0,05)	51937,34619792	0,40213432	0,00000000	0,00000001	0,83244744	0,00000002	0,00167932
26	ES	121,38308361%	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,85	0,89		1						
27	SE	570,54216505%	14,10	0,00	0,85	0,15	0,00	0,00	26,53		1						

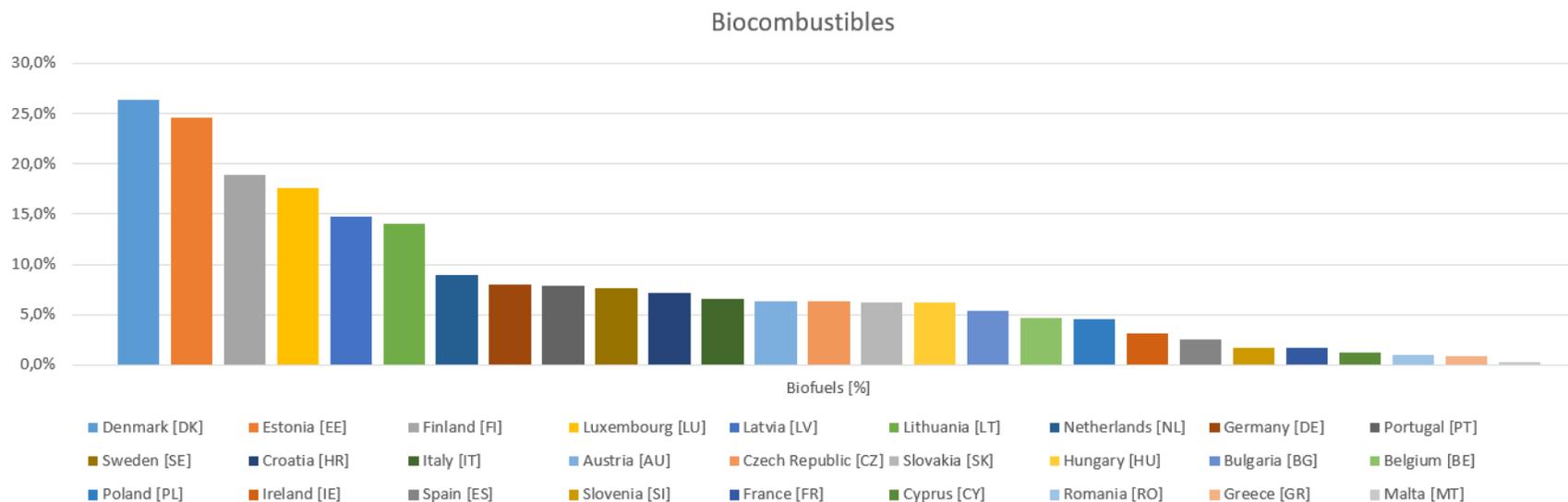
**Figura 27. Uso de la energía eólica para la producción de electricidad**



**Figura 29. Uso de la energía hidráulica para la producción de electricidad**



**Figura 30. Uso de los biocombustibles para la producción de electricidad**



**Figura 31. Uso de la energía solar para la producción de electricidad**

