



UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE  
Departamento de Ciencia de los Materiales, Óptica  
y Tecnología Electrónica

TESIS DOCTORAL

# Análisis de indicadores macroeconómicos para la sostenibilidad energética

Tesis Doctoral presentada por:  
**D. Alberto Martínez Sentana**

Directores:  
**Dr. Sergio Valero Verdú**  
**Dr. Emilio Velasco Sánchez**



# Universidad Miguel Hernández de Elche

Departamento de Ciencia de los Materiales, Óptica y  
Tecnología Electrónica



“Análisis de indicadores macroeconómicos para la  
sostenibilidad energética”

## **Tesis Doctoral**

Doctorando: D. Alberto Martínez Sentana

Directores: Dr. Sergio Valero Verdú

Dr. Emilio Velasco Sánchez





29 de Mayo de 2017

D. SERGIO VALERO VERDÚ, Profesor Titular de Universidad del área de Ingeniería Eléctrica del Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

D. EMILIO VELASCO SANCHEZ, Profesor Titular de Universidad del área de Ingeniería Mecánica del Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

HACEMOS CONSTAR

Que el presente trabajo ha sido realizado bajo nuestra dirección y recoge fielmente la labor realizada por el Ingeniero D. Alberto Martínez Sentana para optar al grado de Doctor. Las investigaciones reflejadas en esta Tesis se han desarrollado en el área de Ingeniería Eléctrica del Dpto. de Ingeniería Mecánica y Energía de la Universidad Miguel Hernández de Elche.

Fdo.: Dr. Sergio Valero Verdú

Fdo.: Dr. Emilio Velasco Sánchez



Dña. **Piedad de Aza Moya**, Catedrática de Universidad y Directora del Departamento de Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica,

**Certifica**

Que el trabajo realizado por D. Alberto Martínez Sentana titulado “**Análisis de indicadores macroeconómicos para la sostenibilidad energética**”, ha sido dirigido por el Dr. D. Sergio Valero Verdú y Dr. D. Emilio Velasco Sánchez y realizado en el Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía, se encuentra en condiciones de ser leído y defendido como Tesis Doctoral ante el correspondiente tribunal en la Universidad Miguel Hernández.

Lo que firmo para los efectos oportunos en Elche a 29 de Mayo de 2017.



Dña. Piedad de Aza Moya  
Directora Departamento de Ciencia de Materiales, Óptica y Tecnología Electrónica



## Índice General

<b>Índice General</b> .....	<b>3</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>7</b>
<b>Índice de Ecuaciones</b> .....	<b>13</b>
<b>Índice de Tablas</b> .....	<b>15</b>
<b>Capítulo 1 Introducción General</b> .....	<b>19</b>
<b>1 Agradecimientos</b> .....	<b>19</b>
<b>2 Introducción</b> .....	<b>20</b>
<b>3 Objetivos de la tesis</b> .....	<b>22</b>
<b>4 Principales contribuciones</b> .....	<b>24</b>
<b>Capítulo 2 Conceptualización de la sostenibilidad energética</b> .....	<b>25</b>
<b>1 El desarrollo sostenible</b> .....	<b>25</b>
1.1 Dimensiones del desarrollo sostenible: paradigmas fuerte y débil .....	25
1.2 Las fuerzas transversales: tecnología y política.....	30
1.3 Subsistemas en el desarrollo sostenible. Contextualización de la sostenibilidad energética en las tres dimensiones del desarrollo sostenible.....	32
1.4 Idoneidad de indicadores.....	35
1.5 Premisas para un modelo de indicadores de sostenibilidad energética .....	37
<b>2 Modelos de indicadores: Estado del arte</b> .....	<b>39</b>
2.1 El modelo WEC .....	39
2.2 El modelo EISD .....	44
2.3 El modelo IEA.....	49
2.4 El modelo “EU Reference Scenario” .....	52
2.4.1 La fuerza transversal de la Política en el modelo UE Reference Scenario.....	55
2.4.2 La fuerza transversal de la Tecnología en el modelo UE Reference Scenario.....	56

<b>Capítulo 3 La sostenibilidad energética de las naciones.....</b>	<b>59</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>59</b>
<b>2 Estableciendo la métrica de la gobernanza y la tecnología. Directrices para la toma de decisión en materia de política regional e inversión. ....</b>	<b>63</b>
2.1 Directrices de la gobernanza para la sostenibilidad energética .....	68
2.2 Directrices para la toma de decisión de inversiones en tecnología para la sostenibilidad energética .....	72
<b>3 Indicadores para la sostenibilidad energética.....</b>	<b>79</b>
3.1 Introducción .....	79
3.2 Determinación de los países a analizar.....	83
3.3 Indicadores de crecimiento económico y productividad.....	87
3.4 Indicadores de seguridad de suministro y demanda de energía.....	106
3.5 Indicadores de mercados y regulación .....	120
3.6 Indicadores de emisiones .....	130
3.7 Indicadores de equidad social y acceso a la energía .....	140
3.8 Resumen de indicadores para la sostenibilidad energética de las naciones.....	148
<b>Capítulo 4 Sector eléctrico en la UE: hacia la eficiencia de las economías y la competitividad .....</b>	<b>155</b>
<b>1 Introducción.....</b>	<b>155</b>
<b>2 Análisis del entorno .....</b>	<b>161</b>
2.1 Estrategias energéticas de la Unión Europea: hacia un mercado interior de la electricidad .....	163
2.2 Análisis de indicadores en el sector eléctrico .....	168
<b>3 Aproximación al comportamiento de los mercados mayorista y minorista.....</b>	<b>187</b>
3.1 Introducción .....	187
3.2 Mercado mayorista de electricidad .....	190
3.3 Mercado minorista de electricidad.....	199
<b>4 Eficiencia, productividad y competitividad de las naciones.....</b>	<b>213</b>

<b>Capítulo 5 Conclusiones y nuevas líneas de trabajo .....</b>	<b>221</b>
<b>1 Conclusiones .....</b>	<b>221</b>
1.1 Sobre la conceptualización de la sostenibilidad energética.....	221
1.2 Sobre los indicadores.....	225
1.3 Sobre los resultados en los países analizados.....	227
1.3.1 Respecto a la disociación de las tres dimensiones.....	227
1.3.2 Respecto del modelo.....	228
1.4 Sobre el sector eléctrico y la eficiencia de las economías y la competitividad .....	233
<b>2 Nuevas líneas de trabajo .....</b>	<b>239</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>241</b>





## Índice de Figuras

Figura 1. Dimensiones del desarrollo sostenible según el paradigma de sostenibilidad fuerte. Elaboración propia .....	27
Figura 2. Dimensiones del desarrollo sostenible según el paradigma de sostenibilidad débil. Elaboración propia .....	27
Figura 3. Diagrama de Venn para los tres pilares del desarrollo sostenible. Fuente: (IUCN - The World Conservation Union, 2004) IUCN Programme 2005-2008: Many Voices, One Earth y elaboración propia.....	29
Figura 4. Contextualización de la sostenibilidad energética. Elaboración propia.....	34
Figura 5. Recursos de agua renovables per capita (2013) Fuente: (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, 2015) .....	36
Figura 6. El Trilema energético. Fuente: (World Energy Council, 2014) .....	39
Figura 7. Indicadores de referencia del Trilema Index. Fuente: <a href="http://www.worldenergy.org">http://www.worldenergy.org</a> .....	40
Figura 8. Comparación de la métrica entre grupos según clasificación WEC. Fuente: (World Energy Council, 2014) .....	42
Figura 9. Indicadores de la dimensión SOCIAL en el modelo EISD. Fuente: (IAEA, 2005) .....	45
Figura 12. Componentes del Índice de Desarrollo Energético (IDE). Fuente: (OECD/IEA, 2012) .....	49
Figura 13. Nivel de desagregación de sectores y subsectores en los indicadores de la IEA .....	50
Figura 14. Estructura del modelo EU Reference Scenario. Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016).....	53
Figura 15. Proyecciones macroeconómicas del modelo EU Reference Scenario a 2050 respecto a la población (izquierda) y al PIB-reales (derecha). Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016).....	54
Figura 16. Clasificación de las tecnologías relacionadas con la energía del modelo EU Reference Scenario. Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016) .....	57
Figura 17. Sostenibilidad energética. Fuente: Elaboración Propia .....	61
Figura 18. Estructura de la gobernanza para la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia.....	69
Figura 19. Estructura de Tecnología Apropriada para la sostenibilidad energética: Fuente: elaboración propia.....	73
Figura 20. Los tres pilares de la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia .....	79

Figura 21. Contribución en PIB de sectores productivos en 2012 (%) Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016), (Central Intelligence Agency, 2015) and (IMF International Monetary Fund, 2016). Elaboración Propia .....	83
Figura 22. Participación del Sector Industrial en el Valor Añadido Bruto. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	84
Figura 23. Población. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia .....	86
Figura 24. Renta per cápita a precios nominales del PIB (ref 2010) en Euros. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia .....	86
Figura 25. Evolución del PIB en España. Fuente: (Secretaría de Estado de Energía - Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Gobierno de España, 2011).....	87
Figura 26. Distribución de las distintas fuentes de energía en el Consumo Final de Energía en el sector Servicios y residencial (arriba-izquierda), del sector Industrial (arriba-derecha) y del sector transporte (abajo) (%) 2014. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia .....	89
Figura 27. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Intensidad Técnica de Consumo Final de Energía (kep/€) en el Sector Servicios y residencial. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	91
Figura 28. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Intensidad del Consumo Final de Energía (kep/€) en el Sector Industrial. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	92
Figura 29. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Intensidad del Consumo Final de Energía (kep/€) en el Sector Transporte. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	93
Figura 30. Distribución del PIB per capita y la Intensidad Energética de la Economía en países del mundo. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia .....	95
Figura 31. PIB a precios reales (izquierda) y precios nominales (ref 2010) (derecha) en Millones de Euros. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia .....	96
Figura 32. Representación del PIB en valores reales (Millones de €) e Intensidad energética de la Economía (kpe/1000€) (izquierda). Correlaciones del PIB en valores reales (centro) y nominales (derecha ref 2010) con respecto a Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€). Fuente: elaboración propia .....	97
Figura 33. Intensidad energética (kgep/1000€ de PIB ref de 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	99
Figura 34. Comparativa entre Intensidad Energética de la Economía (kgep/1000€ de PIB-2010) y PIB per cápita (€ ref 2010/ habitante). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	100
Figura 35. Índice de Producción Industrial (%) en España. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016) .....	103
Figura 36. Índice general de cifra de negocios del Sector Servicios de Mercado. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016).....	104
Figura 37. Índice de cifra de negocios en el Sector Servicios de Mercado por ramas de actividad. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016) .....	105
Figura 38. Importaciones netas de energía. Países del mundo. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia.....	107
Figura 39. Dependencia energética (%) en países europeos. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	108
Figura 40. Consumo de energía per capita (kep) y PIB per cápita (\$). Fuente: (Nieto, 2011).....	110
Figura 42. Correlación entre Dependencia Energética y Consumo de Energía Primaria. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	112
Figura 42. Balances de fuentes energéticas (petróleo y gas) de algunos países de la UE. Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017) y elaboración propia .....	113
Figura 43. Correlación entre Dependencia Energética Exterior y PIB en valores nominales (Millones de Euros corrientes ref. 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia.....	115

Figura 44. Disociación entre la variable PIB en valores nominales (M€ corrientes ref 2010) y Consumo de energía primaria (1000xTEP). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	118
Figura 45. Producción primaria de energía/Consumo de energía primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	120
Figura 46. Balance energético 2015 del Reino Unido. Fuente: (Department of Energy and Climate Change - UK).....	121
Figura 47. Diagrama de Sankey que muestra la coyuntura energética de 2010 en España (ktep). Fuente: (Secretaria de Estado de Energía - Ministerio de Industria. Gobierno de España, 2010).....	123
Figura 48. Diagramas de Sankey del balance energético en Alemania y España (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017).....	124
Figura 49. Diagramas de Sankey del balance energético en Francia e Italia (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017).....	125
Figura 50. Diagrama de Sankey del balance energético en Reino Unido (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017).....	126
Figura 51. Representación de la Intensidad Técnica: Consumo Final de energía/Consumo de energía primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	127
Figura 52. Comparación entre la Intensidad Energética de la Economía (Consumo de Energía Primaria/1000€ de PIB ref 2010) y la Intensidad Técnica del Sistema Energético - Demanda Final de Energía/Consumo de Energía Primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	129
Figura 53. Representación de PIB per cápita y su relación con la Intensidad de Emisiones (kg de emisiones de CO <sub>2</sub> /PIB en US\$) en 2013. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia.....	131
Figura 54. Emisiones totales de Gases efecto invernadero (Miles de Toneladas). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	132
Figura 55. Representación de la relación entre Emisiones de GEI (eq. de CO <sub>2</sub> ) en toneladas y la población. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia....	133
Figura 56. Relación entre Intensidad de Emisiones de CO <sub>2</sub> (KgCO <sub>2</sub> /€ de PIB) y PIB per cápita. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	135
Figura 57. Relación entre Emisiones de CO <sub>2</sub> (toneladas) y PIB (€) a precios corrientes. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	136
Figura 58. Los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: (UN - Resolución de la Asamblea General de 25 de septiembre, 2015).....	142
Figura 59. Correlación de las emisiones de CO <sub>2</sub> con la dimensión de ingresos del IDH (izquierda), con el IDH general (centro) y con las dimensiones de salud y educación del IDH (derecha). Fuente: (UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano, 2011).....	144
Figura 60. Correlación entre PIB per capita (US\$ a precios corrientes ref 2010) y Porcentaje de la población con acceso a la electricidad. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia.....	145
Figura 61. Indicadores del Índice de Progreso Social (SPI). Fuente: (Porter, M. & Stern, S., 2015)....	146
Figura 62. Correlación entre el Índice de Progreso Social (SPI) y el PIB per cápita (izquierda), el nivel de pobreza (centro) y el grado de desigualdad (derecha). Fuente: (Porter, M. & Stern, S., 2015).....	147
Figura 63. Resumen de resultados de los indicadores. Fuente: elaboración propia.....	152
Figura 64. Correlación entre el Consumo de electricidad per cápita en el mundo (kWh per cápita) y PIB per cápita (USD ref 2010) en 2013. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia.....	157
Figura 65. Contribución en el mix de generación eléctrica de la tecnología nuclear en 2011 (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016), (REE - Red Eléctrica de España, 2012), (ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2013) y elaboración propia.....	162

Figura 66. Participación del consumo final de electricidad en los diferentes sectores (%) en 2011. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	163
Figura 67. Evolución de la demanda final de energía según la naturaleza de la fuente (Mtep - izquierda, contribución - derecha). Fuente: (Comisión Europea, 2016).....	164
Figura 68. Participación del sector eléctrico en el Consumo Final de Energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	165
Figura 69. Contribución del consumo de energía final disponible en el sector transporte (derivados del petróleo) en el Consumo Final de Energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	166
Figura 70 Contribución de las diferentes Tecnologías de generación de electricidad en el mix de generación de los países en estudio (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	167
Figura 71. Contribución de energía renovable en el consumo final de energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	168
Figura 72. Electricidad generada de naturaleza renovable (% de la generación bruta de electricidad). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	169
Figura 73. Correlación entre Generación de electricidad proveniente de fuentes renovables y Dependencia energética exterior (izquierda), Generación de origen renovable y origen nuclear (centro), Generación de origen nuclear y dependencia energética exterior (izquierda). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016)elaboración propia.....	171
Figura 74. Contribución de consumo final total de energía eléctrica en el sector industrial (arriba-izquierda), en el sector terciario-comercial-residencial-servicios (arriba-derecha) y en el sector transporte (abajo-izquierda) (%). Se representa también las contribuciones por sectores en el año 2015 (abajo derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	174
Figura 75. Consumo Final de Electricidad en el sector industrial (izquierda), en el sector terciario: comercial-residencial-servicios (centro) y en el sector transporte (derecha) (miles de Tep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	175
Figura 76. Consumo Final de Electricidad de los diferentes sub-sectores industriales en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	176
Figura 77. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Industrial (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Industrial (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	177
Figura 78. Consumo Final de Electricidad en los sub-sectores terciarios en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	179
Figura 79. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Servicios (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Servicios (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	180
Figura 80. Consumo Final de Electricidad en los sub-sectores del transporte en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	181
Figura 81. Evolución esperada de ventas de vehículos ligeros por tipo de combustible (Millones de unidades). Fuente: (OECD/IEA Technology Roadmap, 2011).....	182
Figura 82. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Transporte (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	183
Figura 83. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Energía Sector Transporte (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	185
Figura 84. Configuración del sistema eléctrico. Flujos físico y económico. Fuente: elaboración propia.....	188

Figura 85. Índice de cobertura mínimo peninsular en España $IC_{min} = \text{Min}[Pd/Ps]$ Pd=Potencia disponible en el sistema y Ps=Punta de potencia demandada al sistema. Fuente: (REE - Red Eléctrica de España, 2016).....	189
Figura 86. Capacidad total instalada (GW) en Gran Bretaña. Fuente: (OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority, 2016) .....	190
Figura 87. Precios en el mercado mayorista de la electricidad en algunos países de la Unión Europea durante los años 2008 a 2015 (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016) .....	191
Figura 88. Representación de las desviaciones típicas correspondientes a precios diarios de la electricidad. Fuente: (OMIE, 2017).....	194
Figura 89. Correlaciones de Volatilidad, FPP, FPB, FPM en España. Fuente: (OMIE, 2017) y elaboración propia.....	195
Figura 90. Precios horarios del mercado mayorista de electricidad (Day-Ahead) en varios países de la UE en los meses de Diciembre de 2006, 2007, 2014 y 2015 (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016).....	196
Figura 91. Correlación en la frecuencia de precios cero o negativos en el mercado mayorista de electricidad en varios países europeos respecto a la generación de electricidad de naturaleza renovable en GWh. Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016) .....	197
Figura 92. Curva monótona de precios mayoristas de electricidad por frecuencia horaria en algunos países europeos (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016) .....	198
Figura 93. Distribución de los precios de la electricidad para el sector doméstico (izquierda) y sector industrial (derecha) en 2013 filtrado por: generación, redes (transporte y distribución), e Impuestos (IVA, i.e. y otros). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	199
Figura 94. Número de consumidores, energía consumida y tamaño medio por tarifa de acceso en España (no se incluye la información sobre suministros conectados a distribuidores de menos de 100.000 clientes). Fuente: (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2017).....	200
Figura 95. Caracterización de suministros en Italia 2009-2015 por volumen de energía (GWh) y numero de puntos de suministro (numero punti di prelievo $10^3$ ). Fuente: (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016).....	202
Figura 96. Caracterización de energía eléctrica para cliente doméstico por tipo de potencia y consumo (arriba - punti di prelievo $10^3$ ) y no doméstico por nivel de tensión y tipo de potencia (abajo) en 2015 (volumi - GWh, prelievo medio - kWh). Fuente: (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016) .....	203
Figura 97. Precios medios de la electricidad en consumidor doméstico (izquierda) y consumidor industrial (derecha) incluido los costes de las redes e impuestos excepto IVA (€/kWh). Promedio de todas las bandas de consumo. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	204
Figura 98. Precios de la electricidad en Sector Industrial relativo a costes de generación, suministro y redes (incluidas tasas, impuestos - izquierda abajo) (excluidas tasas, impuestos - derecha abajo) (Promedio de consumidores hasta 20.000 MWh/año - abajo) (excluido tasas, impuestos e IVA en promedio para todas las bandas de consumo - arriba) en €/kWh . Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	206
Figura 99. Correlación entre Precio de la electricidad (promedio €/kWh) en el sector industrial en consumidores hasta 20.000 MWh con el Consumo Final de electricidad en ese sector (Tep) en términos relativos de contribución de electricidad (izquierda) y de consumo absoluto (derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	209

- Figura 100. Productividad Laboral (€/h ref 2005) comparada con la Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€ PIB ref 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia..... 214
- Figura 101. Comparativa entre los precios medios de la electricidad para el consumidor doméstico (excluidos tasas, impuestos e IVA) en €/kWh y la Intensidad energética de la economía (kep/1000 € PIB ref 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia..... 215
- Figura 102. Precios de la electricidad en consumidor doméstico (izquierda) y consumidor industrial (derecha) (€/kWh) y PIB per cápita ref 2010 (€/habitante). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia..... 217
- Figura 103. Precios de la electricidad en el consumidor doméstico (excluido IVA) (€/kWh) en comparación con el Consumo Final de Energía Eléctrica en el sector servicios (tep). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia..... 217
- Figura 104. Comparativa entre los precios de la electricidad en el consumidor Industrial (excluido IVA) (€/kWh) y la contribución del sector industrial en el Valor Añadido Bruto (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.... 218
- Figura 105. Evolución de los precios de la electricidad en el consumidor Industrial (media €/kWh) en Electricidad (tep)(izquierda) y Gas (tep) (derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia..... 219



## Índice de Ecuaciones

Ecuación 1. Expresión matemática del Valor Añadido Bruto per cápita.....	90
Ecuación 2. Expresión matemática de la Eficiencia Técnica de un determinado sector económico (tep/€).....	90
Ecuación 3. Expresión matemática de la Intensidad Energética de la Economía (ktep/€) .....	94
Ecuación 4. Expresión matemática de la Intensidad Técnica del sistema energético (%).....	101
Ecuación 5. Expresión matemática del Índice de Producción Industrial – IPI (%).....	102
Ecuación 6. Expresión matemática del Indicador de Actividad del Sector Servicios (IASS) – (%).....	104
Ecuación 7. Expresión matemática de la Dependencia Energética Exterior según la metodología utilizada por el Banco Mundial.....	106
Ecuación 8. Expresión matemática de la Dependencia Energética Exterior en el periodo t según la metodología utilizada por EUROSTAT (%).....	108
Ecuación 9. Expresión matemática de la Eficiencia Primaria del sistema energético – EPSE (%).....	119
Ecuación 10. Expresión matemática de la Intensidad de Emisiones de CO <sub>2</sub> según la metodología estadística utilizada por el Banco Mundial.....	130
Ecuación 11. Expresión matemática de la Intensidad de Emisiones de CO <sub>2</sub> según la metodología estadística utilizada por EUROSTAT.....	134
Ecuación 12. Expresión matemática del Índice Global de Sostenibilidad Energética. Fuente: elaboración propia.....	149
Ecuación 13. Expresión general de la Desviación típica de una muestra de observaciones .....	192

Ecuación 14. Expresión de la Volatilidad de los rangos de precio diarios en el mercado mayorista de electricidad.....	192
Ecuación 15. Expresión de la Frecuencia de Precios Bajos diarios en el mercado mayorista de electricidad.....	193
Ecuación 16. Expresión de la Frecuencia de Precios Pico diarios en el mercado mayorista de electricidad.....	193
Ecuación 17. Expresión de la Frecuencia de Precios Medios diarios en el mercado mayorista de electricidad.....	193



## Índice de Tablas

Tabla 1. Análisis de correlación de la influencia de la inflación en la comparativa de energía y rentas. Valores de “y” corresponden a PIB (Millones de €). Valores de “x” corresponden a Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€).....	98
Tabla 2. Índice de Producción Industrial (IPI) en países europeos (%)- Fuente: (Expansión - Datos Macro, 2017).....	105
Tabla 3. Intervalos de Dependencia Energética 2014. Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia.....	109
Tabla 4. Resumen de la correlación entre Dependencia Energética (%) y Consumo de Energía Primaria (Megatep). Fuente: Elaboración propia .....	111
Tabla 5. Resumen de la correlación entre Dependencia Energética Exterior (%) y PIB (€ ref 2010). Fuente: Elaboración propia .....	114
Tabla 6. Resumen de la correlación entre PIB en valores nominales (M€ ref 2010) y Consumo de energía primaria (1000xTEP). Fuente: Elaboración propia.....	117
Tabla 7. Resumen de la correlación existente entre Intensidad de Emisiones (kgCO <sub>2</sub> /€) y PIB per cápita (€/habitante) así como entre Emisiones (Tm) y PIB (€) .....	137
Tabla 8. Resumen de Indicadores y sub-indicadores utilizados. Fuente: elaboración propia.....	148
Tabla 9. Resumen de resultados de los indicadores para la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia .....	149

Tabla 10. Normalización de indicadores. Fuente: elaboración propia.....	151
Tabla 11. Resumen de la correlación existente entre Generación de electricidad proveniente de fuentes renovables y Dependencia energética exterior (arriba), Generación de origen renovable y origen nuclear (centro), Generación de origen nuclear y dependencia energética exterior (abajo). Fuente: elaboración propia ....	172
Tabla 12. Correlación entre el Valor Añadido Bruto en el Sector Industrial (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad en el Sector Industrial (Megatep). Fuente: Elaboración propia .....	178
Tabla 13. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Servicios (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Servicios (Megatep). Fuente: elaboración propia.....	179
Tabla 14. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Transporte (Megatep). Fuente: Elaboración propia .....	184
Tabla 15. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Energía Sector Transporte (Megatep). Fuente: Elaboración propia.....	186
Tabla 16. Resumen de las correlaciones realizadas de Volatilidad, FPP, FPB y FPM en España. Fuente: (OMIE, 2017) y elaboración propia .....	195
Tabla 17. Análisis de la concentración de usuarios en el mercado minorista de electricidad en algunos países de la UE. Fuente: (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014), (CRE - Commission de Régulation de L'Energie, 2015) y (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016).....	201
Tabla 18. Resumen de la correlación existente entre Precio de la electricidad (promedio de €/kWh) en el sector industrial en consumidores hasta 20.000 MWh con el Consumo Final de electricidad en ese sector (Tep) en términos de participación del sector industrial en el consumo total de electricidad (%-arriba) y de consumo absoluto del sector industrial (Tep-abajo). Fuente: elaboración propia..	208
Tabla 19. Datos de interés sobre el número de agentes en el mercado minorista en algunos países de la UE. Fuente: (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014), (OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority, 2016), (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016) y (CRE - Commission de Régulation de L'Energie, 2015) y elaboración propia .....	210

Tabla 20. Eficiencia, productividad y su relación con la Intensidad Energética de la Economía y la Intensidad Técnica del sistema energético. Fuente: elaboración propia.....	236
---	-----





## Capítulo 1

### Introducción General



#### 1 Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento en primer lugar a mis directores de tesis, por su ayuda y sus consejos que me han acompañado durante todo el desarrollo de este trabajo.

A mis padres y familia, por su apoyo y ánimo incondicionales, lo que ha supuesto una motivación constante para culminar mi formación académica.

Y por último, quisiera agradecer a Ana su comprensión y paciencia todos estos años en los que no he podido dedicarle todo el tiempo que ella se merece.

## 2 Introducción

Llevamos años acostumbrados a escuchar que el sector de las TIC iba a transformar nuestra civilización, también sus aplicaciones para el sector sanitario, o quizá el desarrollo de nuevos materiales como el grafeno, pero, sin ánimo de desmerecer todas esas tecnologías que seguro nos impulsarán hacia la mejora del bienestar de nuestra sociedad, para poder llevar a término todos esos avances, necesitaremos de un sector energético desarrollado, interconectado, social... un sector que permita el desarrollo sostenible, que fomente la competitividad entre los países permitiendo el crecimiento de los no tan competitivos, que la eficiencia energética se despliegue como un concepto global: en los procesos y organizaciones, las infraestructuras y operaciones y, por supuesto, también en las personas y la sociedad.

Sin lugar a dudas, la energía forma parte de nuestras vidas de una forma tan sutil que no somos conscientes de la dimensión e implicaciones que adquiere: de naturaleza técnica, económica, organizacional, social,... La energía será un sector estratégico para la Unión Europea durante los próximos 30 años. Así lo confirman todos los informes y anuarios energéticos que, con mayor o menor acierto, ponen en evidencia un sector demasiado olvidado por las políticas de integración europeas y en particular, en las decisiones estratégicas de España.

Conceptos como la seguridad y calidad en el suministro de energía para satisfacer la demanda existente, la sostenibilidad ambiental, así como el crecimiento y la prosperidad económica son variables independientes que los estados miembros intentan conjugar. Pero existen dos aspectos transversales al triángulo anterior que empiezan a ser advertidas por las políticas europeas en general y la de los estados en particular: por un lado la vertiente de equidad social de acceso a una energía cada vez más cara, por otro, la creciente necesidad de regulación sobre la adecuada dinamización de los mercados y la protección y vulnerabilidad de los datos de los usuarios de esa energía. Todo lo anterior, viene agravado por un estancamiento en el crecimiento de las economías de los estados miembros de la UE durante los últimos años.

Las políticas energéticas de los países de la UE deberán definir estrategias y tomar las decisiones necesarias para garantizar la prosperidad de unas economías muy diversas. Además, la diferente coyuntura energética y territorial de los países y la estructura de mix energético, complicará aún más si cabe una armonización energética territorial, sobretodo en Europa, donde se sigue manteniendo una gran dependencia energética exterior debido a la muy demandada todavía energía proveniente de los combustibles fósiles, lo que produce un déficit y una deuda energética que afectará irremediablemente al crecimiento de los países de la zona euro.

En definitiva, cualquier planteamiento de estrategias energéticas sostenibles se debe analizar partiendo de una serie de conceptos fundamentales: la seguridad y calidad de suministro para satisfacer una demanda de energía cada vez más cambiante en unas condiciones adecuadas, respetando el medioambiente y la biodiversidad ante el impacto que produce el uso de la energía en cualquiera de sus formas; impulsando la economía sostenible, teniendo en cuenta la eficiencia en los procesos, en las organizaciones y en las personas, así como la responsabilidad social de los sectores productivos, como generadores de empleo; garantizando la equidad social en todas sus formas, con un acceso universal a la energía a costes razonables, dinamizando a la vez los mercados energéticos, haciéndolos más eficientes y competitivos. Enmarcando todo ello, como no puede ser de otra manera, deben definirse unas políticas energéticas, que mediante la utilización de tecnologías adecuadas, impulsen la prosperidad de la humanidad y su avance hacia la sociedad del conocimiento.

### 3 Objetivos de la tesis

Este trabajo aborda las variables que entran en juego en la definición de la sostenibilidad energética de la economía de una nación: la relación del mix energético en la intensidad técnica y económica de las naciones, la relación de la dependencia energética del país y su vinculación con el PIB, el análisis de los precios de la electricidad en los diferentes escenarios europeos y la demostración que un mix energético excesivamente polarizado por el uso dominante de una tecnología puede convertirse en insostenible.

Indicar también que los intentos de modelización del comportamiento energético de los estados, quizá todavía no sean modelos lo suficientemente precisos y adaptables a las diferentes coyunturas de los estados, por la gran cantidad de variables y escenarios posibles. En cualquier caso, abordar un análisis coyuntural desde el punto de vista energético, se debe realizar desde una perspectiva relacional, analizando todas las variables e indicadores de forma que se obtengan patrones de comportamiento adaptados a cada uno de los estados y su configuración.

En concreto, esta tesis se centra la evaluación de las variables desde el subsistema definido alrededor de la sostenibilidad energética, partiendo de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: naturaleza, economía y sociedad. Se utilizará la estadística descriptiva, cuyo objetivo será la de resumir y ordenar series de datos pertenecientes a diferentes países en forma cuantitativa utilizando para ello tablas, gráficos e histogramas, de manera que se pueda realizar un análisis de datos estableciendo una desagregación por sectores productivos de indicadores, que permita de una forma sencilla, interpretar los datos para la toma de decisiones en materia de política energética.

Aunque existen índices y modelos para evaluar la sostenibilidad en el sentido más amplio de su significado, muchos de ellos se enfocan hacia variables cuantitativas muy agregadas que ofrecen organizaciones internacionales reconocidas, dejando a un lado la dimensión energética, principal objetivo de esta tesis.

La determinación de las variables pasa primero por cuestionar su idoneidad a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todas las variables serán las más idóneas para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad local. Por tanto, ya no debemos hablar tanto de variables de sostenibilidad energética, sino de familias de variables de sostenibilidad que serán adecuadas a diferentes coyunturas de los países. Concluyendo, ante la existencia además de aspectos geopolíticos muy diferenciados en otros continentes, como la existencia de muy diferentes grados de compromisos medioambientales o el diferente nivel de protección de los derechos humanos, se establecerá la Unión Europea como continente de referencia para el análisis.

En este trabajo, atendiendo a los cinco grandes ámbitos de decisión (medioambiente (emisiones y contaminación), economía (crecimiento) y sociedad (demanda de energía), que explican el modelo desde el inicio, pero al descender en el análisis al subsector de la sostenibilidad energética, adquieren mucha importancia dos nuevas dimensiones, la seguridad de suministro y la regulación de los mercados), se propone un modelo de indicadores para monitorizar el cumplimiento de la sostenibilidad energética. No obstante, se establecerán diferentes umbrales que determinarán el grado de compromiso de los países, y se establecerán ratios de variables energéticas y de competitividad y productividad específicas per cápita, que hará posible agrupar los países que inicialmente no hubiera podido establecerse dicha agregación.

Este trabajo también contiene un detalle del balance energético de las diferentes energías primarias en los países analizados: petróleo, carbón, gas, renovables así como un acercamiento al sector eléctrico y la distribución de los consumos finales por sectores productivos. Todo ello se correlacionará con las diferentes configuraciones territoriales, demográficas y geopolíticas de algunos países de la UE analizados.

#### 4 Principales contribuciones

El presente trabajo se ha realizado bajo la dirección de los Profesores del Departamento de Ingeniería Mecánica y Energía: Dr. Sergio Valero Verdú Subdirector del Departamento y Profesor del Área de Ingeniería Eléctrica, y Dr. Emilio Velasco Sánchez, Profesor del Área de Ingeniería Mecánica.

Como consecuencia de la labor de investigación realizada en este trabajo, se han realizado las siguientes publicaciones:

- *“Energy intensity of the economy as a variable to measure the energy efficiency of a country: comparison between European member states”* (2014) en Renewable Energy and Power Quality Journal, Vol.1, nº 12, ISSN 2172-038X
- *“Definición de variables macroeconómicas de eficiencia para su aplicación en el análisis de la evolución de la intensidad energética en países de la UE”* (2014) en la Revista del Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos Industriales de Alicante, nº 113, 10-19, ISSN 1696-9200
- *“Trends in electricity prices and their relation to the competitiveness and efficiency in EU countries”* (2015) en Renewable Energy and Power Quality Journal, Vol.1, nº 13, ISSN 2172-038X
- *“Sustainability as a Paradigm of Energy Policy”* (2016) en Renewable Energy and Power Quality Journal, Vol.1, nº 14, ISSN 2172-038X
- *“Energy efficiency strategies to improve productivity and competitiveness of the EU countries”* (2017) en Renewable Energy and Power Quality Journal, Vol.1, nº 15, ISSN 2172-038X

## Capítulo 2

### Conceptualización de la sostenibilidad energética

#### 1 El desarrollo sostenible

##### 1.1 Dimensiones del desarrollo sostenible: paradigmas fuerte y débil

La energía como concepto global adquiere una dimensión extraordinaria y será el asunto que ocupe de forma prioritaria las agendas de los diferentes gobiernos durante los próximos años en la Unión Europea. La prosperidad económica y el desarrollo de los estados hacia una sociedad del conocimiento depende irremediamente de la energía. Por esa razón, es importante establecer desde las Instituciones y los Gobiernos unas políticas que favorezcan la sostenibilidad energética de los países.

Pero antes de abordar el concepto de sostenibilidad energética, se debe fijar la definición de economía sostenible o desarrollo sostenible. Son múltiples los significados y la bibliografía y autores que describen la gran cantidad de matices que adquiere la definición (Pezzey, 1997), (Neumayer, 2003) o (Ciegis, 2009) aunque fue un término utilizado por primera vez en el Informe Brundtland<sup>1</sup>, presentado en la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de Naciones Unidas en 1987 (The World Commission on Environment and Development, 1987) y cuya definición conceptual se establece en “satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las futuras para atender sus propias necesidades”.

---

<sup>1</sup> Gro Harlem Brundtland, Primera Ministra de Noruega durante los años 1981, 1986-1989 y 1990-1996 perteneciente al Partido Laboralista y que presidió la Comisión que elaboró el informe para la ONU en 1987 denominado “*Our Common Future*” – *Nuestro Futuro Común*.

Es ampliamente reconocido que el desarrollo sostenible consta de tres dimensiones íntimamente relacionadas: medioambiente, economía y sociedad (Munasinghe, 1992) y (Ghosh, 2008), en donde cualquier variación en una de ellas afecta de manera significativa a las otras dos (Lior, 2010) y además, se encuentran estrechamente interrelacionadas. Por tanto, una de las premisas fundamentales del desarrollo sostenible como veremos más adelante, será desvincular esa dependencia, y por consiguiente que la variación en una de las dimensiones no influya en el desarrollo y evolución de las adyacentes. Para la explicación idónea de estas tres dimensiones se utiliza el diagrama de Venn<sup>2</sup>, en la que mediante representación gráfica, permite obtener de manera lógica algunos razonamientos.

Pero el problema se complica de manera contundente incorporando el subsistema energético y las concepciones y definiciones tradicionalistas del concepto de desarrollo sostenible, operativamente recogidas en (Romero, 2014), donde el rol del capital natural es el principal problema a resolver, según la conceptualización operativa del desarrollo sostenible basada en capitales por Neumayer<sup>3</sup>, que propone proteger los distintos tipos de capitales (monetario, humano, social y natural) que son el medio para satisfacer todas las necesidades humanas. Por tanto, el capital natural será la fuente de las dos principales corrientes de pensamiento: el paradigma fuerte de la sostenibilidad, que propone el capital natural como límite al crecimiento; y el paradigma débil de la sostenibilidad, que propone permeabilidad entre los diferentes capitales, incluso el natural.

Una representación del desarrollo sostenible utilizando el paradigma fuerte, se muestra en la Figura 1, en la que se reconocen los límites infranqueables de la naturaleza que impide un desarrollo de la sociedad y su actividad económica en función de esos límites. Este paradigma, como se verá más adelante, no permite desarrollar la conceptualización planteada en este trabajo.

---

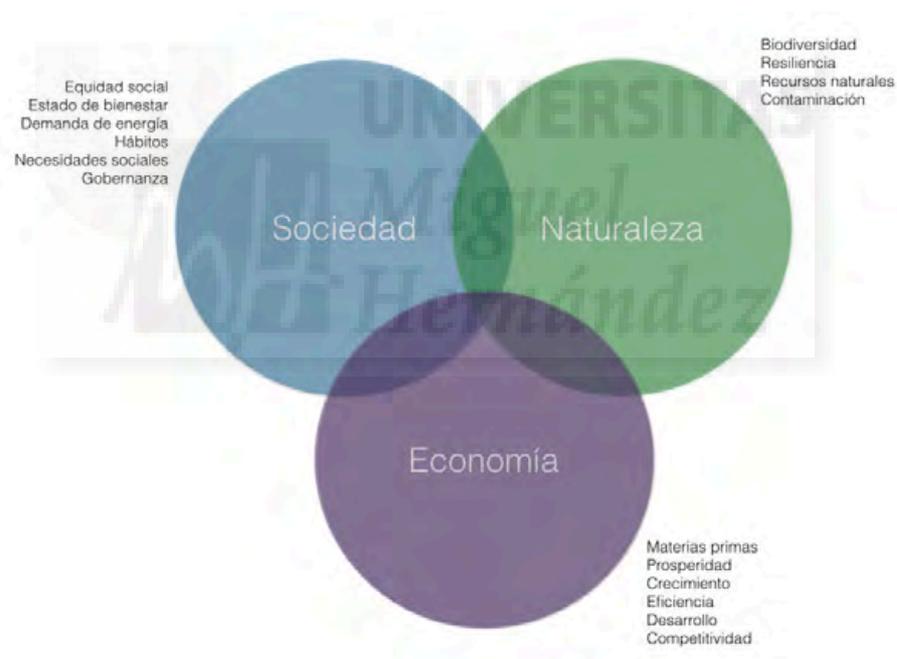
<sup>2</sup> Los diagramas de Venn, adquieren el nombre de su inventor, John Venn (1834-1923), matemático y filósofo británico que desarrolló mediante representación gráfica las operaciones de teoría de conjuntos.

<sup>3</sup> Eric Neumayer es Profesor de Departamento de Geografía y Medioambiente en London School of Economics and Political Science (LSE), y ha sido asistente académico en el Center for Law and Economics at the University of Saarbrücken, Germany. En su libro "Weak versus strong sustainability: exploring the limits of two opposing paradigms" (Neumayer, 2003) establece en la sostenibilidad dos paradigmas o corrientes de pensamiento: "weak sustainability" o sostenibilidad débil, en la que cualquier capital puede ser sustituido por otro; y "strong sustainability" o sostenibilidad fuerte, en la que el capital natural no puede sustituirse por ningún otro tipo de capital.



**Figura 1. Dimensiones del desarrollo sostenible según el paradigma de sostenibilidad fuerte. Elaboración propia**

La representación teniendo en cuenta el paradigma débil del desarrollo sostenible, servirá más adecuadamente para el desarrollo de esta tesis, y su representación gráfica se muestra en la Figura 2.



**Figura 2. Dimensiones del desarrollo sostenible según el paradigma de sostenibilidad débil. Elaboración propia**

La sociedad: que representa la equidad social, el estado del bienestar, la demanda de energía, los hábitos y las necesidades sociales, el gobierno y la regulación, y en definitiva todas las acciones encaminadas a reducir las desigualdades entre los pueblos; la naturaleza: donde se engloban las emisiones contaminantes, los residuos, la degradación del medioambiente, la resiliencia<sup>4</sup>, la biodiversidad, los recursos naturales, todo aquello que

<sup>4</sup> Resiliencia es un concepto de la ingeniería mecánica y de materiales cuyo significado es la capacidad de un material de absorber y almacenar energía, que aplicándolo a la ecología adquiere una definición que consiste

hará peligrar el equilibrio ambiental para las generaciones futuras; y por último la economía: la producción de materias primas, la prosperidad, el crecimiento, la eficiencia y optimización de procesos, la estabilidad, el desarrollo económico que permitirá satisfacer las necesidades de la población. Son las tres dimensiones del desarrollo sostenible. Las intersecciones que se representan en el diagrama de Venn definen las áreas que contienen variables en común a dos, o incluso a las tres dimensiones del desarrollo sostenible.

Desde un punto de vista economicista, haciendo uso de los avances en la tecnología y aplicando el concepto de eficiencia mediante unas políticas de gobiernos e instituciones que favorezcan su implementación, se podría conseguir una disociación de las dimensiones del desarrollo sostenible. Es decir, se logra reducir el impacto negativo sobre el conjunto, de cualquier variación en una de ellas, lo que impulsa de forma exponencial las posibilidades del desarrollo humano.

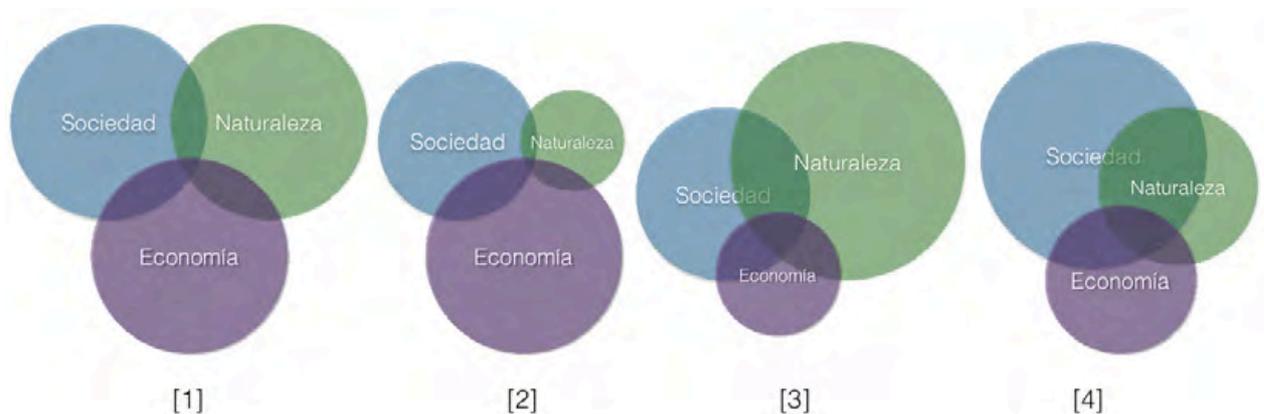
Se puede ilustrar el problema de la disociación entre las tres dimensiones mediante un ejemplo: con carácter general, al aumento de la producción industrial (economía) utilizando un mismo nivel de tecnología y recursos implica un aumento de las emisiones contaminantes y residuos (naturaleza). En cambio, si incorporamos una nueva tecnología que permita producir más con menos recursos y además logramos reducir las emisiones contaminantes así como los residuos generados durante el proceso, o incluso esa tecnología permite la recuperación y reciclado de dichos residuos, lograremos una disociación entre las dos dimensiones: economía y naturaleza, es decir el aumento de producción para satisfacer las necesidades sociales no producirá un aumento de la degradación medioambiental: estamos obteniendo un resultado sostenible.

En el ámbito edificatorio, por ejemplo, el consumo de electricidad por parte del usuario doméstico (sociedad) implica un consumo de energía primaria necesaria para generar esa electricidad (carbón, nuclear, renovables,...) lo que produce unas emisiones contaminantes (naturaleza) que serán mayores cuanto más electricidad se demande. Por tanto, si se aplican unas políticas que impulsen medidas de ahorro y eficiencia energética en la

---

en la capacidad de los ecosistemas en absorber perturbaciones o distorsiones sin alterar significativamente su estructura y funcionalidad, pudiendo regresar a su estado original una vez que la perturbación o distorsión ha cesado. Una de las instituciones más relevantes en la investigación del concepto de resiliencia y sus implicaciones medioambientales es el Stockholm Resilience Center.

construcción de edificios, así como si se utilizan tecnologías modernas y respetuosas con el medio ambiente en los procesos de generación de electricidad y por último, se logra, a través de políticas de concienciación ciudadana, un cambio de hábitos en el consumo de energía por parte de los usuarios, lograremos finalmente reducir el consumo de energía y por tanto la disociación entre los ámbitos naturaleza y sociedad.



**Figura 3. Diagrama de Venn para los tres pilares del desarrollo sostenible. Fuente: (IUCN - The World Conservation Union, 2004) IUCN Programme 2005-2008: Many Voices, One Earth y elaboración propia**

Tal y como se muestra en la Figura 3, se podrían definir también los diferentes modelos socio-políticos de la humanidad que explicaran su nivel de compromiso con el desarrollo sostenible en función del tamaño relativo de las tres dimensiones. Así, tendríamos un modelo puramente capitalista según se muestra en [2] si la dimensión de la economía adquiere más relevancia que el ámbito medioambiental o social, cuyo contrapunto vendría dado con [3] mediante un modelo en el cual un pensamiento ecologista trascendería a lo social y al crecimiento económico. Por último, podría explicarse también un modelo en el que la dimensión social adquiriese mayor relevancia, y la competitividad dejara paso a la cooportunidad (competitividad desde la cooperación) tal y como se muestra en [4].

Por tanto, se debe definir un modelo teniendo en cuenta las denominadas fuerzas transversales y todos aquellos subsistemas que de manera agregada impulsan el desarrollo sostenible. El problema es complejo para abordarlo de manera global, pero es determinante para poder definir posteriormente un modelo de indicadores que permita evaluar hacia la dirección en la que dirigirse y establecer las políticas adecuadas, análisis realizado en este capítulo.

Por último, es importante destacar los conceptos de sostenibilidad global y local (Naredo, 1996) cuando se establezca el ámbito de estudio, ya que los planteamientos de las fuerzas transversales serán diferentes tomando la escala global de la Tierra o considerando una escala de referencia más local para procesos, decisiones o subsistemas más reducidos y limitados en el espacio y en el tiempo. Este razonamiento será tenido en cuenta para definir las tres premisas de la sostenibilidad energética.

En resumen, las políticas institucionales y las regulaciones (Vera, 2005) así como la ciencia y la tecnología (Robles, 2011) las consideraremos como fuerzas transversales a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, que deberán ayudar a crear una disociación entre ellas.

## **1.2 Las fuerzas transversales: tecnología y política**

Las investigaciones en sostenibilidad de (Mayer, 2008) nos permiten afirmar que dado un sistema con determinadas dimensiones, como regla general, será sostenible si son sostenibles todas y cada una de las dimensiones del mismo.

El conocimiento científico y en definitiva, su aplicación práctica a través de la tecnología y la innovación, puede convertirse en una herramienta valiosa para la humanidad siendo ésta la que lo impulsa y lo gestiona. Pero las marcadas desigualdades sociales, económicas y culturales entre las distintas naciones convierte en complejo cualquier análisis aplicando la tecnología como concepto global (Fernandez-Baldor, 2012), por lo que deberemos hablar del término “tecnología apropiada”, popularizado por Schumacher<sup>5</sup> cuando la referencia del estudio se establezca en según qué naciones. La tecnología apropiada, por tanto, como fuerza transversal que puede ser fuente de disociación de las dimensiones del desarrollo sostenible, nos introduce en un nuevo paradigma. Un sistema tecnológico, es decir, un conjunto de tecnologías y sus implicaciones sociales, económicas y medioambientales, puede caracterizarse a través de su interacción con la sociedad, la naturaleza y la economía como el fundamento de toda prosperidad y evolución de la humanidad. Para entender la

---

<sup>5</sup> Ernst Friedrich Schumacher fue un destacado economista e intelectual que popularizó el concepto de la tecnología apropiada a través de su libro “Small is beautiful: economics as if people mattered” (Schumacher, 1973)

tecnología como una fuerza transversal a las tres dimensiones, debe obviarse el debate sobre si condenar o ensalzar el desarrollo y utilización de la ciencia y la tecnología, ya que puede ser motivo de daño masivo al medioambiente, o de desarrollo y prosperidad para las civilizaciones pero, en sí misma, debemos entenderla como objetiva y neutral: no deben existir intereses o factores subjetivos en sus contenidos, y sus efectos y consecuencias dependen del uso que la humanidad haga de ella.

La trayectoria de un sistema sostenible, y su posición relativa con respecto a los límites multidimensionales a los que se somete según su escala temporal y espacial (Mayer, 2008), puede verse afectada también por las catástrofes como circunstancia inesperada y no previsible. Dado que la naturaleza imprevisible de las catástrofes cualquiera que sea su origen, no la podemos gestionar, descartaremos esa fuerza transversal en el análisis, aunque siempre estará presente el riesgo.

Es adecuado pensar entonces que el establecimiento de límites al desarrollo sostenible -y por tanto límites a sus tres dimensiones-, sólo pueden permanecer inmutables si la dimensión tiempo y espacio permanecieran invariables. Desde el momento que el sistema evoluciona en la dimensión espacio-tiempo es lógico pensar que se establecerán nuevos límites. Podría ser igualmente lógico que una gestión adecuada de la tecnología por parte de la humanidad, al igual que logra una disociación de los pilares en la conceptualización del desarrollo sostenible, permita una sostenibilidad energética más allá de las limitaciones de la naturaleza. Esta reflexión daría una nueva visión del pensamiento establecido sobre la creación de límites al crecimiento, (Meadows, 1972).

Para finalizar, añadir que la política como fuerza transversal, que conlleva la gestión de la gobernanza de las naciones, la cooperación entre gobiernos para unificar las políticas energéticas y medioambientales, los acuerdos establecidos en las cumbres sobre energía y clima, los planes estratégicos sobre energía, las capacidades para obtener y analizar indicadores, la adecuación de las inversiones en capacidad, educación, investigación o desarrollo; incidirá de manera contundente sobre las dimensiones social, económica y medioambiental del desarrollo sostenible (Vera, 2005) y es por tanto la gestión política, un aspecto destacable y muy relevante que debe trascender de las tres dimensiones, y asumir un protagonismo destacado en el modelo.

### **1.3 Subsistemas en el desarrollo sostenible. Contextualización de la sostenibilidad energética en las tres dimensiones del desarrollo sostenible.**

Antes de abordar la conceptualización de la sostenibilidad energética, se debe realizar una reflexión entorno a la idoneidad de ésta como único subsistema para impulsar el desarrollo sostenible ya que es necesario reconocer la existencia de otros subsistemas que son fuente de sostenibilidad parcial (Naredo, 1996) y que es necesario gestionar de forma eficiente para un desarrollo sostenible y en definitiva para una disociación completa de las tres dimensiones.

Es ampliamente reconocido que existen factores como el crecimiento poblacional y las migraciones demográficas, que inciden de manera notable en la demanda de alimentos, y por tanto, producen un importante impacto sobre los recursos hídricos, que a su vez tendrán una influencia notable sobre la producción y el crecimiento económico, la salud y la sociedad, lo que devendrá en definitiva a la afectación del medioambiente y promoverá con mayor o menor intensidad el cambio climático. En anteriores civilizaciones la gestión del agua ha sido un asunto prioritario para el desarrollo económico y social, asunto que actualmente también significa un importante problema en muchas regiones. Todo ello nos lleva a la obligación de realizar una gestión sostenible del agua y los recursos hídricos, elemento que adquiere una importante relevancia en el desarrollo sostenible, y que debe constituir un subsistema adicional en la contextualización de la sostenibilidad energética, aunque no será objeto de análisis en este trabajo.

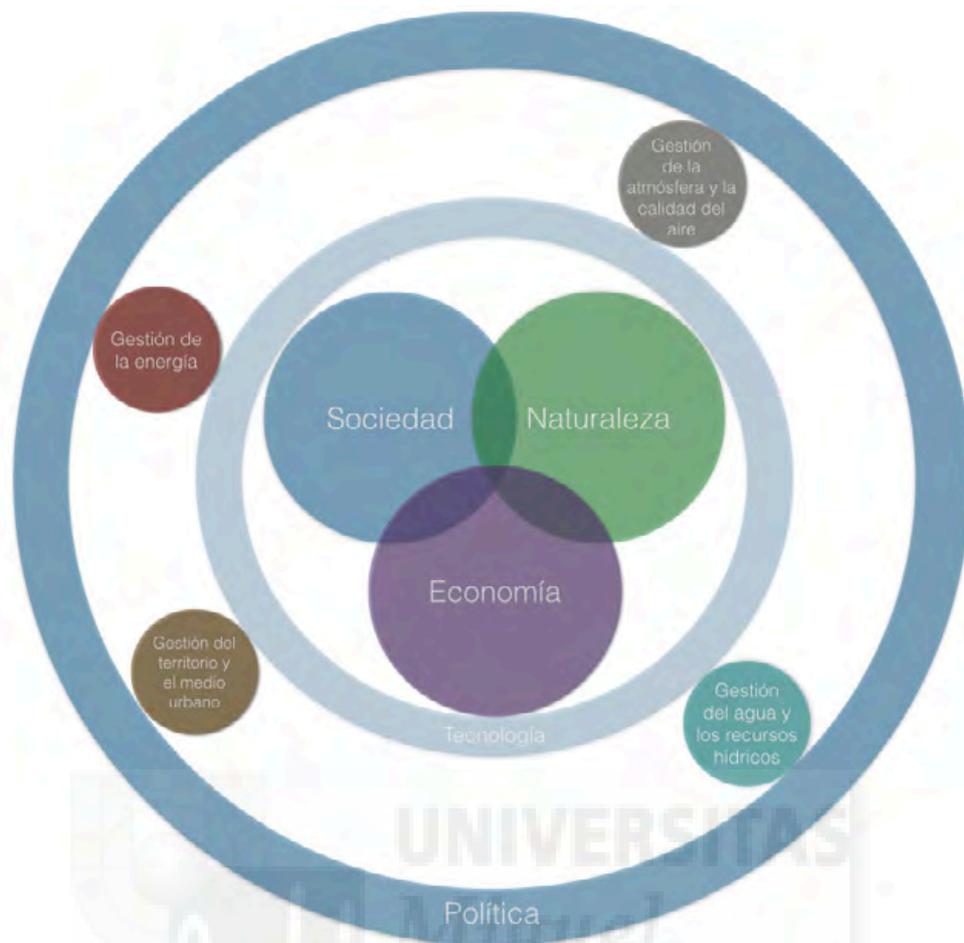
Siguiendo la argumentación anterior, también los cambios demográficos, el éxodo rural, así como la urbanización y tercerización de las ciudades además de la externalidades que se producen en el desarrollo territorial y urbanístico, constituyen un paradigma gestionable. Según proyecciones de Naciones Unidas, el 54% de la población mundial actual reside en áreas urbanas y se prevé que para 2050 llegará al 66% (United Nations, 2014), por tanto, la gestión territorial y urbanística también debe concebirse como un subsistema del desarrollo sostenible.

Por último, destacar el medio atmosférico como el último subsistema contextualizado en el modelo, ya que incide de manera notable en el desarrollo humano, la economía y por tanto en la sociedad, y que la actividad de éstos produce una contaminación que incide de manera notable sobre el medioambiente.

Los cuatro subsistemas anteriores: gestión de la energía, territorialidad, calidad del aire y gestión de los recursos hídricos, crean junto a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, un modelo interrelacionado y en el que sólo será posible el desarrollo sostenible si todos y cada uno de los subsistemas son sostenibles (Figura 4).

Podría entenderse que estos subsistemas forman parte de la dimensión de la naturaleza, ya que el medio atmosférico, la energía, el agua y el territorio, se vinculan indiscutiblemente al medioambiente, pero la forma en que la sociedad y la economía se desarrollan vinculadas estrechamente con estos subsistemas, así como interfiere la evolución de la humanidad en ellas, es necesario, a juicio del autor, desvincularlo por completo del capital natural y por ende, de las otras dimensiones. Además, la influencia tan notable de la política institucional por un lado y de la tecnología por otro, hacen necesario estudiar separadamente esos cuatro subsistemas.

El presente trabajo únicamente se centra en el estudio de la gestión de la energía como subsistema del desarrollo sostenible, pero es necesario matizar que está íntimamente relacionado con el resto de subsistemas y que en algunas ocasiones habrá variables que se puedan considerar compartidas por aquellos.



**Figura 4. Contextualización de la sostenibilidad energética. Elaboración propia**

Según los estudios de (Romero, 2014) basándose en la propuesta de capitales de (Neumayer, 2003) plantea que el modelo energético sostenible hacia el que enfocar los indicadores será aquel que cumpla tres condiciones fundamentales de sostenibilidad:

- Un modelo que posibilite un nivel de bienestar no decreciente, incluyendo los cuatro tipos de capitales: económico, natural, social y humano.
- Un modelo que garantice la equidad social entre generaciones.
- Un modelo que en definitiva respete los límites resilientes del medio.

Pero entendiendo la sostenibilidad energética como un subsistema del desarrollo sostenible, debe localizarse en una capa diferente, adyacente a la capa donde aparecen fuerzas transversales que inciden en la disociación de las dimensiones que determinarán un desarrollo sostenible de la humanidad y que son: la evolución tecnológica y científica por un lado y las políticas regulatorias y gobernanza de las instituciones por otro, tal y como se muestra en la Figura 4.

La evolución tecnológica y científica podría entenderse dentro de la dimensión social del desarrollo sostenible, pero debe adquirir un emplazamiento diferenciado en el análisis como fuerza transversal, precisamente desplazándose hacia la capa inmediatamente exterior del desarrollo sostenible donde a partir de esa capa, se explican también los cuatro subsistemas: la sostenibilidad energética, la sostenibilidad territorial y urbanística, la sostenibilidad de los recursos hídricos o la sostenibilidad en la atmósfera. Para finalizar, se encuentran las políticas institucionales, regulaciones y gobernanza de las naciones, que deben conjugar todos los ámbitos mediante el fomento de la eficiencia energética, definiendo políticas impositivas y fiscales encaminadas a reducir la contaminación, estableciendo tratados y acuerdos internacionales de comercio de derechos de emisiones, todo ello, envolviendo a todos los subsistemas, que como segunda fuerza transversal incide en aquellos, permitiendo el éxito o fracaso del desarrollo sostenible.

#### 1.4 Idoneidad de indicadores

Los responsables políticos, empresarios y legisladores, así como otros agentes del sector energético, necesitan fuentes de información fiables, certeras y ágiles que les permitan tomar decisiones en el corto y medio plazo en una materia tan dinámica como es el sector de la energía, por tanto, el tratamiento de la información así como su puesta a disposición de los agentes, garantizando la inviolabilidad de la identidad de los usuarios, que les permita definir estrategias empresariales, políticas de crecimiento y regulaciones adecuadas, debe ser enfocada a las necesidades reales de información en el sector. Pero, ¿qué variables son las más proporcionadas?, ¿cuál es la definición más cercana al concepto de sostenibilidad energética que podemos utilizar para definir esas variables? No es tarea sencilla debido a la cantidad de interconexiones del sector energético con otras áreas: políticas, sociales, medioambientales y económicas.

Por ejemplo, se puede trasladar el razonamiento al marco del subsistema de la sostenibilidad hídrica y la gestión sostenible del agua; que al igual que se plantea en la sostenibilidad energética, está fuertemente vinculada a los tres pilares del desarrollo sostenible: la sociedad, la naturaleza y la economía.

La demanda global de agua está muy influenciada por el crecimiento de la población, la alimentación y patrones de comportamiento de las diferentes culturas y, por supuesto por las políticas energéticas y sectores productivos de los países. Es muy interesante comparar la situación de países como España y Reino Unido estudiando los datos hidrográficos. Mientras que el primero posee, por ejemplo en su orografía, un relieve con una altitud media peninsular de 660 metros, completamente diferente a Reino Unido, en el que la mayor parte del territorio no supera los 200 metros de altitud. Esa diferente configuración, permite en España obtener unos recursos hídricos a través de embalses (cerca de 56.000 hm<sup>3</sup>) muy superior a la de Reino Unido, cuando España tiene una pluviometría media de 636 mm/año<sup>6</sup> siendo en Reino Unido de 1220 mm/año. Pero sin embargo, estas diferencias no se reflejan en el estrés hídrico que demuestran los dos países, que es similar (Figura 5). Por tanto, un mismo indicador puede ser irrelevante según se realice el análisis en un país u otro.

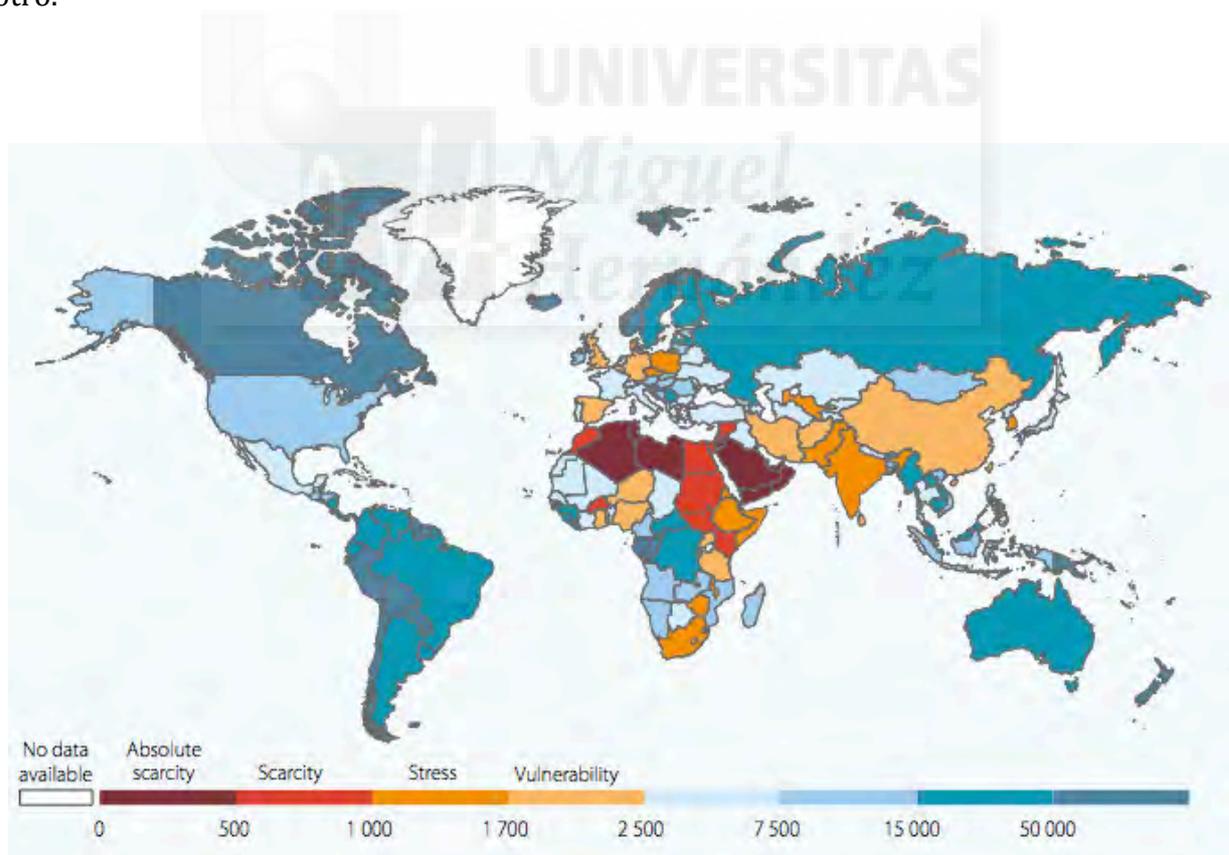


Figura 5. Recursos de agua renovables per capita (2013) Fuente: (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, 2015)

<sup>6</sup> Datos obtenidos a través del sistema de información global sobre el agua AQUASTAT <http://www.fao.org>

Trasladando el razonamiento al subsistema energético, por ejemplo, una región como Europa Occidental, en la que existe una gran dependencia energética del exterior y una contribución del sector eléctrico importante en la energía final disponible, será necesario evaluar indicadores diferentes a los necesarios para la región centroafricana, cuya dependencia eléctrica es muy inferior. Somalia, país en el que la agricultura representa un 60,2% de su PIB tiene una coyuntura energética completamente diferente a Reino Unido cuya agricultura representa alrededor de un 1% del PIB<sup>7</sup>. Por tanto, como segunda conclusión ya no debemos hablar tanto de los indicadores de sostenibilidad energética, sino de grupos de indicadores de sostenibilidad que serán adecuados a diferentes coyunturas de los países. Desde la definición y análisis de esos indicadores, se podrán plantear las políticas más adecuadas para el desarrollo de la sostenibilidad energética en las diferentes naciones.

### 1.5 Premisas para un modelo de indicadores de sostenibilidad energética

Se debe partir de tres premisas fundamentales. La primera premisa radica en la utilización del paradigma de la sostenibilidad débil (Norton, 1992) como el único posible a través del cual desarrollar una conceptualización que tenga en cuenta la fuerza transversal de la tecnología, que permita ampliar los límites del capital natural y hacerlo ilimitado al tiempo que sustituible, sin restricción, aspecto éste último que, mediante el paradigma fuerte del desarrollo sostenible, no es posible razonarlo, ya que plantea un capital natural efímero y limitado. Por tanto también la disociación entre las tres dimensiones del desarrollo sostenible sólo podría concebirse mediante el paradigma de la sostenibilidad débil en la conceptualización del desarrollo sostenible.

La segunda premisa se establece en que la sostenibilidad energética subyace al desarrollo sostenible, es decir, la sostenibilidad energética se encuentra en una capa diferente al definido por las tres dimensiones del desarrollo sostenible: economía, medioambiente y equidad social. No existirá desarrollo sostenible sin una sostenibilidad energética que permita dicho desarrollo. Al mismo tiempo, y como se ha explicado en el punto 1.3 deberá

---

<sup>7</sup> Datos obtenidos de "The World Factbook" es una publicación anual de la Agencia Central de Inteligencia (Central Intelligence Agency - CIA) que recopila, integra y pone a disposición del público, investigadores y científicos desde 1975, información evaluada, analizada e interpretada por los servicios de inteligencia de los Estados Unidos. Además da soporte de inteligencia al Gobierno de ese país.

tenerse en consideración, para que exista desarrollo sostenible, los otros subsistemas alrededor de las tres dimensiones.

La tercera premisa consiste en la idoneidad de los indicadores (Martinez A. V., 2016) a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todos los indicadores serán los más idóneos para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad local (Naredo, 1996), que tal y como se explica en el punto 1.4 , se pueden llegar a obtener conclusiones y definir políticas que no serán replicables a países diferentes.



## 2 Modelos de indicadores: Estado del arte

Existen diferentes modelos planteados por diferentes organizaciones para la monitorización de datos a nivel global que subyacen a la definición de sostenibilidad energética. Algunos son sectoriales, referidos a un sector concreto como el eléctrico o el transporte, y otros de naturaleza más global referidos a consumos de energía en general. Por tanto, son complementarios y sirven de gran ayuda para la toma de decisiones en materia de energía de gobiernos, empresas y otros agentes. Seguidamente se analizan los diferentes modelos de indicadores existentes más destacados que contemplan variables decisivas en materia energética de los estados.

### 2.1 El modelo WEC

El Consejo Mundial de la Energía<sup>8</sup>, ha desarrollado el concepto de “Trilema energético” basándose en tres dimensiones: seguridad energética, equidad energética y sostenibilidad ambiental, que aglutinan 22 familias de indicadores WEC<sup>8</sup> recopilados a nivel mundial para obtener un Índice de Sostenibilidad Energética (World Energy Council, 2014) que informa del grado de cumplimiento de los países respecto a esas tres dimensiones (Figura 6).



Figura 6. El Trilema energético. Fuente: (World Energy Council, 2014)

<sup>8</sup> El Consejo Mundial de la Energía (World Energy Council - WEC) es una Institución acreditada por la ONU y fundada en 1923 que representa a más de 3000 organizaciones en casi 100 países. Publica estudios y prospecciones sobre energía para orientar en la toma de decisiones estratégicas de gobiernos, empresarios y otros agentes. Mas información en <http://www.worldenergy.org>

Es interesante destacar la estructura de indicadores del WEC, partiendo de esas tres grandes variables como definición del concepto de sostenibilidad energética que realiza el Consejo Mundial de la Energía:

- Seguridad de suministro: como indicador de la gestión efectiva del suministro de la energía primaria, la fiabilidad de la infraestructura energética, y la capacidad de los agentes participantes en el sector para garantizar que se satisfaga la demanda de energía actual y la futura.
- Equidad energética: el grado de garantía de accesibilidad y asequibilidad del suministro de energía a toda la población del país en concreto.
- Sostenibilidad ambiental: hasta qué grado de éxito son eficientes el suministro y demanda de energía, así como el grado de desarrollo del suministro de energía de fuentes renovables y otras fuentes con bajo nivel de emisiones contaminantes.

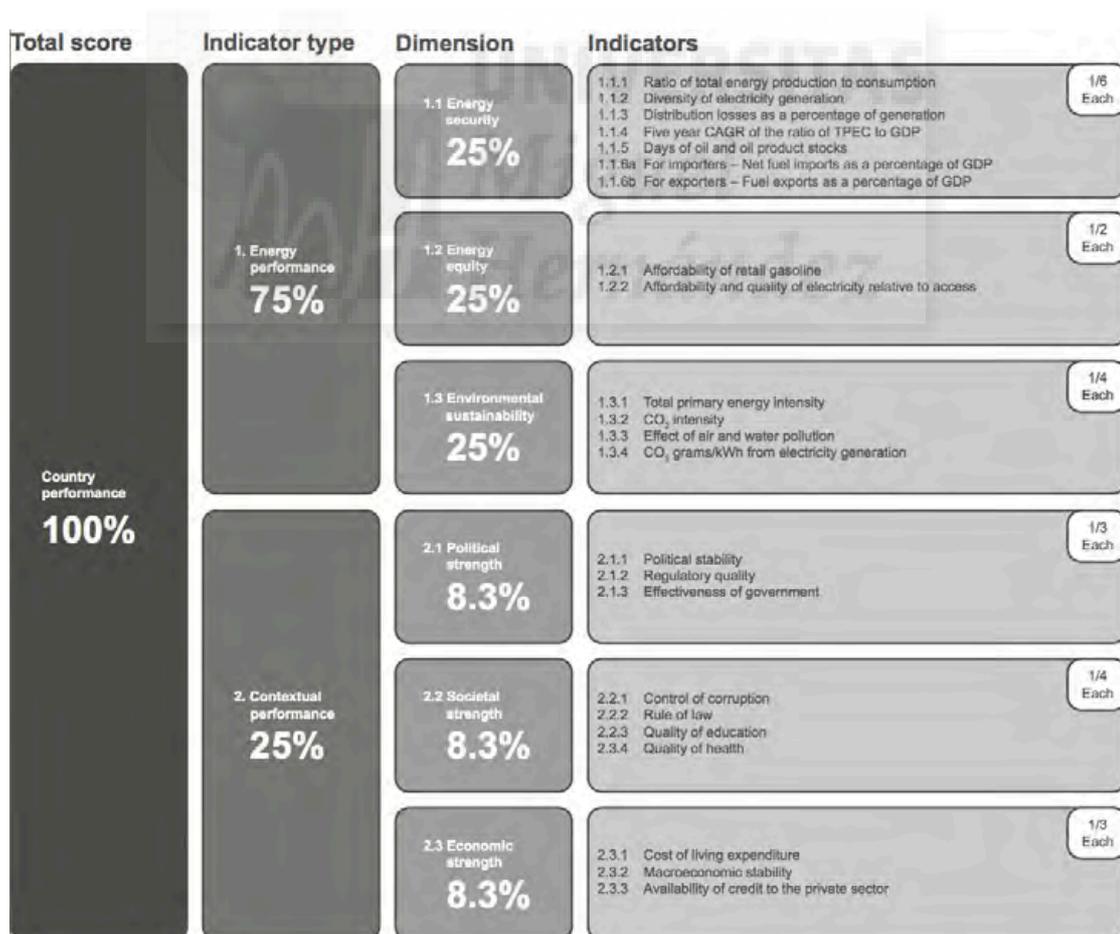


Figura 7. Indicadores de referencia del Trilema Index. Fuente: <http://www.worldenergy.org>

Respecto a esta familia de indicadores WEC resaltar que existe una agregación por tipo de indicador (Figura 7) que agrupa por un lado el 25% del índice de sostenibilidad energética (denominado comportamiento coyuntural del país) relativo a tres variables: dos que son dimensiones del desarrollo sostenible (económico y social) y una tercera: la fuerza transversal de la política institucional, obteniendo un 8,3% cada uno de ellos como contribución al Índice de Sostenibilidad Energética total del país. Existe otra agregación de indicadores (denominado comportamiento energético del país) participando con un 75% de contribución en el total en el índice y, en este caso, refiriéndose a los indicadores seguridad de suministro (25%), equidad energética (25%) y por último, la tercera dimensión del desarrollo sostenible: la sostenibilidad ambiental (25%).

Profundizando en el sistema de indicadores WEC, es destacable la posibilidad de comparar resultados por agrupaciones de países con similares características regionales. Ya que en términos absolutos, el índice de sostenibilidad energética resulta más significativo comparando países con similares recursos, infraestructuras, objetivos y políticas energéticas (Figura 8). Por tanto, se puede concluir que se está teniendo en consideración la tercera premisa de idoneidad de indicadores.

Economic groups (GDP per capita)	GDP per capita (PPP, US\$)	Industrial sector (% of total GDP)	TPEP/TPEC <sup>1</sup>	Population with access to electricity (%)	Energy affordability (US\$ per kWh) <sup>2</sup>	Energy Intensity (koe per US\$, PPP)	Emission intensity (kCO <sub>2</sub> per US\$, PPP)	CO <sub>2</sub> emissions per capita
<b>Group I</b> (33,501+)	45,849	32.2	1.10	95.7	0.22	0.16	0.29	11.53
<b>Group II</b> (14,301–33,500)	22,417	30.3	1.04	95.9	0.18	0.17	0.39	7.83
<b>Group III</b> (6,001–14,300)	9,914	31.4	1.86	91.6	0.09	0.18	0.40	4.16
<b>Group IV</b> (0–6,000)	2,911	27.4	3.05	57.5	–	0.28	0.32	0.99
<b>Global average<sup>3</sup></b>	17,929	30.1	1.86	83.6	0.18	0.20	0.35	6.30

<sup>1</sup> Ratio of total primary energy production to total primary energy consumption, showing the extent to which a country imports or exports energy

<sup>2</sup> "–" indicates lack of available data for this indicator for too many countries in this region

<sup>3</sup> Average of all 129 countries included in the Index

Figura 8. Comparación de la métrica entre grupos según clasificación WEC. Fuente: (World Energy Council, 2014)

Los indicadores utilizados para la discriminación grupal que utiliza el sistema de indicadores WEC, son los siguientes:

- PIB (US\$)
- Sector Industrial (% del PIB)
- Producción Total de Energía Primaria/Consumo Total de Energía Primaria
- Capacidad de acceso de la población a la electricidad (%)
- Energía asequible (US\$/kWh)
- Intensidad energética de la economía (ktep/US\$)
- Intensidad de emisiones (kCO<sub>2</sub>/US\$)
- Emisiones CO<sub>2</sub> per cápita

Respecto a la consideración de los subsistemas en el grupo de indicadores (segunda premisa) es muy poco reseñable el peso que se otorga a indicadores del subsistema hídrico o de la atmósfera, mucho menos al referido a territorio. Los indicadores se centran prácticamente en el aspecto de energía. Lo cual plantea escaso el modelo, ya que únicamente aparece el indicador de emisiones de CO<sub>2</sub> y de polución en aire y agua conjuntamente. Para finalizar, la consideración de la fuerza transversal de la tecnología es inexistente, dejando sí indicadores de gobernanza en un 8,3%, (muy ilustrativo el indicador “control de la corrupción”).

Es destacable en el modelo la ordenación que realiza de indicadores: por un lado establece una serie de indicadores para las tres dimensiones (naturaleza, social y económica) en un 25% y por otro lado el restante peso del 75% del modelo lo enfoca al subsistema de la sostenibilidad energética.



## 2.2 El modelo EISD

Por otro lado, la Agencia Internacional de Energía Atómica<sup>9</sup> desarrolló el modelo EISD - Energy Indicators for Sustainable Development (IAEA, 2005) en cooperación con otras organizaciones internacionales desarrollando un total de 30 indicadores, clasificados alrededor de la conceptualización de las tres dimensiones del desarrollo sostenible:

- La dimensión económica (16 indicadores): midiendo los patrones de uso, producción y suministro de energía, eficiencia de las transformaciones e intensidad energética, precios de energía, tasas e impuestos, seguridad de suministro y diversidad del mix.
- La dimensión social (4 indicadores): midiendo el impacto de la energía en el bienestar social, en términos de empleo, pobreza, educación, cultura, transición demográfica, contaminación y salud ambiental. Describe también los problemas relacionados con la accesibilidad, la asequibilidad y la disparidad entre oferta y demanda de energía. Esta dimensión pone de manifiesto la dificultad de recopilar datos adecuados en países en desarrollo.
- La dimensión medioambiental (10 indicadores): midiendo el impacto medioambiental de la producción, distribución y uso de la energía por parte de los consumidores y usuarios, sean industrias o ciudades, tanto a nivel global, nacional o regional.

El modelo EISD justifica la no inclusión de indicadores de la fuerza transversal de la gobernanza, debido a que son los más complejos de definir por dos razones principales: en primer lugar, son difíciles de cuantificar por su propia naturaleza, ya que muchos de ellos requieren previsiones a futuro basándose en proyecciones de producción de energía. En segundo lugar, las variables medidas mediante indicadores institucionales tienden a ser

---

<sup>9</sup> La agencia internacional de Energía Atómica (International Atomic Energy Agency – IAEA) inició en 1999 en cooperación con el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (United Nations Department of Economic and Social Affairs – UN.DESA), la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency – IEA), la oficina de estadística de la Unión Europea (Eurostat) y la Agencia Europea de Medioambiente (European Environment Agency – EEA) completaron con éxito el proyecto EISD que se concibió con un triple objetivo: definir un conjunto de indicadores aplicables y comparables a nivel global, auxiliar a los países para promover la sostenibilidad energética y la darles la capacidad de análisis estadístico, y por último para suplementar el trabajo que sobre los indicadores generales había realizado la novena sesión de la Comisión de Desarrollo Sostenible (Commission on Sustainable Development - CSD9) de Naciones Unidas en 2001, denominada entonces ‘Indicators for Sustainable Energy Development’ – ISED.

respuestas estructurales o políticas a las necesidades de desarrollo sostenible. Es decir, que los indicadores institucionales no sólo deben medir el grado de incidencia de las políticas energéticas de un determinado estado, la existencia y efectividad de los planes energéticos nacionales, la capacidad de análisis y recopilación de datos estadísticos, y la adecuación y efectividad de nuevas inversiones en capacidad, educación o investigación y desarrollo, sino que también deben servir para monitorizar la efectividad de las políticas regulatorias o legislaciones de los estados. Es interesante analizar los 7 temas y 19 sub-temas en los que se sustenta la clasificación EIDS. Además, algunos indicadores pueden aparecer en más de una dimensión, lo que demuestra la gran interrelación existente entre las variables, incluso dentro de un mismo subsistema como el de la sostenibilidad energética (Figura 9, Figura 10 y Figura 11).

<b>Social</b>			
<b>Theme</b>	<b>Sub-theme</b>	<b>Energy Indicator</b>	<b>Components</b>
Equity	Accessibility	SOC1	Share of households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on non-commercial energy <ul style="list-style-type: none"> <li>– Households (or population) without electricity or commercial energy, or heavily dependent on non-commercial energy</li> <li>– Total number of households or population</li> </ul>
	Affordability	SOC2	Share of household income spent on fuel and electricity <ul style="list-style-type: none"> <li>– Household income spent on fuel and electricity</li> <li>– Household income (total and poorest 20% of population)</li> </ul>
	Disparities	SOC3	Household energy use for each income group and corresponding fuel mix <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energy use per household for each income group (quintiles)</li> <li>– Household income for each income group (quintiles)</li> <li>– Corresponding fuel mix for each income group (quintiles)</li> </ul>
Health	Safety	SOC4	Accident fatalities per energy produced by fuel chain <ul style="list-style-type: none"> <li>– Annual fatalities by fuel chain</li> <li>– Annual energy produced</li> </ul>

Figura 9. Indicadores de la dimensión SOCIAL en el modelo EISD. Fuente: (IAEA, 2005)

Economic					
Theme	Sub-theme	Energy Indicator		Components	
Use and Production Patterns	Overall Use	ECO1	Energy use per capita	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use (total primary energy supply, total final consumption and electricity use)</li> <li>- Total population</li> </ul>	
	Overall Productivity	ECO2	Energy use per unit of GDP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use (total primary energy supply, total final consumption and electricity use)</li> <li>- GDP</li> </ul>	
	Supply Efficiency	ECO3	Efficiency of energy conversion and distribution	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Losses in transformation systems including losses in electricity generation, transmission and distribution</li> </ul>	
	Production	ECO4	Reserves-to-production ratio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Proven recoverable reserves</li> <li>- Total energy production</li> </ul>	
				ECO5	Resources-to-production ratio
	End Use	ECO6	Industrial energy intensities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use in industrial sector and by manufacturing branch</li> <li>- Corresponding value added</li> </ul>	
				ECO7	Agricultural energy intensities
		ECO8	Service/commercial energy intensities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use in service/commercial sector</li> <li>- Corresponding value added</li> </ul>	
		ECO9	Household energy intensities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use in households and by key end use</li> <li>- Number of households, floor area, persons per household, appliance ownership</li> </ul>	
		ECO10	Transport energy intensities	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy use in passenger travel and freight sectors and by mode</li> <li>- Passenger-km travel and tonne-km freight and by mode</li> </ul>	
Diversification (Fuel Mix)	ECO11	Fuel shares in energy and electricity	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primary energy supply and final consumption, electricity generation and generating capacity by fuel type</li> <li>- Total primary energy supply, total final consumption, total electricity generation and total generating capacity</li> </ul>		
			ECO12	Non-carbon energy share in energy and electricity	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primary supply, electricity generation and generating capacity by non-carbon energy</li> <li>- Total primary energy supply, total electricity generation and total generating capacity</li> </ul>
			ECO13	Renewable energy share in energy and electricity	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Primary energy supply, final consumption and electricity generation and generating capacity by renewable energy</li> <li>- Total primary energy supply, total final consumption, total electricity generation and total generating capacity</li> </ul>
	Prices	ECO14	End-use energy prices by fuel and by sector	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy prices (with and without tax/subsidy)</li> </ul>	
Security	Imports	ECO15	Net energy import dependency	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energy imports</li> <li>- Total primary energy supply</li> </ul>	
	Strategic Fuel Stocks	ECO16	Stocks of critical fuels per corresponding fuel consumption	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stocks of critical fuel (e.g. oil, gas, etc.)</li> <li>- Critical fuel consumption</li> </ul>	

Figura 10. Indicadores de la dimensión ECONOMICA en el modelo EISD. Fuente: (IAEA, 2005)

<b>Environmental</b>				
<b>Theme</b>	<b>Sub-theme</b>	<b>Energy Indicator</b>		<b>Components</b>
Atmosphere	Climate Change	ENV1	GHG emissions from energy production and use per capita and per unit of GDP	<ul style="list-style-type: none"> <li>- GHG emissions from energy production and use</li> <li>- Population and GDP</li> </ul>
	Air Quality	ENV2	Ambient concentrations of air pollutants in urban areas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Concentrations of pollutants in air</li> </ul>
		ENV3	Air pollutant emissions from energy systems	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Air pollutant emissions</li> </ul>
Water	Water Quality	ENV4	Contaminant discharges in liquid effluents from energy systems including oil discharges	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Contaminant discharges in liquid effluents</li> </ul>
Land	Soil Quality	ENV5	Soil area where acidification exceeds critical load	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Affected soil area</li> <li>- Critical load</li> </ul>
	Forest	ENV6	Rate of deforestation attributed to energy use	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forest area at two different times</li> <li>- Biomass utilization</li> </ul>
	Solid Waste Generation and Management	ENV7	Ratio of solid waste generation to units of energy produced	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amount of solid waste</li> <li>- Energy produced</li> </ul>
		ENV8	Ratio of solid waste properly disposed of to total generated solid waste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amount of solid waste properly disposed of</li> <li>- Total amount of solid waste</li> </ul>
		ENV9	Ratio of solid radioactive waste to units of energy produced	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amount of radioactive waste (cumulative for a selected period of time)</li> <li>- Energy produced</li> </ul>
		ENV10	Ratio of solid radioactive waste awaiting disposal to total generated solid radioactive waste	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Amount of radioactive waste awaiting disposal</li> <li>- Total volume of radioactive waste</li> </ul>

Figura 11. Indicadores de la dimensión MEDIOAMBIENTAL en el modelo EISD.

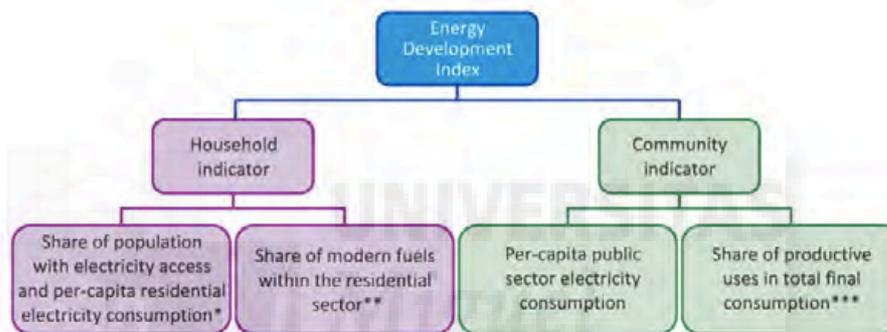
Fuente: (IAEA, 2005)

Por otro lado, el modelo EISD utiliza una serie de estadísticas auxiliares para medir, por ejemplo, la demografía, la salud, el desarrollo económico, las infraestructura de transporte, el nivel de urbanización, etc. Algunas de estas variables son las siguientes: población, PIB per cápita, contribución de los sectores productivos en el PIB, distancia recorrida per cápita, actividad de transporte de mercancías, superficie de vivienda per cápita, valor añadido bruto del sector manufacturas y desigualdades en salarios. Estas variables se utilizan como componentes de la formulación de algunos de los grupos de indicadores EISD, o incluso como complemento para su análisis e interpretación. Por tanto claramente el modelo también considera, al igual que el anterior modelo WEC, la importancia de la tercera premisa sobre idoneidad de indicadores. Por tanto, es concluyente que cada país tendrá sus circunstancias económicas y geográficas, su propia configuración de recursos energéticos y su propia experiencia. Como en cualquier implementación de un modelo de análisis, el proceso de implementación de los indicadores EISD dependerá de las políticas energéticas, la capacidad estadista, la disponibilidad y calidad de datos,...etc.

Respecto a la segunda premisa sobre la consideración de los otros subsistemas en los indicadores si que el modelo EISD deja un gran peso específico a indicadores medioambientales referidos al territorio, protección atmosférica e hídrica, por lo que se debe destacar este aspecto. No siendo así en el aspecto de las fuerzas transversales, de las que no aparecen ningún indicador: ni de gobernanza, ni de tecnología.

### 2.3 El modelo IEA

La IEA en colaboración con la OCDE publica el Energy Development Index - EDI (OECD/IEA, 2012), un indicador multi-dimensional que ofrece información sobre el desarrollo energético de cada país, distinguiendo por un lado al ámbito doméstico y por otro referido a la energía consumida por el sector público y los sectores productivos. Además se focaliza en dos grandes áreas: el acceso a la electricidad en general y la utilización de tecnologías limpias Figura 12. En este modelo, por primera vez, se abandona la estructura tradicional de datos basada en las tres dimensiones del desarrollo sostenible, para utilizar indicadores mucho más enfocados al ámbito energético y con otra ordenación.



\* The geometric mean of the two variables is taken. \*\* Excludes electricity to avoid double counting. \*\*\* Includes industry, agriculture, services, transport and other non-specified energy use.

Figura 12. Componentes del Índice de Desarrollo Energético (IDE). Fuente: (OECD/IEA, 2012)

Nos encontramos ante una metodología que quiere expresar, en términos cuantitativos, el progreso de un país hacia un modelo basado en un acceso moderno a la energía mediante la utilización tecnologías limpias que ayude a mejorar el papel de la energía en el desarrollo de la humanidad. Por tanto podríamos destacar en un primer estadio de análisis, que el modelo se centra exclusivamente en el subsistema de la energía, sin tener en cuenta los otros subsistemas.

Efectivamente, tal y como se muestra en la Figura 13, la estructura de indicadores sobre consumo de energía se ordena por sectores: residencial, servicios, industria, transporte y otros. Éste último es donde aparecen de forma testimonial conceptos sobre los subsistemas territorial e hídrico.

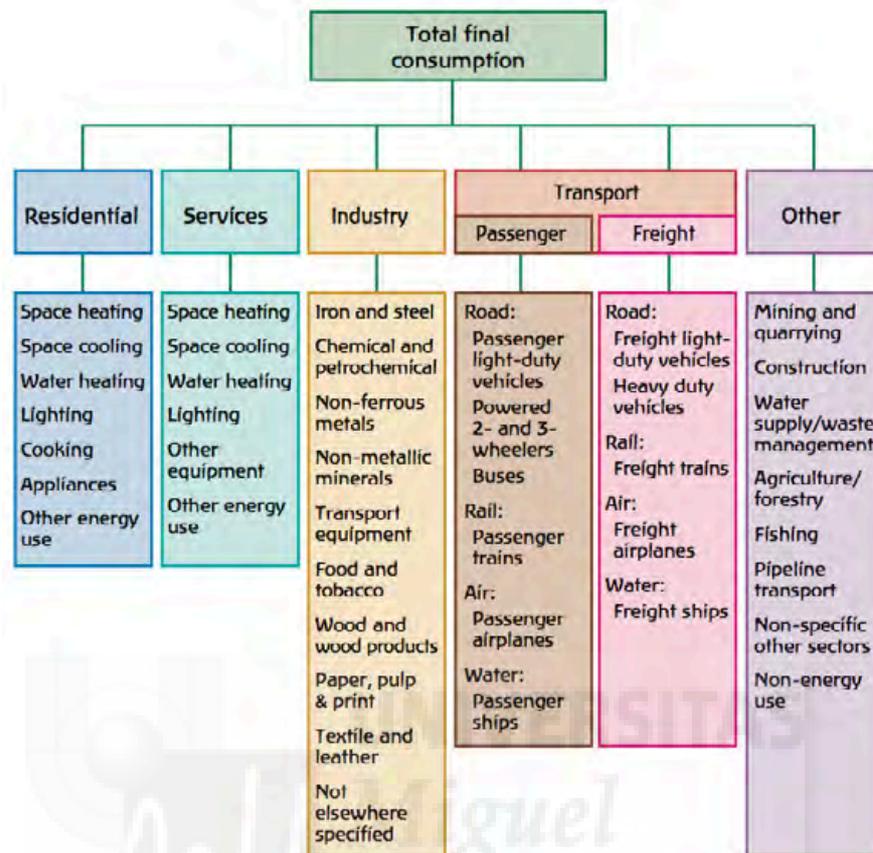


Figura 13. Nivel de desagregación de sectores y subsectores en los indicadores de la IEA

La IEA desarrolla un modelo de indicadores de eficiencia energética con un nivel muy elevado de agregación que se basa en la relación energía consumida respecto al PIB o respecto de la población, observando los dos ratios simultáneamente. Más concretamente utiliza el indicador denominado Intensidad Energética de la Economía, que adquiere un importante peso específico en el modelo. También toma un importante papel en el modelo el concepto de “acceso a la energía eléctrica” discriminando según patrones demográficos de población urbana y rural.

Respecto a las fuerzas transversales, el modelo no contempla indicadores institucionales o de gobernanza en el modelo, aunque sí indirectamente de tecnologías, ya que ratios como el de la Intensidad Energética en la Economía, intrínsecamente contiene el papel de la misma como facilitador y mejora del ratio.

Debido a las diferencias en las definiciones y metodología de adquisición de datos de diferentes países, el modelo toma en cuenta que la calidad de los datos puede variar de un país a otro. Por tanto, no toma en cuenta la tercera premisa en cuanto a la idoneidad de indicadores, sino a corregir las desviaciones propias de la interpretación debido a que provienen de una adquisición irregular. Para ello proponen un ajuste de esos datos a través de correlación de datos y encuestas anteriores.



## 2.4 El modelo “EU Reference Scenario”

El “EU Reference Scenario” es una de las principales herramientas de la Comisión Europea en materia de energía, transporte y acción climática. Los datos son actualizados regularmente y proyecta el impacto de las actuales políticas de la UE sobre energía y transporte, así como los cambios en la cantidad esperada de emisiones de gases efecto invernadero. La herramienta no está diseñada como modelo de previsión, sino más bien sirve como punto de referencia para evaluar diferentes propuestas políticas.

La modelización se basa fundamentalmente en una serie de indicadores técnicos y económicos, todos ellos interrelacionados, cuyo resultado son una serie de proyecciones por sectores y por países, que combinan variables de análisis simultáneo de reducción de emisiones, cumplimiento de medidas eficiencia energética y de alcance de generación a partir de fuentes renovables. El modelo también incorpora la fuerza transversal de la evolución de la tecnología, y su influencia en la formación y reducción de emisiones, así como la política como fuerza transversal. La Figura 14 resume los diferentes sub-modelos que llevan a cabo la simulación, entre los que cabe destacar el denominado PRIMES<sup>10</sup>, núcleo del sistema y que contempla variables macroeconómicas así como indicadores de transporte, energía y emisiones de CO<sub>2</sub>, así como las fuerzas transversales tecnología y política. Es también reseñable la toma en consideración de los subsistemas de la energía, el territorio<sup>11</sup> y de la calidad del aire, ya que consta directamente de modelos específicos para su análisis, no siendo así en lo que respecta a los recursos hídricos, lo cual sería lo único objetable al modelo. Es destacable la calibración del modelo en base a resultados, para reflejar adecuadamente en el sistema los datos reales de años anteriores.

---

<sup>10</sup> Aunque el código no es abierto pueden encontrarse más detalles sobre el modelo en la dirección de la web <http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/analysis/models>

<sup>11</sup> El modelo PRIMES, entre otros aspectos recoge lo afectante a la dimensión de la naturaleza: agricultura, biomasa, deforestación...etc. Respecto a las dimensiones social y económica hace especial hincapié en el sector transporte, y edificatorio-residencial e industrial, así como sus implicaciones económicas y sociales como el empleo (GEM-E3) o el comercio (PRIMES-TAPEM), pero no resuelve el impacto de la evolución de las ciudades o su estructura energética y distribución territorial, que pudieran dirigir las políticas hacia modelos urbanos más sostenibles.

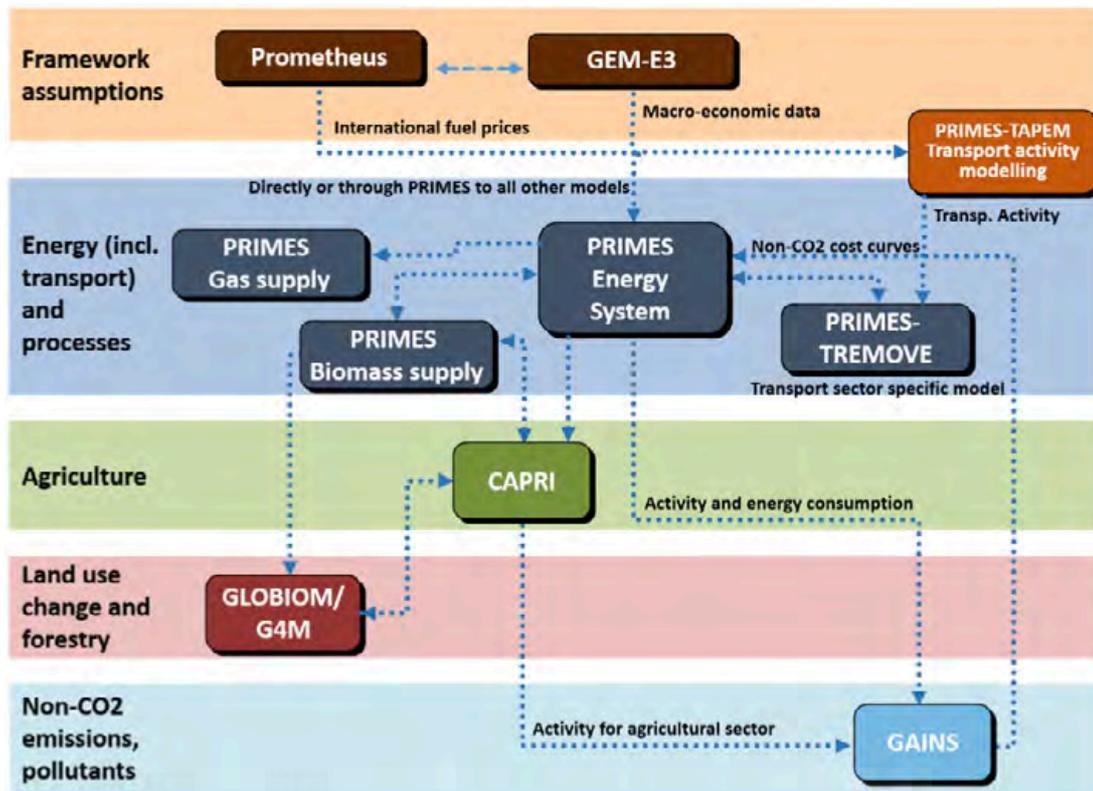


Figura 14. Estructura del modelo EU Reference Scenario. Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016)

Con respecto a las variables macroeconómicas que tiene en cuenta el modelo, indicar que manejan datos demográficos y económicos proporcionados por Eurostat y del Comité de Política Económica de la Comisión Europea. Concretamente respecto a éste último las publicaciones y bases de datos de la Dirección General para Asuntos Económicos y Financieros<sup>12</sup> (DG ECFIN).

Por lo ilustrativo de los resultados del modelo EU Reference Scenario, respecto a los datos demográficos y económicos, se representa en la Figura 15 un resumen de las proyecciones en esos dos ámbitos. Es destacable desde el punto de vista demográfico, que la población se incrementará durante las próximas décadas hasta 2050, y durante estos años se irá reduciendo paulatinamente ese crecimiento. Las tasas de natalidad aumentarían en la UE de 1,6 en 2013 a 1,7 en 2050. La esperanza de vida también aumentará en más de 6 años hasta 2050. Las tendencias migratorias mantendrían un ritmo neto positivo de inmigración hasta 2050, aunque la tendencia sería a disminuir. Para finalizar, todos estos procesos

<sup>12</sup> Los informes "The 2015 Ageing Report" y las previsiones del informe "European Economic Forecast" cuyos datos macroeconómicos se introducen en el modelo EU Reference Scenario (GEM-E3) se pueden consultar en [http://ec.europa.eu/economy\\_finance/publications/european\\_economy/ageing\\_report/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/economy_finance/publications/european_economy/ageing_report/index_en.htm) y [http://ec.europa.eu/economy\\_finance/db\\_indicators/ameco/zippped\\_en.htm](http://ec.europa.eu/economy_finance/db_indicators/ameco/zippped_en.htm) respectivamente.

culminarían en una estructura poblacional en la cual, las personas mayores de 65 años o más representarían el 24% de la población total en 2030 y el 28% en 2050, frente al 18% actual.

Respecto a las proyecciones económicas, se muestra una tendencia de crecimiento relativamente bajo a medio plazo, con una subida media del PIB del 1,2% a medio plazo (2010-2020) muy alejado del 1,9% durante el periodo 1995-2010. En el largo plazo, se espera una media de crecimiento del PIB algo mejor, de alrededor 1,5% de la media europea de los 28.

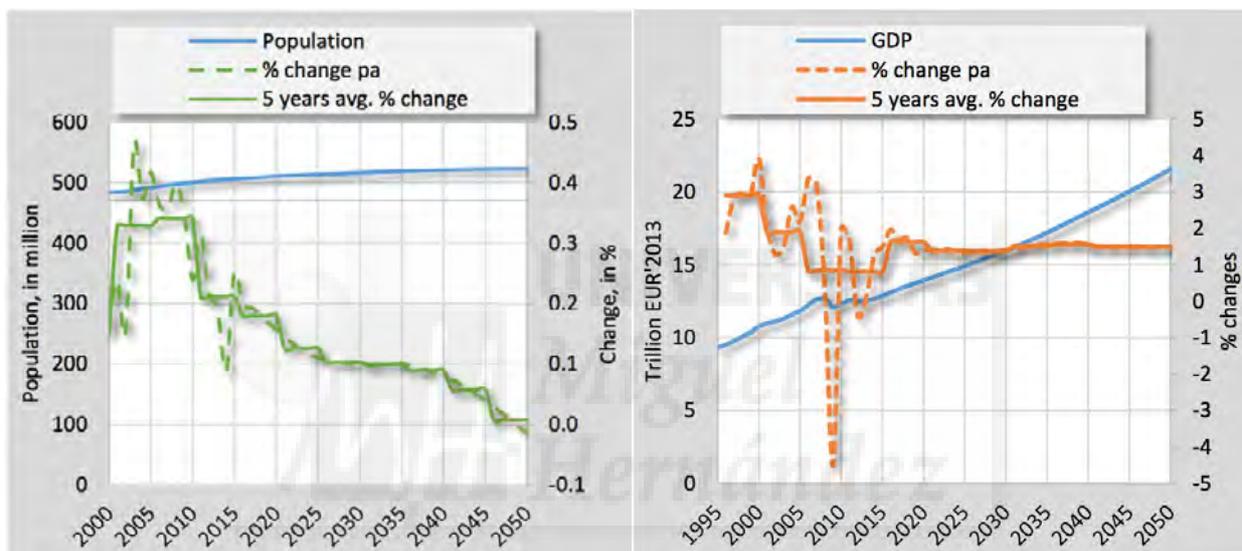


Figura 15. Proyecciones macroeconómicas del modelo EU Reference Scenario a 2050 respecto a la población (izquierda) y al PIB-reales (derecha). Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016)

Respecto a datos sectoriales, la Europa de los 28 incrementará el peso de su sector servicios hasta un 78% del valor añadido bruto en 2050, lo que significa un ligero incremento de este indicador desde el 74% registrado en 2010. Se reduciría el peso específico del sector industrial de un 16% a un 13% de 2010 a 2050 así como la de otros sectores de un 11% a un 8%.

A continuación, y fundamentado en que el modelo UE Reference Scenario es el único analizado que toma en consideración las fuerzas transversales de política y tecnología, se expondrá seguidamente aspectos destacables que tiene en cuenta en estos dos ámbitos.

### **2.4.1 La fuerza transversal de la Política en el modelo UE Reference Scenario**

Respecto a las políticas que se incluyen en el modelo como variables se establece lógicamente a nivel de Unión Europea. Fundamentalmente trata políticas sobre comercio de emisiones, eficiencia energética, energías renovables, clima y otras políticas sectoriales directamente relacionadas con el control de emisiones de gases efecto invernadero, como son: sector transporte, sector agrícola, sector residuos y el ámbito de los gases efecto invernadero.

Además el modelo tiene en cuenta las políticas de armonización de los sectores eléctrico y gasista a nivel de gestión de la red de distribución y red de transporte, tomando en consideración los planes oficiales de desarrollo de infraestructura de la red.

Entrando en detalle en algunas políticas anteriormente indicadas, es de destacar dentro de las políticas de eficiencia energética los procesos de armonización que se están llevando a cabo a través de las directivas de ecodiseño y etiquetado ecológico, así como las directivas de eficiencia energética y de comportamiento energético de edificios.

Respecto a las políticas de generación de energía y mercados, lo concerniente a las directivas de integración de mercados de la energía y de intercambios transfronterizos y redes de distribución, así como la regulación de seguridad de suministro de gas, transparencia e integridad del mercado, directivas de seguridad, directiva de residuos nucleares y por último y no por ello menos importante, la directiva de promoción del uso de la energía proveniente de fuentes renovables.

Haciendo alusión a las políticas sobre el clima, muy destacable es la inclusión en el modelo de la directiva sobre el sistema de comercio de emisiones, directiva sobre almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, directiva de impulso de reducción de emisiones de gases efecto invernadero<sup>13</sup> y sus implicaciones en el uso del territorio y deforestación.

---

<sup>13</sup> Estos objetivos se refieren a las emisiones de la mayoría de los sectores no incluidos en el sistema de comercio de derechos de emisión de la UE (ETS), como el transporte, los edificios, la agricultura y los residuos. Esta acción forma parte de un conjunto de políticas y medidas sobre el cambio climático y la energía -conocido como el paquete climático y energético- que ayudará a Europa a avanzar hacia una economía con bajas emisiones de carbono ya aumentar su seguridad energética. Se puede encontrar más información en [https://ec.europa.eu/clima/policies/effort\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/effort_es)

Atendiendo al sector transporte, importante destacar las directivas sobre emisiones en vehículos, la directiva sobre calidad en los combustibles, regulación de los vehículos pesados, directivas sobre ciclo de vida del vehículo, aire acondicionado, promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y eficientes, transporte internacional de mercancías, mercancías peligrosas, ferrocarril, control de puertos, restricciones de ruido en aeropuertos de la unión, contenido de azufre en los combustibles marítimos, regulación del ruido en automóviles así como la directiva relativa a la implantación y el despliegue de la infraestructura para los combustibles alternativos.

El modelo también contempla políticas sobre infraestructuras, innovación, investigación y desarrollo tecnológico y financiación, acercando directivas sobre fondos de cohesión, políticas de financiación de inversiones y fondos de desarrollo regional.

Por último destacar la inclusión de políticas sobre medioambiente en relación a la directiva de vertidos, tratamiento de aguas residuales urbanas, residuos, política común en actividades agrarias y emisiones, así como también en relación a las directivas vinculadas a generación eléctrica, se tiene en cuenta en el modelo las paradas técnicas y operativas de las plantas de generación.

#### ***2.4.2 La fuerza transversal de la Tecnología en el modelo UE Reference Scenario***

El modelo Reference Scenario tiene en consideración la evolución de la tecnología explícitamente en aspectos relativos a la generación de electricidad, evolución del sector del transporte y la movilidad así como el progreso en el ámbito de las tecnologías renovables y su proceso de aprendizaje tecnológico.

El diferente nivel de penetración de las nuevas tecnologías va a depender de las diferentes coyunturas técnico económicas de los países<sup>14</sup>, junto con otros factores como los costes y precios de la energía, políticas de promoción de la eficiencia energética y de mejor

---

<sup>14</sup> Se cumple por tanto la tercera premisa sobre idoneidad de los indicadores a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todos los indicadores serán los más idóneos para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad local (Naredo, 1996), que tal y como se explica en el Capítulo 2 1.4 punto 1.4, se pueden llegar a obtener conclusiones y definir políticas que no serán replicables a países diferentes.

utilización de los recursos. Todos estos aspectos conducen a una penetración diferente de los niveles de tecnología y por tanto redundará en diferentes mixes energéticos.

Según se muestra en la Figura 16, se tienen en cuenta por parte del modelo un gran abanico de diferentes tecnologías agrupadas por categorías. Destacar las vinculadas a sector de la edificación y residencial, al sector industrial, el transporte y el energético. Es destacable en el sector energético, la alusión a las tecnologías descentralizadas o relativas a la generación distribuida, así como a la infraestructura de la red y el almacenamiento de electricidad.

<p><b>Houses and Buildings (several technologies by energy use)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Space heating, cooling, water heating, cooking</li> <li>Electric appliances, lighting</li> <li>Thermal integrity of buildings (efficiency curves by category - no explicit techniques)</li> </ul> <p><b>Industry by sector and sub-sector (26 sub-sectors) - several technologies split by:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Specific industrial processes</li> <li>Thermal processing - furnaces etc.</li> <li>Electric processing</li> <li>Steam</li> <li>Low enthalpy heat</li> <li>Motor drives, air compression/ventilation, chillers, etc.</li> <li>Horizontal energy management and heat recovery</li> </ul> <p><b>Transport sector (various technologies by transport mode)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Cars (conventional, hybrid, plug-in hybrid, battery electric, fuel cells - several categories incl. the EURO standards separately)</li> </ul> <p>By fuel type and technology efficiency curves:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Heavy Goods Vehicles, Busses, Coaches</li> <li>Conventional and high speed rail</li> <li>Airplanes</li> <li>Ships</li> </ul>	<p><b>Power sector (&gt; 150 cases)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Utility and industrial scale: separately</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Coal - lignite (several)</li> <li>Steam turbine (gas, oil)</li> <li>GT and IC</li> <li>CCGT (several)</li> <li>CCS (several)</li> <li>Nuclear (several)</li> <li>CHP technologies (several)</li> <li>Large Hydro and pumping</li> </ul> </li> <li><b>Renewables</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solar PV</li> <li>Wind onshore, offshore</li> <li>Solar thermal</li> <li>Biomass (several)</li> <li>Waste (several)</li> <li>Biogas (several)</li> <li>Geothermal</li> <li>Tidal - waves</li> <li>Small hydro</li> </ul> </li> <li><b>highly decentralised</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Rooftop solar</li> <li>Small scale wind</li> <li>Micro CHP</li> <li>Fuel cells</li> </ul> </li> </ul>	<p><b>Grids</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>High voltage, medium voltage, low voltage, DC/AC interconnectors, smart metering (curves)</li> <li>District heating</li> <li>Steam distribution</li> <li>Gas pipelines, LNG, storage, etc.</li> <li>Hydrogen transport and distribution</li> <li>Refuelling / recharging infrastructure</li> </ul> <p><b>Power storage</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hydro pumping</li> <li>Hydrogen (RCS to hydrogen/gas)</li> <li>Air compression</li> <li>Batteries (low, medium scale)</li> </ul> <p><b>Biomass supply</b></p> <p>35 technologies converting feedstock to bio-energy</p> <p><b>Oil Refineries</b></p> <p>15 typical processes</p> <p><b>Hydrogen production</b></p> <p>14 production processes</p>
---	--	--

Figura 16. Clasificación de las tecnologías relacionadas con la energía del modelo EU Reference Scenario. Fuente: Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050 (European Union, 2016)

Por último hacer alusión a las curvas de aprendizaje que se implementan en el modelo, que se aplican a las diferentes tecnologías específicas y que reflejan una reducción de los costes y mejora de la eficiencia en función del volumen de producción. Por tanto, la curva de aprendizaje difiere de una tecnología a otra, dependiente del grado de madurez en la que se encuentra.



## Capítulo 3 La sostenibilidad energética de las naciones

### 1 Introducción

Un modelo como el planteado en este trabajo, establecido desde el paradigma débil de la sostenibilidad, es decir, desde la inexistencia de límites al desarrollo sostenible y estructurado sobre las tres dimensiones: naturaleza, sociedad y economía, es influenciado a través de dos fuerzas transversales: por un lado la política, gestionando la gobernanza y cooperación entre gobiernos, las estrategias de decisión y la capacidad de análisis de estadísticas, así como la gestión de inversiones. Por otro lado, la tecnología apropiada, como la segunda fuerza transversal, haciendo especial mención al concepto de *apropiada* como el referido a la tecnología suficiente, necesaria y adaptada a las marcadas desigualdades sociales, económicas y culturales entre las distintas naciones, lo que por tanto convertiría en estéril el análisis aplicando la tecnología como concepto global.

Es importante destacar la importancia de las variables, ya que se debe cuestionar la idoneidad de una definición de indicadores universales válidos para todo tipo de naciones, ya que las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, deben reorientar algunos análisis hacia desagregaciones de datos diferentes.

En este trabajo se utilizará la estadística descriptiva, cuyo objetivo será la de resumir y ordenar series de datos pertenecientes a diferentes países en forma cuantitativa utilizando para ello tablas, gráficos e histogramas. A continuación, se obtendrán los índices a partir de una variable cuando muestren una tendencia central, así como su variabilidad y asimetría. En el caso de dos o más variables, se utilizará el análisis de correlación para obtener el índice que nos indique hasta qué punto están las variables relacionadas entre sí (Garriga, 2009).

Como se ha indicado en el Capítulo 2, se establecen cuatro subsistemas adyacentes alrededor del desarrollo sostenible: la gestión de la energía, la gestión urbanística y del territorio, la protección atmosférica y de la calidad del aire y la gestión de los recursos hídricos, que junto a las tres dimensiones del desarrollo sostenible, crean un modelo interrelacionado sobre el que construir los indicadores. Además, el grado de desarrollo de esos subsistemas en el orden local, deberán discriminar aquellos indicadores que no sean apropiados para la realización de cualquier análisis posterior.

Entre los subsistemas y el sistema central definido por las tres dimensiones del desarrollo sostenible, se establecen conexiones, a través de las capas definidas por las fuerzas transversales, en forma de múltiples variables interrelacionadas que podrán agruparse para ser objeto de análisis. En concreto, esta tesis se centra la evaluación de las variables desde el subsistema definido alrededor de la sostenibilidad energética, tal y como se representa en la Figura 17.

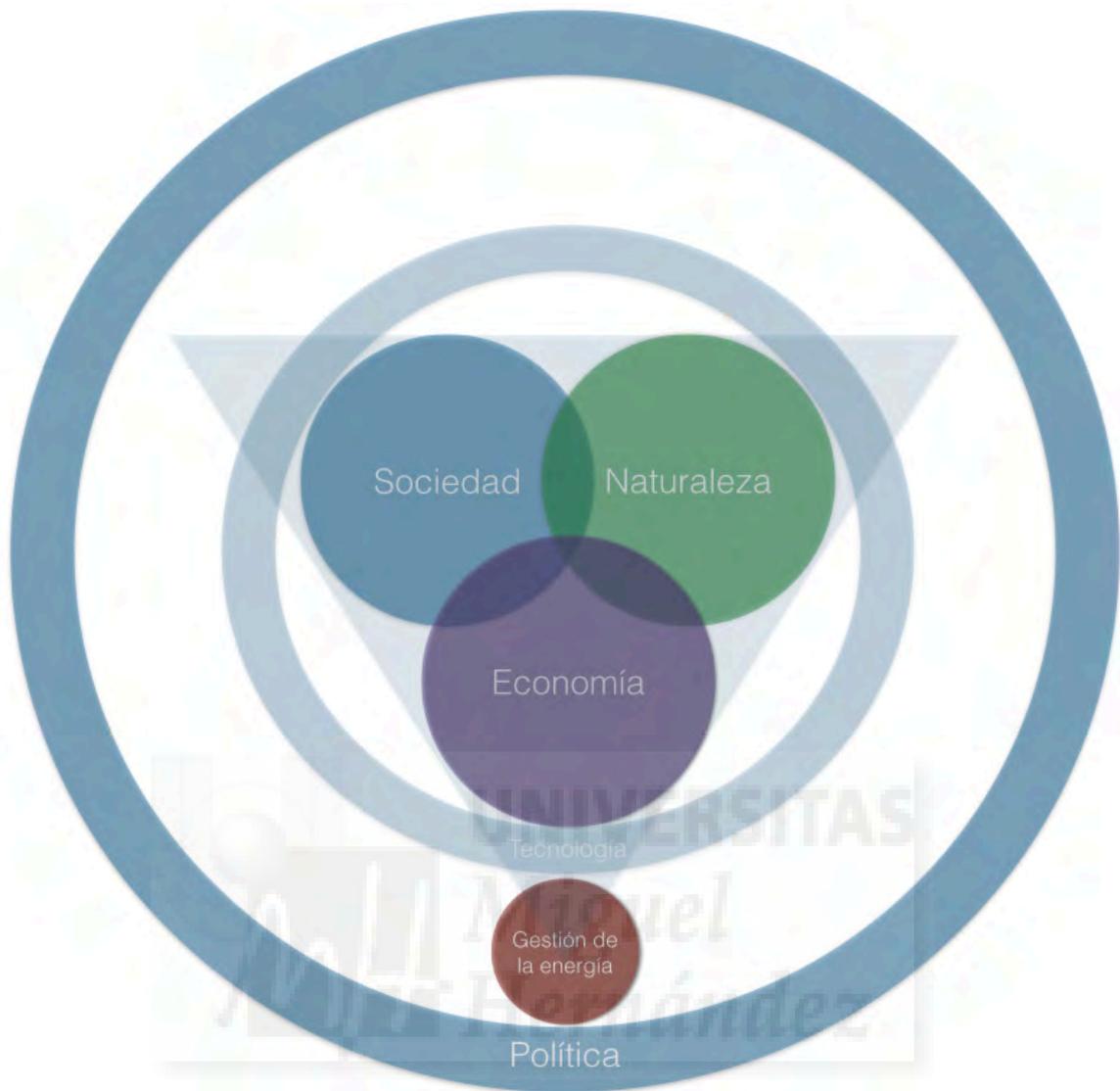


Figura 17. Sostenibilidad energética. Fuente: Elaboración Propia

Según el último informe “World Energy Outlook” (OECD/IEA, 2016), la interdependencia entre energía y agua es una cuestión clave en la sostenibilidad energética: el sector de la energía es el responsable del 10% de las extracciones mundiales de agua y en 2014, alrededor del 4% de la demanda de electricidad en el mundo tuvo como destino la extracción, distribución y tratamiento de agua y aguas residuales, añadido a 50 millones de toneladas equivalentes de petróleo (tep) utilizadas en forma de gasoil para bombas de riego y de gas para plantas desalinizadoras. Para 2040, se proyecta que la cantidad de energía usada en el sector hídrico se consolide en más del doble del actual, al tiempo que aun con una demanda energética menor, para ese horizonte el consumo de agua será ligeramente superior que el actual. El informe concluye que la gestión de la relación entre la energía y el agua será estratégica para el cumplimiento de los objetivos climáticos. Por tanto estamos

ante un claro ejemplo de la interrelación entre los diferentes subsistemas del desarrollo sostenible, que se puede ilustrar con un ejemplo muy claro: ciertas tecnologías renovables como la energía solar fotovoltaica o la eólica que producen bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, requieren de muy poca agua para su funcionamiento, pero unas políticas de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> que se apoyen en los biocombustibles, en la tecnología termo solar, en la captura de CO<sub>2</sub> o en la energía nuclear, aumentará el consumo mundial de agua.

Por tanto, no se debe olvidar que las políticas que permitan un desarrollo sostenible se deben enfocar desde los cuatro subsistemas, con lo cual la gobernanza debe estar soportada por una coordinación de los cuatro ámbitos en los que tengan participación y/o jurisdicción cada una de las carteras ministeriales de las naciones.



## 2 Estableciendo la métrica de la gobernanza y la tecnología. Directrices para la toma de decisión en materia de política regional e inversión.

El ejercicio de las políticas del gobierno sobre el sector energético debe adquirir siempre una dimensión horizontal hacia muchas otras áreas, lo que en definitiva convierte al sector energético en una cuestión estratégica o de Estado, que implica a todos los agentes: gobierno, sectores productivos, administración, ciudadanos, agentes sociales...etc. Además, la gobernanza en materia de energía de un país, tiene conexiones con muchas políticas: comercio, infraestructuras, medioambiente, transporte, finanzas, etc.

En primer lugar, partiendo de la dimensión de la **sociedad**, es necesario una política en materia social, de educación y cultura que fomente hábitos adecuados y saludables en el uso de la energía desde los centros de enseñanza y que contemple acciones de divulgación hacia los ciudadanos, incluso actividades de formación y educación en entornos sociales más desfavorecidos para educar en hábitos saludables desde el punto de vista del consumo energético, en definitiva, fomentar en los ciudadanos respeto por el medioambiente. Incardinado a la vez mediante políticas que regulen desde el punto de vista de la responsabilidad social corporativa el sector energético, como por ejemplo fomentar un mercado competitivo y libre de especulaciones financieras que permita el acceso a la energía por parte de los usuarios y empresas en condiciones de acceso en equidad, una calidad de suministro en condiciones adecuadas a los niveles de desarrollo, una gestión de la oferta y la demanda de energía eficiente, en definitiva, la creación de un sistema que permita que el estado de bienestar perdure en las generaciones futuras. Para ello es necesaria una coordinación mucho más ágil entre administración y agentes del sector, con mecanismos sencillos. Pero lo que es más complejo y necesario: monitorizar y supervisar la adecuación de esas políticas de ámbito más social a las necesidades de los ciudadanos.

Por otro lado, atendiendo a la dimensión de la **naturaleza** las políticas de eficiencia energética y de impulso de la descarbonización de los sectores productivos y de la reorientación del mix energético hacia fuentes renovables son implantadas por los países desarrollados, con mayor o menor medida. Concretamente en la Unión Europea se presentan grandes retos para cumplir los ambiciosos objetivos de 2050, entre ellos simplificar la fuerte fragmentación del mercado energético en los países miembros (Leal-

Arcas, 2015). En el año 2040, el suministro energético mundial se dividirá en 4 pilares: petróleo, gas, carbón y fuentes de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>. Las decisiones en materia de política energética y regulación de los mercados, que en 2040 reducirá en una cuarta parte la proporción de combustibles fósiles en la demanda de energía primaria, no bastarán para frenar el aumento de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el ámbito energético, que crecerán un quinto (OECD/IEA, 2014). El papel fundamental de los gobiernos para alcanzar el objetivo de aumento de la temperatura media global en solo 2°C requiere de acciones urgentes. No se deben olvidar las políticas de emisiones que inciden directamente en el mantenimiento de los subsistemas hídrico, del territorio (con especial observancia de la deforestación, desertización y urbanización de los territorios) y de la calidad del aire, como son: el agrícola, el transporte y el del control de los residuos y las emisiones.

Por otro lado, abordando la dimensión **económica**, perdura el problema global de la conexión de intereses económicos, energéticos y medioambientales que, a pesar de las cumbres sobre clima y energía y los acuerdos internacionales sobre cambio climático y derechos de emisiones, sigue persistiendo el riesgo de que las grandes industrias con un consumo energético intensivo se enfrenten a competencia desigual por parte de países que no actúan de forma solidaria (OECD/IEA, 2013) y (Grossman & Krueger, 1995). No debemos perder de vista por tanto, la futura polarización de la demanda de energía por los países emergentes, en concreto China, India y Oriente Medio que llevarán a aumentar un tercio el consumo mundial de energía entre 2035 y 2040 (OECD/IEA, 2013), (OECD/IEA, 2014) y (OECD/IEA, 2015).

Destacar el aspecto de los precios del crudo, muy vinculado todavía al sector del transporte y la movilidad que representa algo más de la tercera parte del consumo final de energía de los países desarrollados, y aunque en mucho menor medida los productos petroquímicos, seguirá manteniendo el crecimiento de su consumo (de los 90 barriles diarios de petróleo en 2013 a 103 bdp en 2040), aunque su polarización se desplazará hacia los países de Oriente Medio, China y Norteamérica hasta 2030, siendo los países de la OCDE los que reducen el ritmo de crecimiento y estabilizan su consumo, en los cuales, el impulso de la tecnología y la eficiencia deberá ser el ingrediente fundamental de esa reducción, junto al incremento de precios y las nuevas políticas energéticas que se lleven a cabo (OECD/IEA, 2014).

El gas, será de los combustibles que más rápido crecerá su consumo en el horizonte de 2040, para el cual existen oportunidades para reemplazar a otros combustibles fósiles como se verá más adelante, si que es cierto que en el informe analizado presupone que Europa será la excepción de ese crecimiento (OECD/IEA, 2014) y (OECD/IEA, 2015) debido a las políticas de eficiencia, particularmente en el sector residencial y por el desarrollo de las renovables. En cualquier caso, el crecimiento mundial de la demanda de energía proveniente de ese combustible crecerá un 50% (OECD/IEA, 2016).

Respecto al carbón, en el mix energético mundial ha aumentado su utilización del 23% en el año 2000 al 29% en 2015 (OECD/IEA, 2015), pero en este nivel las previsiones indican que se encuentra en su punto pico, ya que hasta 2040 la previsión es que aumente solo un 10% su demanda y concretamente en países de la OCDE se reduzca su consumo en un 40%, y en concreto, en la Unión Europea y Estados Unidos significará una reducción del 60% y el 40% respectivamente respecto a los niveles actuales de consumo (OECD/IEA, 2016). No obstante, y como corolario de este breve recorrido por el marco energético mundial, es destacable el dato de las subvenciones a los combustibles fósiles: se estima en el informe de la Agencia Internacional de la Energía (OECD/IEA, 2015) que el montante global ascendió a casi 500.000 millones de USD en 2014, siendo en 2015 de 325.000 millones de USD, y lo que a las tecnologías renovables del sector eléctrico ascendieron a 112.000 millones de USD en 2014 a los que hay que añadir 23.000 millones de USD para biocombustibles.

Para finalizar, en el apartado de inversiones se va a producir una transferencia de capital desde los combustibles fósiles hacia las energías renovables, pero dependerá en gran medida de dos aspectos: por un lado de las expectativas existentes de una disminución paulatina de los costes de las tecnologías renovables y su curva de aprendizaje que incentive la inversión y el desarrollo y por otro lado del descenso de producción de los yacimientos tradicionales de combustibles fósiles (principalmente petróleo y gas) que estimule inversión de capital en la búsqueda de nuevas tecnologías extractivas, siempre y cuando lo permita la demanda. La irrupción de las renovables en el mix eléctrico unido al desembarco de la generación distribuida promoverá sin lugar a dudas mayor inversión en renovables, lo que significará una nueva aparición de capacidad basada en renovables que traerá aparejada una baja tasa de utilización, lo que requerirá un aumento de la capacidad total disponible estimada en más del 40%. En cualquier caso, este aumento de inversiones

en este último sector debido a su intensidad de capital de instalación, es compensada en la mayor parte de los casos por unos gastos de operación mínimos al no existir combustible (OECD/IEA, 2016).

En relación a las políticas energéticas en la UE se establecen alrededor de cuatro objetivos fundamentales: garantizar el funcionamiento del mercado de energía, garantizar la seguridad de abastecimiento en los países miembros y fomentar la cooperación internacional, promover la eficiencia energética y el ahorro energético, así como el desarrollo de formas de energía nuevas y renovables, y por último, fomentar la interconexión de las redes energéticas. Como se ha introducido en párrafos anteriores, Europa junto con Japón, el consumidor industrial medio paga por la electricidad más del doble que en Estados Unidos, con lo que a largo plazo puede significar que se polaricen las industrias energéticamente intensivas hacia aquellas latitudes. El problema está en que esas industrias representan una quinta parte del Valor añadido industrial, un cuarto del empleo industrial y un 70% del uso de la energía en el sector industrial (OECD/IEA, 2013). Por tanto es muy necesario establecer en Europa unas políticas que promuevan mercados de la energía más competitivos, eficientes e interconectados. Es muy ilustrativo intentar conceptualizar las políticas en la UE dado su marcado carácter multifacético, lo que según (Leal-Arcas, 2013) explica en cuatro áreas: como característica general se promueven las relaciones exteriores para mejorar una media del 50% de su dependencia energética exterior; se determinan unos objetivos mínimos de eficiencia energética, reducción de los gases efecto invernadero y diversificación del mix; se promueve la integración hacia un Mercado Interior de la Energía<sup>15</sup> (MIE) y la mejora de la interconexión energética; y por último se focaliza hacia una integración de los mercados domésticos de la electricidad y el gas en el MIE.

---

<sup>15</sup> El Mercado Interior de la Energía (IEM - Internal Energy Market) es uno de los objetivos de la UE que consiste en integrar los mercados nacionales de la energía en 2014, con el fin de ofrecer a consumidores y empresas más y mejores productos y servicios, así como abastecimientos más seguros. Para ello se estructura la Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER - <http://www.acer.europa.eu>), en virtud del Tercer Paquete de Medidas Energéticas, con el objetivo de avanzar en la consecución del mercado interior de la energía de la electricidad y el gas natural. Un informe del Tribunal de Cuentas Europeo concluye que la Unión Europea no ha conseguido el objetivo de realizarlo en 2014 como estaba previsto debido fundamentalmente al retraso en la aplicación del marco legislativo de la UE y las diferentes formas en que los Estados miembros organizan sus mercados energéticos. El informe advierte que no se ha llevado a cabo una evaluación general de las necesidades de la UE que sirva para priorizar inversiones en infraestructuras.

Como contrapunto a los países desarrollados, el continente africano contrasta de las economías avanzadas en una utilización per cápita de la energía muy baja, de los 1200 millones de personas (un 17% de la población mundial) que carecen en el mundo de acceso a la electricidad, la mitad viven allí y de los 2700 millones de personas (38% de la población mundial) que se encuentran en riesgo utilizando biomasa sólida para cocinar, un cuarto viven en aquel continente (OECD/IEA, 2013) y (OECD/IEA, 2015). Además, existen grandes contrastes cuando se manejan ratios de consumo de electricidad per cápita y año: en Bangladesh el consumo medio por persona es el 0,2 MWh, en India de 0,7 MWh, en Alemania de 7 MWh, ascendiendo 13 MWh por persona y año en Estados Unidos (Nieto, 2011) y (Banco Mundial, 2017). Por tanto los indicadores para la toma de decisiones en países con esos contrastes deben ser significativamente diferentes a los de otras economías avanzadas.

Por tanto, las políticas deben ser diferentes de unos países a otros en función de esos indicadores, por ejemplo, en Europa las estrategias y políticas energéticas difieren sensiblemente respecto a Chile, en donde el pasado mes de marzo de 2014 se establecieron los ejes prioritarios alrededor de los cuales definir las políticas: como primer eje, se establece fortalecer el papel del Estado en la planificación energética, donde existe unanimidad en que no es posible contar con una agenda energética sin la presencia del Estado, a través de la implicación de varios de los Ministerios; el segundo eje es el ordenamiento territorial y urbanístico: áreas protegidas, zonas industriales, que permita discernir las actuaciones a realizar según criterios de planificación del territorio; como tercer eje la tecnología, como fuente de creación de nuevos recursos energéticos renovables; el cuarto eje es el de establecer políticas de eficiencia energética y como último eje, se propone la reestructuración del mercado eléctrico hacia un aumento de la competencia en ese sector. Como se puede evidenciar, estas políticas se encuentran muy alejadas de la situación más aventajada en los países de la Unión Europea.

Por último, para abordar la problemática de toma de decisiones en política energética e inversión, es necesario partir de una metodología de análisis y determinación de variables que valore la interrelación entre los cuatro subsistemas, así como la relación de ellos con las tres dimensiones del desarrollo sostenible, por lo que cualquier estrategia de política energética debe establecerse desde la desagregación observando su vinculación con los

demás subsistemas, para evitar que decisiones tomadas en virtud de variables independientes, perjudiquen gravemente la globalidad del modelo y viceversa.

## 2.1 Directrices de la gobernanza para la sostenibilidad energética

Para la disociación de los tres pilares de la sostenibilidad energética (emisiones, crecimiento y demanda de energía) al igual que ocurría con las tres dimensiones del desarrollo sostenible (economía, naturaleza y sociedad) son necesarias la acción de las fuerzas transversales aplicadas al ámbito de la energía que fomenten dicha disociación: la gobernanza y la tecnología, respecto a ésta última la abordaremos en el siguiente punto, para tratar ahora lo concerniente a la gobernanza.

Se debe determinar las líneas estratégicas de una gobernanza para la sostenibilidad energética partiendo de la conceptualización del desarrollo sostenible: de esta forma se logra una metodología de agregación por sectores, ya que otras sistemáticas en política energética (Nieto, 2011) y (Leal-Arcas, 2015), impiden realizar una desagregación por sectores productivos de indicadores<sup>16</sup> que es lo que se pretende en este trabajo.

Para ello se debe debatir alrededor de tres ámbitos claros y diferenciados, las tres dimensiones del desarrollo sostenible con sus homólogos en el plano de la sostenibilidad energética: medioambiente (emisiones y contaminación), economía (crecimiento) y sociedad (demanda de energía), que se explican desde el inicio, pero al descender al análisis del subsector de la sostenibilidad energética, adquieren mucha importancia dos nuevas dimensiones: la seguridad de suministro y la regulación y los mercados.

---

<sup>16</sup> La agregación propuesta en (Leal-Arcas, 2015) define 5 áreas estratégicas de la política energética: comercio y regulación de mercados, cambio climático, inversión, tránsito de energía y seguridad de suministro. Aspectos tenidos en cuenta en el modelo que se propone en este trabajo pero desde una desagregación a partir de las tres dimensiones del desarrollo sostenible. La estructura de gobernanza propuesta en (Nieto & Linares, 2011) se clasifica atendiendo criterios económicos y jurisdiccionales: regulaciones convencionales de mandato y control, instrumentos económicos y aproximaciones voluntarias.



Figura 18. Estructura de la gobernanza para la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 18, para el análisis del subsector de la sostenibilidad energética debe tenerse en consideración por tanto dos nuevos ámbitos en la toma de decisiones para la gobernanza: por un lado el concepto de seguridad de suministro, de importancia estratégica para el sector de la energía y del que parten grandes áreas como el tránsito de energía, la logística de aprovisionamiento, la gestión técnica de las redes e infraestructuras, los parámetros de calidad establecidos para cada una de las diferentes formas de energía, y lo que es más importante, como indicador y preocupación fundamental de las políticas energéticas de muchos países: el **grado de autoabastecimiento o la dependencia energética exterior**, que será la principal variable a partir de la cual se podrán desagregar el resto de indicadores.

Por otro lado, todos los aspectos que conciernen a la regulación de los mercados adquieren mucha relevancia como instrumentos de gestión sostenible de la energía, desde el mayorista con la estructura de formación de precios desde la oferta, hasta el minorista con la regulación de la tarifa de acceso o las fórmulas de gestión de la demanda en los diferentes sectores intensivos en consumo de energía (transporte, industria, comercio, servicios, edificación,...). Además, por la irrupción de ingentes volúmenes de datos que no se pueden tratar de manera convencional (el BigData) alrededor del sector energético y concretamente en el sector eléctrico, se debe garantizar la salvaguarda de las identidades de los usuarios, aspecto éste perfectamente enmarcado en el ámbito de la regulación y los mercados. Este hecho, será fuente de nuevos escenarios dentro del sector de la gestión de la información y las telecomunicaciones para la toma de decisión en materia energética, así como para la adquisición y tratamiento de los datos de los usuarios. Por esa razón, la irrupción de las tecnologías de la información y las comunicaciones en el sector energético, es determinante para establecer la madurez de los mercados y su regulación, para que de esa forma, poder evaluar el grado de exposición al que se encuentran los datos de los usuarios. Si bien es cierto que existen todavía muchos interrogantes en la manera que afectará la gestión de la información en el comportamiento de los mercados y los nuevos escenarios regulatorios, sin lugar a dudas será el sector eléctrico el que podrá beneficiarse de una gran dinamización con una buena gestión de las tecnologías existentes que puede llevar hacia un nuevo paradigma. Por tanto como indicador fundamental de agregación se define la **Intensidad Técnica** del sistema energético.

Como tercer gran ámbito dentro de la gobernanza para la sostenibilidad energética, la protección del medioambiente y el clima en todas sus facetas, agrega todas aquellas acciones que deben hacer sostenible nuestra biodiversidad: supervisando las consecuencias del cambio climático, potenciando la reducción de las emisiones y la contaminación, impulsando la descarbonización del mix, desarrollando las energías provenientes de fuentes renovables, definiendo nuevas políticas de reciclado de residuos, e implantando y desarrollando instrumentos de gestión ambiental como la Huella Ecológica. Por ello debe existir un indicador agregado para discernir las familias de indicadores, que en este caso se tendrá en cuenta por su diversificación y por su reconocimiento internacional: las **emisiones de CO<sub>2</sub>**.

Respecto al cuarto gran ámbito, la economía sostenible, recoge las acciones de impulso a la inversión, política territorial e hídrica (pertenecientes estos dos últimos a otros subsistemas del desarrollo sostenible, pero relacionados íntimamente con la sostenibilidad energética), políticas de eficiencia, fiscalidad, financiera y de mejora de la competitividad de las empresas que permitan un marco estable para promover inversiones sobretudo desde el sector privado. Pero exigen también esfuerzos en materia de desarrollo de productos y servicios que tenga en cuenta el ciclo de vida completo desde la concepción y el diseño hasta la desaparición, requiriendo de una cultura de la eficiencia a todos los niveles. Precisamente las empresas adquieren un papel preponderante en este ámbito y en particular implantando el concepto de Responsabilidad Social Corporativa, que además enfoca su metodología alrededor de las tres dimensiones del desarrollo sostenible. Para monitorizar este importante ámbito, el parámetro que determinará la desagregación es la **Intensidad Energética de la Economía**.

Respecto al quinto gran ámbito, el de la sociedad y el acceso en equidad a la energía, es el núcleo del desarrollo sostenible, ya que sin un acceso a la energía no puede existir progreso humano y mucho menos si se produce en condiciones de insostenibilidad. Es importante recordar que existen grandes contrastes en el mundo en relación con el acceso a la energía. El informe de los Objetivos para el Desarrollo del Milenio (UN - Millenium Project, 2005) ya expresa claramente la vinculación entre el progreso de la sociedad y la energía, y no solo eso, sino que propone incluso necesidades de inversión para alcanzar los objetivos que se estiman en 15 USD per cápita y año de 2006-2015. Según el informe "Sustainable Energy for

All 2015 – Progress Toward Sustainable Energy” (International Energy Agency (IEA) and the World Bank, 2015) se incrementarán en los próximos años las necesidades de inversión mundiales cinco veces: desde 9 billones de USD en el año 2012 hasta 45 USD en 2030. Por último, destacar la iniciativa de Naciones Unidas sobre los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (UN - Sustainable Development Goals, 2016), entre el que se encuentra el de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Entre otros, como indicador principal sobre el que establecer la desagregación resultará muy acertado determinar el **Índice de Progreso Social** corregido, como representante de este ámbito.

## 2.2 Directrices para la toma de decisión de inversiones en tecnología para la sostenibilidad energética

Por último, la tecnología, será, al igual que la gobernanza, una fuerza transversal a todas las dimensiones y considerando lo indicado en el Capítulo 2 sobre tecnología apropiada, se debe configurar un mapa de tecnologías en el ámbito energético dependiendo fundamentalmente de la coyuntura de cada una de las naciones y distribución de su PIB. Recordaremos que este razonamiento se puede explicar aplicando la primera premisa del desarrollo sostenible: el paradigma de la sostenibilidad débil, que no plantea límites al desarrollo y crecimiento (ver Capítulo 2 punto 1.5 ) y en el que la tecnología juega un papel fundamental. Ese mapa de tecnología servirá para analizar y focalizar las inversiones hacia una transformación de los sistemas energéticos de las naciones y hacerlos más sostenibles.

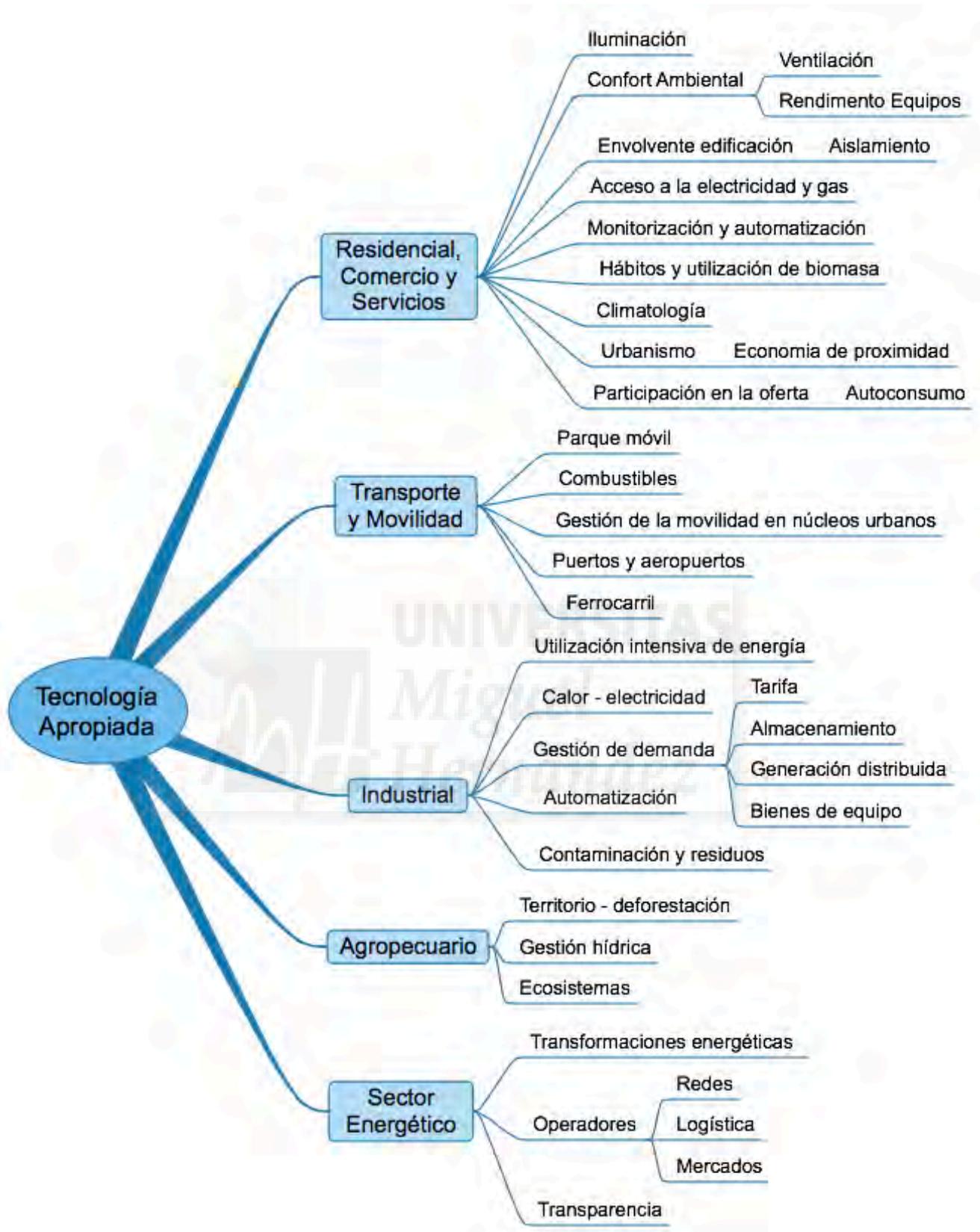


Figura 19. Estructura de Tecnología Apropriada para la sostenibilidad energética: Fuente: elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 19 el uso de la tecnología para la sostenibilidad energética se debe agrupar en cinco grandes ámbitos. No obstante, en función de la estructura del PIB, de los sectores productivos, así como la agregación según el sector donde se produce el consumo final de energía, es posible dar más peso específico a unas áreas que a otras, por ejemplo, atendiendo a la distribución del PIB de los países de la zona Euro, en la que el peso específico de los servicios es con diferencia más notable junto a la industria, por tanto no es preocupante descartar el sector agropecuario en algunas zonas del análisis, como se verá más adelante.

Comenzando por la parte más baja del diagrama representado en la Figura 19, nos encontramos con el sector energético, principal motor sin el cual, cualquier país desarrollado carecería de actividad. El mecanismo de revisión quinquenal elaborado en el Acuerdo de París, es necesario implementarlo para aumentar las ambiciones de los países en sus compromisos climáticos. El foco de la reducción de emisiones se polariza sobre el sector eléctrico, a través de las energías renovables, la energía nuclear y la de captura de CO<sub>2</sub> (aunque el despliegue masivo presenta de esta última tecnología plantea serias dudas), una mayor electrificación y la mejora de la eficiencia energética en los sectores finales industriales, así como un impulso a la investigación y desarrollo de tecnologías limpias por parte de los gobiernos y las empresas (OECD/IEA, 2016). Es importante destacar desde la perspectiva de la oferta (que es el sentido representado en esa parte del diagrama), que mediante las oportunidades de inversión a través de los operadores logísticos, operadores de la red y de la regulación de los diferentes mercados, es posible mejorar la eficiencia del sistema energético. Pero además, desde la administración se deberá influir sobre la decisión de implantación de las tecnologías de transformación de energía más adecuadas, en este ámbito toma un papel protagonista de nuevo el sector eléctrico en particular, por su influencia en el resto de sectores, su crecimiento previsto, y por las oportunidades de implantación de tecnologías de generación de naturaleza renovable (fotovoltaica, térmica, eólica, maremotriz, geotérmica, hidráulica,...) en sustitución de las dependientes de los combustibles fósiles o incluso la nuclear. Por último, es necesario realizar un esfuerzo en las actuaciones respecto a la transparencia del sector energético en general y en el eléctrico en particular: el inventario de infraestructuras y redes del sistema eléctrico con el fin de identificar una retribución que garantice su sostenibilidad y que no penalice el déficit de tarifa, en la que algunos países de la UE ya han comenzado.

El resto del diagrama representado, se refiere a tecnologías e inversiones relacionadas desde el punto de vista de la demanda, por ese motivo se estudiarán seguidamente. En lo que respecta al sector residencial y de los servicios, es crucial conocer y actuar el parque edificatorio, con medidas sostenibles de eficiencia, tanto en sistemas pasivos como la envolvente, como en sistemas activos: sistemas de iluminación y confort ambiental, eficiencia de los equipos transformadores de energía (climatización, calefacción, ...), condiciones de acceso a la electricidad y el gas (y oportunidades en éste último combustible), así como al despliegue de los sistemas inteligentes de supervisión y monitorización de edificios. Todo ello produce una serie de oportunidades de inversión y empleo en materia de rehabilitación energética de edificios que es necesario conducir y enfocar. Si bien es cierto que la climatología es una variable no controlable que influye de una forma destacada sobre el sistema energético, se ha de tener en cuenta para la definición de estrategias de inversión en según qué territorios: aquellos de temperaturas más extremas se deberá incidir en mayor medida en requisitos de envolventes más estrictas que en otras que no lo son, o aquellas latitudes con más horas de luz, definir requisitos mínimos de aprovechamiento energético que considere toda esa energía libre y gratuita hacia ámbitos térmicos y lumínicos del edificio, en el ámbito del sector hídrico, que aunque no se trata en el modelo, el aprovechamiento de la pluviometría, por escasa que sea, resulta de una evidente necesidad en algunas latitudes. Tener en cuenta aspectos más relacionados con el ámbito urbano y con los hábitos, usos y costumbres de los ciudadanos, se deben tener en cuenta para la organización de las ciudades utilizando el concepto de proximidad, que hace más eficientes a las personas y su organización. Esta última reflexión contrasta con el modelo urbano de construcción vertical, de uso intensivo de energía en agrupaciones edificatorias de elevada altitud, que lejos de parecer sostenible, obliga a construir grandes infraestructuras de energía para poder satisfacer las necesidades de los individuos. Por tanto en ese último modelo urbano referido, se despliegan grandes oportunidades para la generación distribuida, el autoconsumo energético y lo que es más importante: hacer partícipes a los usuarios desde la parte de la demanda.

Con respecto al modelo de transporte y movilidad, se debe tener en cuenta el parque móvil de vehículos, sus características y estructura de combustible, la caracterización de los desplazamientos que se realizan, y desde un punto de vista más local su correlación con el modelo de movilidad implantado en las regiones o áreas metropolitanas y áreas urbanas e

interurbanas, su ratio de utilización por la población y el grado de adecuación del vehículo eléctrico a las características poblacionales. Es decir, la decisión que se debe tomar en ámbitos más locales o comarcales sobre si será adecuado la oportunidad de inversión en una infraestructura de recarga para vehículo eléctrico en casco urbano si realmente no existe previsión de demanda del mismo en ciudades medianas (< de 1M de habitantes) o pequeñas, donde la gestión de la movilidad se encuentra correctamente dimensionada y soluciona las necesidades de movilidad de la ciudadanía, quizá haya que promover inversiones en vehículo eléctrico, o híbrido, o impulsado por hidrogeno o gas, y quizá exclusivamente en el ámbito del transporte público. La reflexión debe partir de que en 2015 el número de vehículos eléctricos en el mundo llegó a las 1,3 millones de unidades (casi el doble que el nivel registrado en 2014), siendo la previsión de 30 millones en 2025 y 150 millones en 2040. Además, se incrementó el número de modelos en el mercado y la barrera del precio sigue una tendencia bajista acercándose a los convencionales. Todo ello significará una reducción en la demanda de petróleo de unos 1,3 millones de barriles de aquí a 2040 (OECD/IEA, 2016). Respecto al transporte pesado por carretera, está prevista una regulación más estricta en la Unión Europea, ya que está regulado solo en EEUU, Canadá, Japón y China, lo que reducirá la demanda de combustibles fósiles para nuevos camiones en un 15% en la UE. Se prevé también hasta 2030 un crecimiento sostenido de su actividad, lo que justificará el que las próximas directivas en materia de emisiones en ese sector, apuesten más si cabe por la eficiencia, que permitirá que se acelere también durante estos años el desacoplamiento entre la actividad y el consumo de energía en sector del transporte pesado por carretera. Todo ello se debe acometer desde el análisis de los indicadores. La decisión a este respecto en el estamento superior, es decir, dentro del ámbito de competencias de gobiernos centrales, tal y como se iniciaba en este párrafo, quizá tenga otro sentido, por indicadores que provengan de otros sectores económicos, como por ejemplo el turístico. Con respecto a las grandes infraestructuras (puertos, aeropuertos y redes de ferrocarril, carreteras, autovías y vías rápidas) y debido a que las políticas de inversión que se llevan a cabo desde la Administración, no es habitual tomar medidas de eficiencia a gran escala en estas infraestructuras, ya que la amortización hace inviable una mejora de la eficiencia en el largo plazo, pero sí priorizar y racionalizar los recursos a pequeña escala (iluminación, climatización, etc...) para favorecer un numero de usuarios suficiente que justifique la inversión. No así decisiones en materia de liberalización de los

agentes que operan en el mercado, en la que queda por desarrollar por ejemplo el ferrocarril o la situación de las autovías de peaje con infrautilización.

Tanto en materia de industria como del sector agropecuario, un primer estamento de decisión es conocer si existe una utilización intensiva de la energía en esos sectores, así como las tecnologías de frío-calor-electricidad utilizadas. Está previsto que a nivel mundial se limite el crecimiento de la demanda de energía a 1/3 en 2040 (OECD/IEA, 2015) mientras que la economía crecerá un 150%. Para ese esfuerzo será clave impulsar medidas de eficiencia: la inversión en bienes de equipo puede mejorar la eficiencia de los procesos con gasto energético, estimado en un ahorro de 300 US\$/tep, muy por debajo del precio medio de la energía actual ponderado en 1300 US\$/tep. También los procesos se verán mejorados en eficiencia abordando la reutilización de materiales y en las mejoras de los rendimientos de los motores eléctricos, que representan más de la mitad del consumo eléctrico actual en muchos procesos: por ejemplo en ventiladores, compresores, vehículos, refrigerantes o bombas (OECD/IEA, 2016). Por otro lado, a un nivel más desagregado, que en muchos casos no será posible conocer a no ser a través de encuestas o inventarios llevados a cabo en un nivel más local, sería conocer el grado de automatización y control existente de los procesos y supervisión de los suministros de energía que permitan coordinar con políticas de empleo y a través de la tarifa más acorde con las necesidades de competitividad de los sectores productivos. Todo lo anterior nos lleva al sector eléctrico, impulsando inversiones en materia de gestión de demanda y dar participación a los usuarios en el mercado de energía mediante la generación distribuida o tecnologías de almacenamiento, así como el despliegue de tecnología de regulación de velocidad y la implementación de otras medidas de proceso como el mantenimiento predictivo. La irrupción de la generación distribuida producirá sin lugar a dudas nuevas oportunidades para los mercados energéticos, también las nuevas tecnologías de almacenamiento, así como la infraestructura de recarga del vehículo eléctrico, que junto a la telegestión generarán grandes volúmenes de información que si es gestionada adecuadamente, presentará grandes retos regulatorios a través de la tarifa y la gestión de la red. Para ello, una regulación excesiva puede limitar las mejoras en eficiencia del sistema que se puedan producir a través de la inversión. Por último, el nivel de control y regulación de la gestión de los residuos es crucial para control de las emisiones y la contaminación de la biosfera.



### 3 Indicadores para la sostenibilidad energética

#### 3.1 Introducción

Llegados a este punto, es necesario desarrollar un grupo de indicadores relativos al ámbito de la energía que se integre perfectamente en los árboles de decisión del punto anterior (Figura 18 y Figura 19), y que se enfoque hacia la disociación de los tres pilares del desarrollo sostenible (naturaleza, economía y sociedad), los cuales, adquieren una nueva definición en el ámbito de la sostenibilidad energética: demanda de energía, crecimiento económico y emisiones (Figura 20).



Figura 20. Los tres pilares de la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia

Partiendo del concepto de las tres dimensiones de la sostenibilidad energética (demanda de energía, crecimiento, emisiones), es necesario trasladar la disociación de las tres dimensiones del desarrollo sostenible estudiadas en el Capítulo 2 al subsistema de la sostenibilidad energética. Por tanto será fuente de insostenibilidad la afirmación de que el crecimiento económico implica un mayor consumo de energía, y un aumento en las actividades contaminantes de la acción humana. Por tanto, para que exista sostenibilidad energética, es necesario crear una disociación entre esos tres pilares, o al menos, entre el crecimiento y la demanda de energía, lo que viene a denominarse como desmaterialización<sup>17</sup>, ya que al reducir el consumo de energía aumentando el crecimiento, debe acompañar la reducción del volumen de residuos y emisiones generadas.

Existen indicadores independientes del comportamiento energético de sistemas como el de la Intensidad Energética de la Economía (Economics for Energy, 2010), o el Energy Return on Energy Invested (Deng & Tynan, 2011) o (Henshaw, King, & Zarnikau, 2011), o incluso indicadores más sectoriales como los referidos a la pobreza social y sus implicaciones energéticas (Nussbaumer, Nerini, Onyeji, & Howells, 2013) que ofrecen información para evaluar el comportamiento energético de un sistema. Pero una variable interpretada de manera aislada pueden inducir a error, por ejemplo, respecto a la Intensidad Energética de la Economía, países como Nigeria, Kazakstán o Zambia tienen los índices más elevados del mundo (Banco Mundial, 2017), pero en otros ámbitos (derechos humanos, empleo, desarrollo tecnológico, estado del bienestar) se encuentran muy por detrás de otros países desarrollados con índices de intensidad energética mucho menores. También es importante observar los indicadores en términos relativos: consumo energético per cápita, intensidad energética de la economía, PIB per cápita, etc..., que resultarán muy adecuados para realizar comparaciones entre naciones, pero sin perder la perspectiva de los valores absolutos, ya que en definitiva, la reducción del consumo de energía y por tanto la eficiencia energética, es un objetivo común para alcanzar la sostenibilidad energética y en definitiva, el desarrollo sostenible.

---

<sup>17</sup> Las teorías sobre la desmaterialización (Jänicke, 1989), (Panayotou, 1993), (Bernardini, 1993), (Galli, 1998), (Judson, 1999), (Medlock, 2001) argumentan en base a la Curva Medioambiental de Kuznets (CKA) que a partir de un determinado nivel de renta per cápita, el crecimiento no implica un mayor consumo de energía. La variable de los precios de la energía para otros autores (Richmond A.K. & Kauffmann, 2006), desmonta dicha teoría.

Las tres características destacables a tener en cuenta para la determinación de las variables que permitan determinar índices son las siguientes: en primer lugar, se debe definir una periodicidad amplia, que permita disponer de una observación acorde con la naturaleza de la variable. En segundo lugar, disponer de información actualizada, fiable y homogénea que permita comparación entre diferentes países mediante la obtención de datos con una misma metodología. En tercer lugar, los datos deben tener un nivel de desagregación suficiente que permita observar patrones de comportamiento o pautas en las series que los componen. Como se verá más adelante, estos requisitos serán cruciales para agrupar por familias y monitorizar los indicadores más adecuados para monitorizar políticas energéticas.

La determinación de las variables pasa primero por cuestionar su idoneidad (Martinez A. V., 2016) a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todas las variables serán las más idóneas para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones teniendo en cuenta el concepto de sostenibilidad local (Naredo, 1996). Por ejemplo, una región como Europa Occidental, en la que existe una gran dependencia energética del exterior y una contribución del sector eléctrico muy relevante en la energía final disponible, será necesario evaluar variables que nada tendrán que ver a las necesarias para la región centroafricana, cuya dependencia eléctrica es muy inferior. Somalia, país en el que la agricultura representa un 60,2% (Central Intelligence Agency, 2015) de su PIB tiene una coyuntura energética completamente diferente a Reino Unido cuya agricultura representa alrededor de un 1% (EUROSTAT - European Commission, 2016) del PIB. Por tanto, ya no debemos hablar tanto de variables de sostenibilidad energética, sino de familias de variables de sostenibilidad que serán adecuadas a diferentes coyunturas de los países.

Tal y como se explican en el Capítulo 2, de los diferentes modelos existentes, solo algunos de ellos proponen variables discriminatorias para poder realizar análisis y desagregación posterior, entre las que se encuentran las siguientes: población, PIB (US\$), PIB per cápita, contribución de sectores productivos en PIB, contribución del sector industrial en el PIB (% del PIB), actividad del transporte de mercancías, distancia recorrida per cápita, superficie de vivienda per cápita, valor añadido bruto del sector manufacturas, producción total de energía primaria/consumo total de energía primaria, capacidad de acceso de la población a

la electricidad (%), energía asequible (US\$/kWh), capacidad de acceso de la población al agua (%), nivel de desigualdad en salarios, intensidad energética de la economía (ktep/US\$), intensidad de emisiones (kCO<sub>2</sub>/US\$) y emisiones CO<sub>2</sub> per cápita. En este trabajo, atendiendo a los cinco grandes ámbitos de decisión estudiadas en el apartado anterior (Figura 18), se propone en los siguientes puntos, un modelo de variables para monitorizar el cumplimiento de la sostenibilidad energética, no obstante se exponen seguidamente las directrices para determinar el alcance de los países de estudio.

La reconciliación de los objetivos económicos, energéticos y medioambientales de los países debe establecerse en el marco de acuerdos internacionales sobre cambio climático (Naciones Unidas fundamentalmente, promoviendo la cumbre de Río de Janeiro en 1992, el Protocolo de Kioto en 1997, cumbre de Johannesburgo en 2002, Nairobi en 2006, Bali en 2007, Lima en 2014, el Convenio de Estocolmo, París 2015, entre otros), en el que se establezcan garantías, por ejemplo, de tomar medidas para reducir el calentamiento global por los efectos de los gases efecto invernadero, o de que las industrias con grandes consumos energéticos de aquellos países que luchan de una manera decidida por limitar las emisiones, no se encuentren con una competencia exacerbada por parte de los países que no actúan de manera sostenible. En esta misma línea, considerar también la importancia de la existencia de acuerdos internacionales en los que se garanticen los derechos humanos (Oficina del alto comisionado de las Naciones Unidas para los derechos humanos, 2006), y evitar también así desequilibrios sociales, adquiere, por tanto una dimensión también transversal al triángulo crecimiento económico-demanda de energía-sostenibilidad medioambiental. Es difícil, por tanto, establecer simetrías intercontinentales en aspectos socioeconómicos y energéticos, dados los grandes desequilibrios en estos dos últimos marcos mencionados, sin entrar a valorar otras coyunturas como el estado de las infraestructuras, capacidad tecnológica o nivel de estudios y educación de sus ciudadanos.

Concluyendo, ante la existencia además de aspectos geopolíticos muy diferenciados en otros continentes, como la existencia de muy diferentes grados de compromisos medioambientales o el diferente nivel de protección de los derechos humanos, se establecerá la Unión Europea como continente de referencia para el análisis. Además, en este trabajo descartaremos también la variable de la composición de los diferentes sectores productivos analizando aquellos países con una similar renta per cápita, y con un peso

específico similar de sus sectores económicos: el sector terciario o de servicios, el industrial y el de la agricultura y ganadería (Figura 21). Además, de esa manera, resultarán de más equidad desde el punto de vista energético otras variables intrínsecas a esa estructura como pueden ser: unas similares características de cobertura sanitaria, educacional y de servicios sociales, un similar nivel de infraestructuras y comunicaciones, y una similar coyuntura en materia de defensa y derechos humanos.

### 3.2 Determinación de los países a analizar

Las economías basadas en sectores productivos relacionados con la industria (contribución del sector Industrial en el PIB) serán mucho más intensivas en gasto energético que otras basadas en la agricultura, por tanto la comparación entre países con similares distribuciones de PIB por sectores será un criterio muy importante de agrupación de los países a analizar. Como se puede evidenciar, los países en estudio tienen una distribución muy similar de PIB, tal y como muestra la Figura 21.

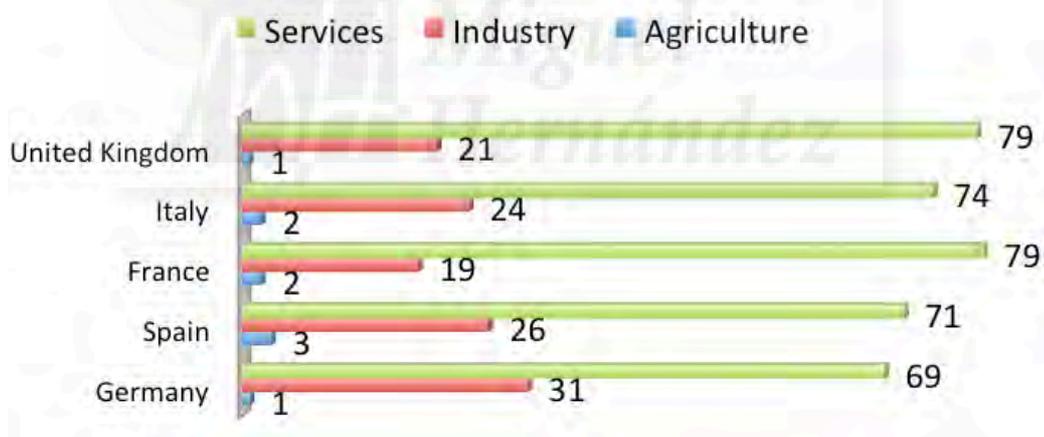


Figura 21. Contribución en PIB de sectores productivos en 2012 (%) Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016), (Central Intelligence Agency, 2015) and (IMF International Monetary Fund, 2016). Elaboración Propia

Extrapolando entonces la situación en sectores específicos, el primer análisis comparativo de indicadores se debe centrar en la forma en que la energía se consume en el sector industrial y de servicios, y cómo contribuye al PIB del país. La totalidad del consumo final de energía en el sector industrial, por ejemplo, se reparte prácticamente a partes iguales entre el gas y la electricidad (EUROSTAT - European Commission, 2016). Por tanto serán especialmente sensible las políticas, estrategias y por supuesto la regulación que se definan para esos mercados.

Como se puede observar en la Figura 22, la participación del sector industrial en el Valor Añadido Bruto<sup>18</sup> de los países en análisis (excluido manufacturas y construcción), se pueden agrupar en dos familias: por un lado, entre el 10-20% de la contribución se encuentran todos los países en estudio, excepto Alemania, que aparece en la banda de casi el 24% del PIB. Este hecho descarta inicialmente a este último país de la comparativa sin aplicar ratios de disminuyan esas diferencias, ya que podría generar distorsiones en la búsqueda de patrones de comportamiento entre los otros cuatro.

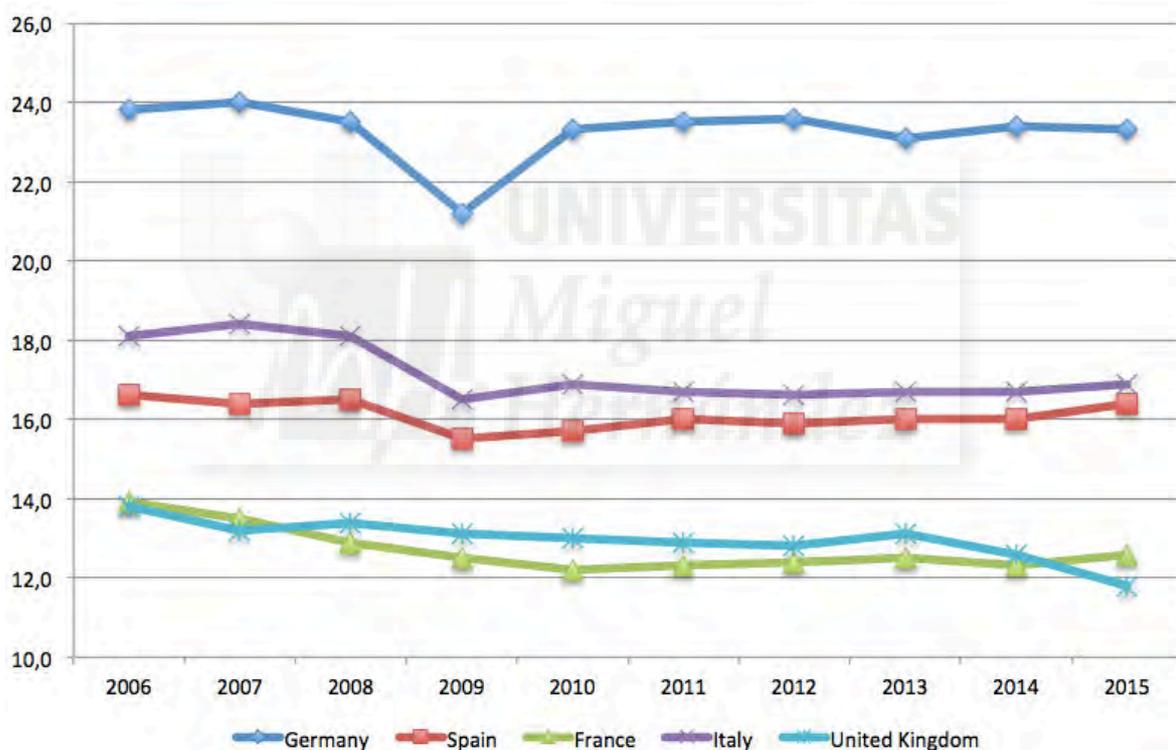


Figura 22. Participación del Sector Industrial en el Valor Añadido Bruto. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

<sup>18</sup> Valor Añadido Bruto o Valor Agregado Bruto, es una magnitud macroeconómica que mide la diferencia entre el valor de la producción y los gastos de explotación, incluyendo las subvenciones y excluyendo los impuestos e inversiones (no las amortizaciones que son consideradas como un gasto contable). Es, en definitiva, el concentrador del Valor Añadido Bruto de cada una de las empresas de un determinado país.

Por otro lado, desde el punto de vista de las infraestructuras, es reseñable que economías con una estructura similar del sector del transporte (evaluando indicadores de la actividad del transporte de mercancías o la distancia recorrida per cápita, o incluso emisiones CO<sub>2</sub> de dicho sector) facilitará también una homogeneización en la comparativa de precios y consumos energéticos. Se tendrá en cuenta también la perspectiva de coyuntura territorial: el grado de autoabastecimiento de energía, así como la distribución de la población (superficie de vivienda per cápita, sector residencial y terciario), permitirán establecer también similitudes que facilitarán la comparativa de variables y obtener patrones de comportamiento.

La población (Figura 23) y la renta per cápita (Figura 24), serán importantes indicadores para la agrupación por familias de los países a evaluar. En el caso que nos ocupa son similares los aspectos relacionados con el acceso a la electricidad, al agua, y respecto a la superficie de vivienda per cápita, pero en el aspecto de la renta per cápita, existen algunas diferencias, lo que nos llevaría a una posible diferenciación en dos grupos en varias ocasiones: por un lado a España e Italia y por otro a Francia, Alemania y UK. No obstante, se establecerán diferentes umbrales que determinarán el grado de compromiso de los países. Igualmente ocurriría con respecto a la población, que descartaría en el análisis conjunto a Alemania y España. No obstante, como se verá más adelante, al establecer ratios de variables energéticas y de competitividad y productividad específicas per cápita, que hará posible agrupar los países que inicialmente no hubiera podido establecerse dicha agregación.

Este trabajo también contiene un detalle del balance energético de las diferentes energías primarias en los países analizados: petróleo, carbón, gas, renovables así como un acercamiento al sector eléctrico y la distribución de los consumos finales por sectores productivos. Todo ello se correlacionará con las diferentes configuraciones territoriales, demográficas y geopolíticas de los cinco países de la UE analizados.

Por tanto, los países comparables serán aquellos que tengan sus parámetros de coyuntura enmarcados en agrupaciones en función de los indicadores anteriores. El rango de países definidos para el estudio y en base a esos parámetros son: Alemania, Francia, Italia, Reino Unido y España.

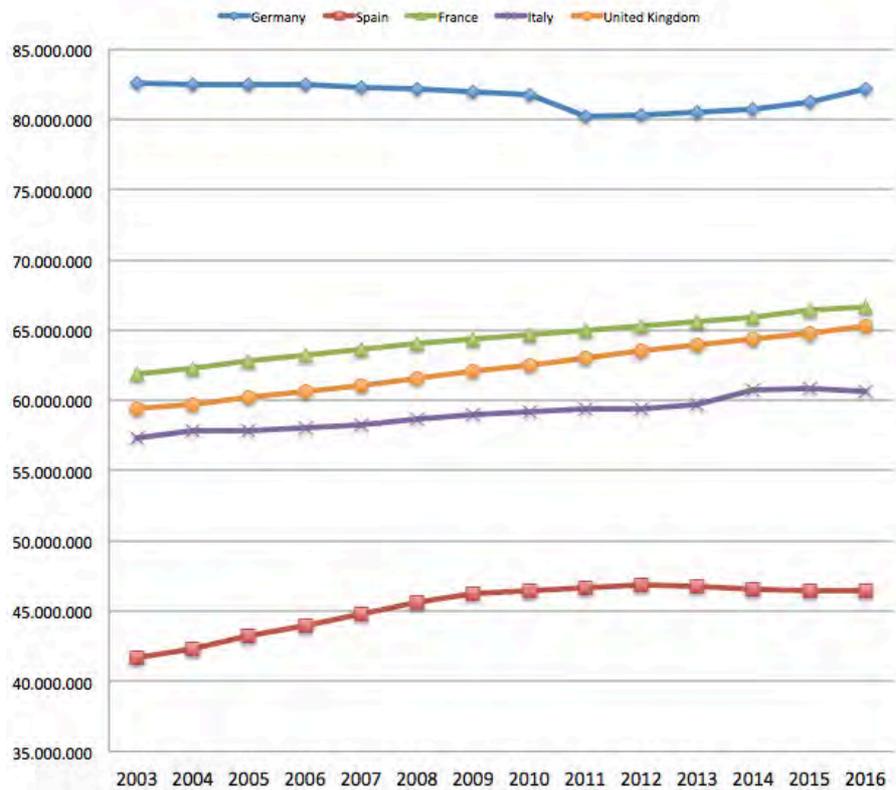


Figura 23. Población. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

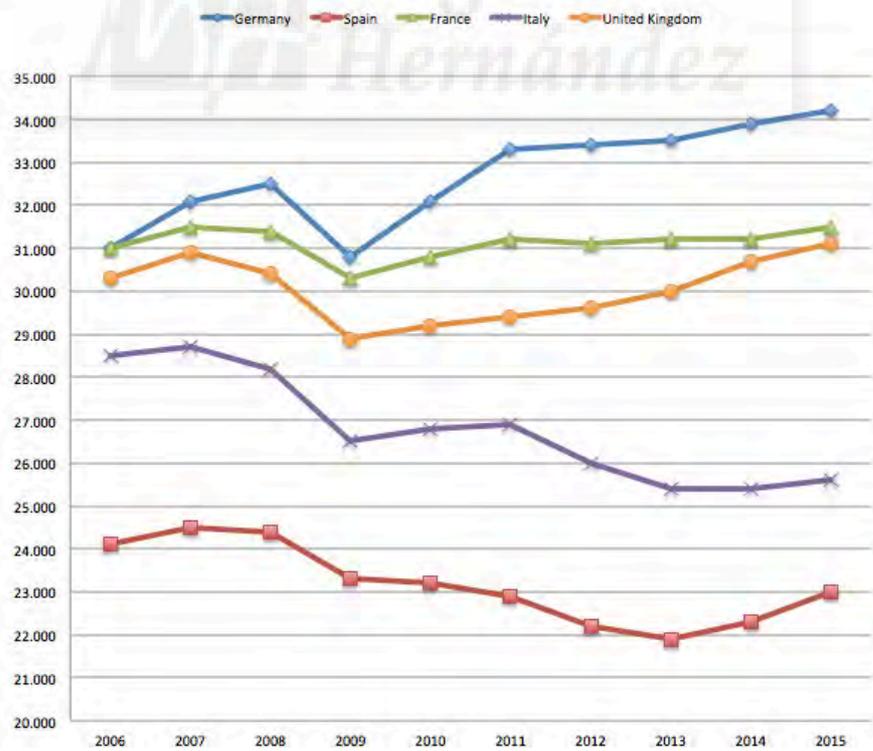


Figura 24. Renta per cápita a precios nominales del PIB (ref 2010) en Euros. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

### 3.3 Indicadores de crecimiento económico y productividad

Como se ha visto con anterioridad, la demanda de energía y por tanto el consumo energético está íntimamente relacionado con el crecimiento de la economía del país. Como indicador fundamental del crecimiento económico toma un papel protagonista considerar el Producto Interior Bruto (PIB<sup>19</sup>) como indicador de la coyuntura económica de las naciones. El PIB es la variable que cuantifica la producción anual de bienes y servicios de un determinado país, además contiene un sentido geográfico al recopilar también la actividad que generan empresas de capital extranjero y que se producen en ese territorio (O'Kean, 1994). Si se quisiera extraer esa variable, se tendría que hablar de Producto Nacional Bruto, lo que desagregaría la actividad de aquellas empresas, y distorsionaría en gran medida la correlación con la demanda de energía y las emisiones, que se producen en el territorio.

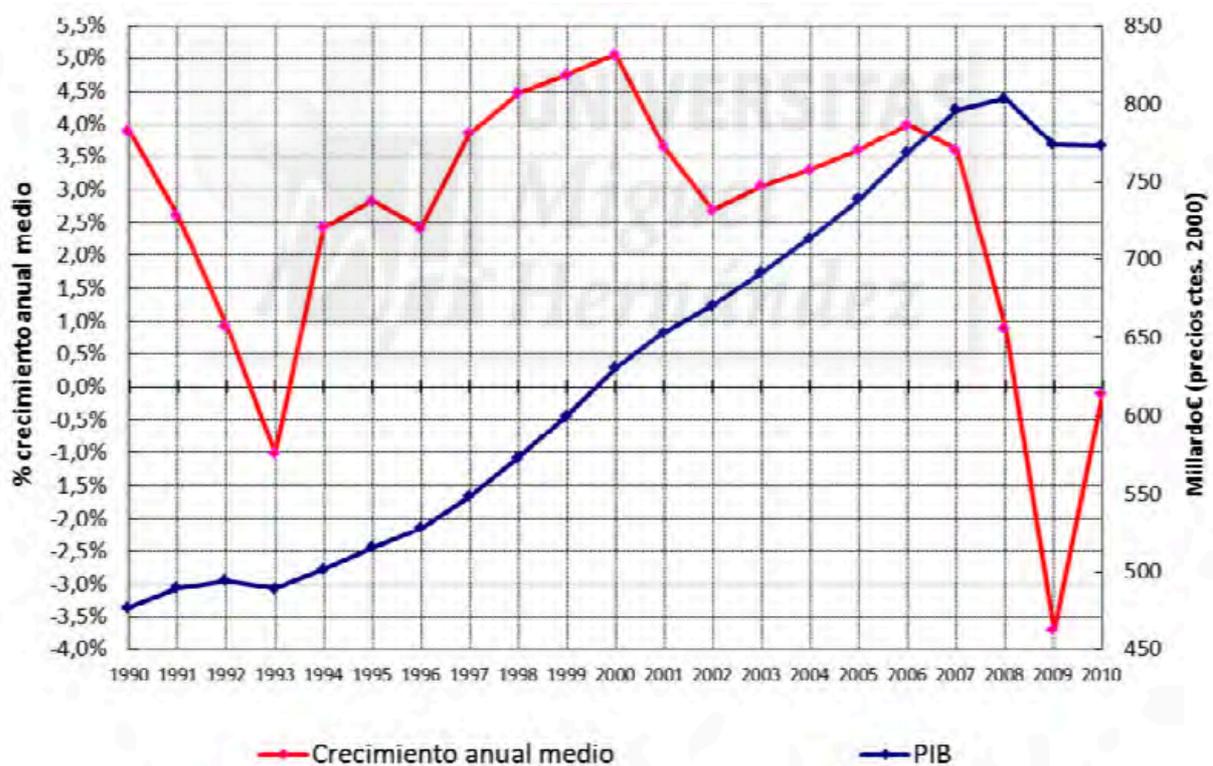


Figura 25. Evolución del PIB en España. Fuente: (Secretaría de Estado de Energía - Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Gobierno de España, 2011)

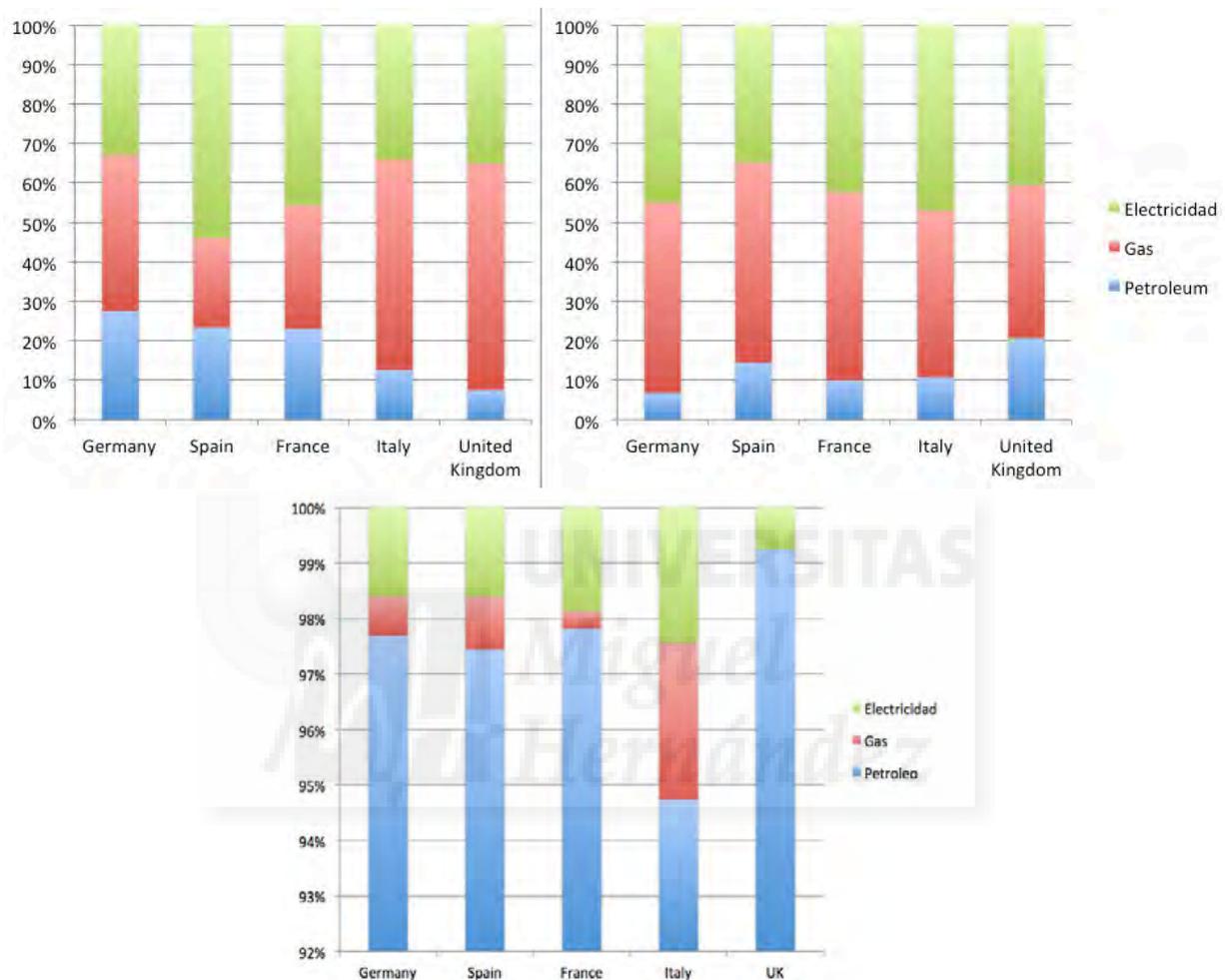
<sup>19</sup> El PIB a precios de mercado, que es el equivalente al Gasto de una economía nacional, se compone de: el consumo (C), la inversión (I), el gasto público (G), y el saldo exterior neto (exportaciones menos importaciones X-M)

Considerando a España como ejemplo ilustrativo tal y como se muestra en la Figura 25, durante los años 1990 a 2008 el PIB en España experimentó un crecimiento sostenido a razón de una media del 2,9% anual. Es importante destacar que durante ese periodo, concretamente durante los años 1993-2007 se establecieron unas cotas máximas de crecimiento con un 3,5% de media.

Por tanto, el PIB, que representa los niveles de crecimiento de un país, considerado de forma independiente, nos proporciona información sobre la situación de su economía. Pero ésta se encuentra fuertemente condicionada con la naturaleza de sus sectores productivos, por tanto podemos esperar que la diferente contribución de dichos sectores puede influir de forma notable en el crecimiento y la competitividad de las economías de unos países u otros, entre otros factores. La división desde el punto de vista económico, distingue tres grandes sectores productivos: agricultura y pesca (sector primario), industria y construcción (sector secundario) y comercio y servicios (sector terciario). Indicar que este último sector, como se podrá evidenciar más adelante, incluirá el ámbito residencial, a los efectos de tener en consideración el consumo energético de los hogares, y como valor añadido se entenderá orientado hacia la variable del Progreso Social. Dado el peso del sector servicios y el de la industria en los sectores productivos, y analizando la sostenibilidad energética de los países, los indicadores energéticos representarán fundamentalmente a dichos sectores, y de esa forma encontrar patrones de comportamiento en relación con otras variables.

Como se ha indicado antes, desde el punto de vista del consumo de energía, es muy necesario no perder de vista el sector Servicios (incluyendo el ámbito doméstico y residencial). Alrededor de ese sector, los países analizados participan con carácter general de energía eléctrica y gas y, en menor medida, derivados del petróleo. En total, el consumo final de Gas y Electricidad en el sector residencial y de servicios contempla entre el 70 y el 90% del total de energía y particularmente en Alemania, España y Francia la utilización de derivados del petróleo en ese sector se mueve en la franja entre 20-30% (Figura 26) alejadas de Italia y Reino Unido. El caso de UK resulta interesante porque el consumo de Gas en el sector servicios resulta casi el doble que el de electricidad, al igual que en Italia. En cambio en España resulta ser de menos de la mitad respecto al de electricidad en ese sector. Este aspecto, como se expondrá más adelante, significa que existen en España

oportunidades de desarrollo del sector gasista. Más adelante se analizará con mayor profundidad las contribuciones en los sectores productivos de las diferentes fuentes y su relación con los precios y por tanto la competitividad de los países (Capítulo 4 Sector eléctrico en la UE: hacia la eficiencia de las economías y la competitividad).



**Figura 26. Distribución de las distintas fuentes de energía en el Consumo Final de Energía en el sector Servicios y residencial (arriba-izquierda), del sector Industrial (arriba-derecha) y del sector transporte (abajo) (%) 2014.**  
Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

La productividad del trabajo adquiere numerosas definiciones y significados según la disciplina que se trate, y que no es materia de estudio en esta tesis, pero que en definitiva relaciona los outputs de cualquier proceso con los recursos necesarios para obtenerlos, o desde un punto de vista más economicista: el valor añadido real obtenido (producción de bienes o servicios, menos energía y materias primas) en relación al coste total del factor trabajo necesario para producir esos bienes o servicios (O'Kean, 1994). Por tanto, para elevar la productividad de cualquier proceso, se requiere: o bien aumentar el valor añadido de los productos o servicios, o bien disminuir los recursos necesarios para producirlos. De

ahí se desprende el concepto de Valor Añadido Bruto, magnitud que se refiere precisamente al valor añadido aportado por un producto o servicio en un ámbito determinado, como por ejemplo: en un determinado sector productivo. Por tanto, dos de las variables que deben analizarse para obtener ratios de productividad y eficiencia en los diferentes sectores productivos se definen a continuación. Por un lado el ratio que se obtiene como Valor Añadido Bruto per cápita en el sector “j”, que sería el indicador correspondiente a la productividad de un determinado sector económico:

$$VAB_C^j = \frac{VAB^j}{N^{\circ} \text{ Habitantes}}$$

**Ecuación 1. Expresión matemática del Valor Añadido Bruto per cápita**

donde:

$VAB_C^j$ , Valor Añadido Bruto per cápita (€/habitante)

$VAB^j$ , Valor Añadido Bruto (€)

Por otro lado, se define el indicador de eficiencia en un determinado sector “j” como la relación entre el Consumo Final de Energía en ese sector y el Valor Añadido Bruto que produce en un determinado periodo de tiempo. Esta variable se denominará Eficiencia Técnica del sector:

$$ET^j = \frac{\text{Consumo Final de Energía (tep)}}{VAB^j}$$

**Ecuación 2. Expresión matemática de la Eficiencia Técnica de un determinado sector económico (tep/€)**

donde:

$ET^j$ , Eficiencia Técnica del consumo final de energía en el sector j (tep/€)

$VAB^j$ , Valor Añadido Bruto (€)

La Figura 27 representa por un lado el Valor añadido Bruto del sector servicios per cápita, y por otro lado, mediante la eficiencia técnica del consumo final de energía (gas + electricidad + derivados de petróleo), se obtiene la eficiencia en la energía utilizada en un determinado sector económico (recursos energéticos). España e Italia en este caso adquieren un lugar destacado de eficiencia (con las mayores contribuciones de electricidad y gas respectivamente) pero con una baja productividad. En cambio, Reino Unido y Francia tienen una tendencia hacia la alta eficiencia energética con alta productividad del sector. Por último Alemania, se sitúa en un incómodo cuadrante que, con elevada productividad, no goza de eficiencia técnica en el sector. En cambio en España, aunque goza de la mayor eficiencia en ese sector con la mayor contribución de todos en el consumo de electricidad (algo más del 50% - Figura 26), como se verá más adelante, será la competitividad (a través de la productividad) la variable mejorable en términos de transición energética abandonando los derivados del petróleo y aumentando el consumo de gas.

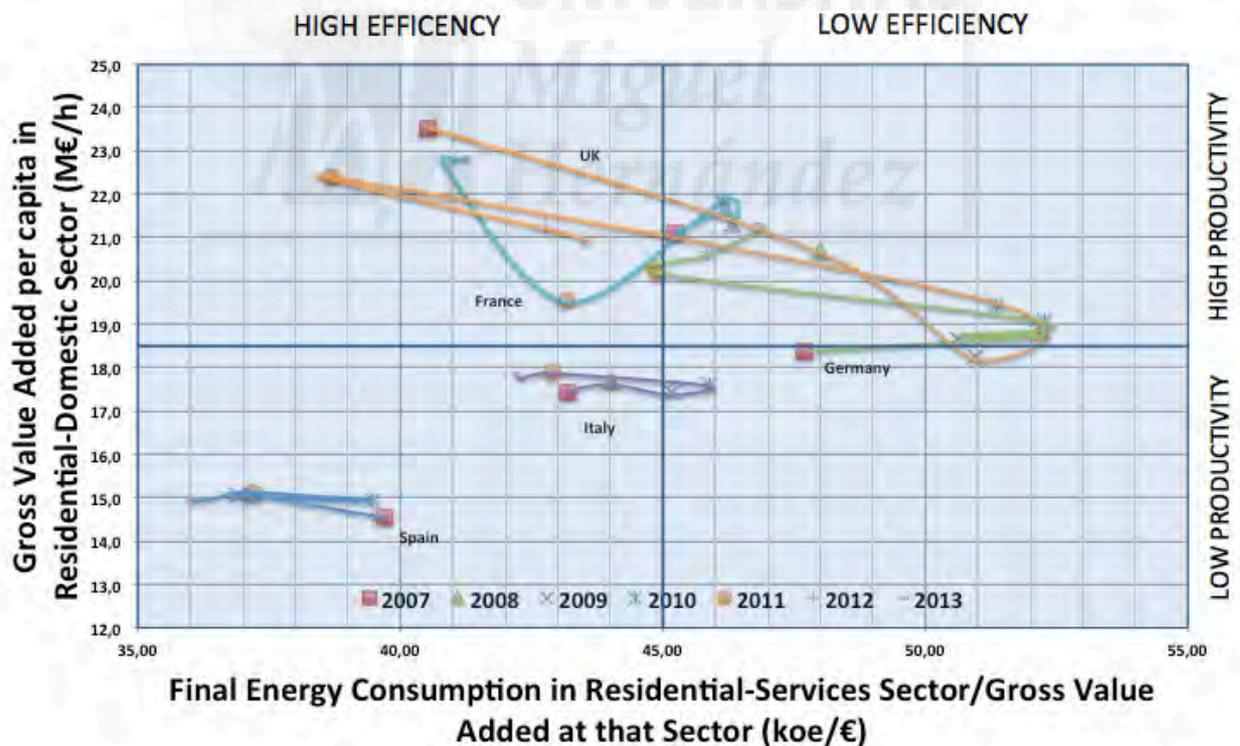


Figura 27. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Eficiencia Técnica (koe/€) en el Sector Servicios y residencial. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Observando el sector Industrial, el Consumo Final de Energía se polariza alrededor del consumo de electricidad y gas (80-90%) y en mucha menor medida, en productos derivados del petróleo. Para analizar productividad y eficiencia conjuntamente, se representa en la Figura 28 el Valor Añadido Bruto que aporta el sector Industrial (incluyendo manufactura y construcción) per cápita, correlacionado con la Eficiencia Técnica (ET) del sector. Como se puede observar, la situación de España se sitúa en el extremo de la baja eficiencia sin una evolución clara hacia la mejora, pero Francia no tiene un mejor aspecto, ya que encontrándose en el mismo cuadrante, aunque algo mejor situado, no prospera su situación. En cambio Italia, aunque también en baja productividad y eficiencia, mejora significativamente aunque sólo hacia la eficiencia energética. Alemania se sitúa en la mejor de las situaciones con una alta productividad de su sector industrial y también con una alta eficiencia y evolucionando a mejor. Por último, Reino Unido siempre en el cuadrante de alta productividad se mueve en 2012 y 2013 al cuadrante también de la alta eficiencia, no siendo así en años anteriores.

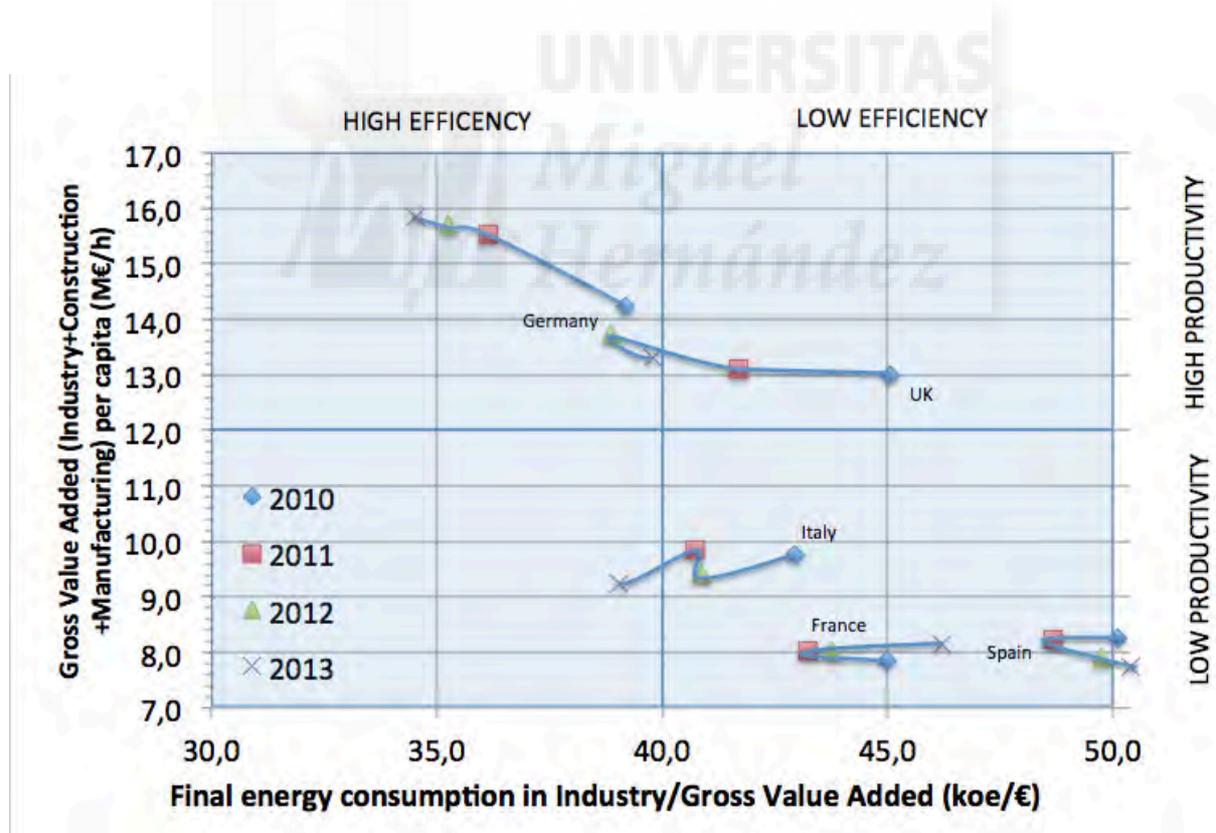


Figura 28. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Eficiencia Técnica (koe/€) en el Sector Industrial. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por último, analizando el sector transporte, que polariza la mayor parte del consumo final de energía proveniente del petróleo en los países estudiados (Figura 26 abajo entre el 95-98%) a la vez que penaliza el autoabastecimiento de la mayor parte de los países de la UE, se puede observar que reduce significativamente la productividad general del sector, pasando de umbrales situados en 17 o 12 Miles de €/h del sector servicios e industrial respectivamente, a tan solo un 1,25 Miles de €/h en el sector transporte y almacenamiento (EUROSTAT - European Commission, 2016). Como se puede observar en la Figura 29, la mayor parte de los países se sitúa en el cuadrante de alta productividad y eficiencia, excepto España que evoluciona favorablemente en la eficiencia, pero arrastra muy baja productividad. Reino Unido se caracteriza por la mayor evolución positiva en eficiencia y productividad de todos los países en los últimos seis años. Por último Italia se sitúa en el cuadrante de alta eficiencia y productividad, previsiblemente porque presenta la mayor diversificación de fuentes en el sector transporte, lo que favorecerá, como se verá más adelante, un buen valor de Intensidad Técnica del sistema energético (Figura 51).

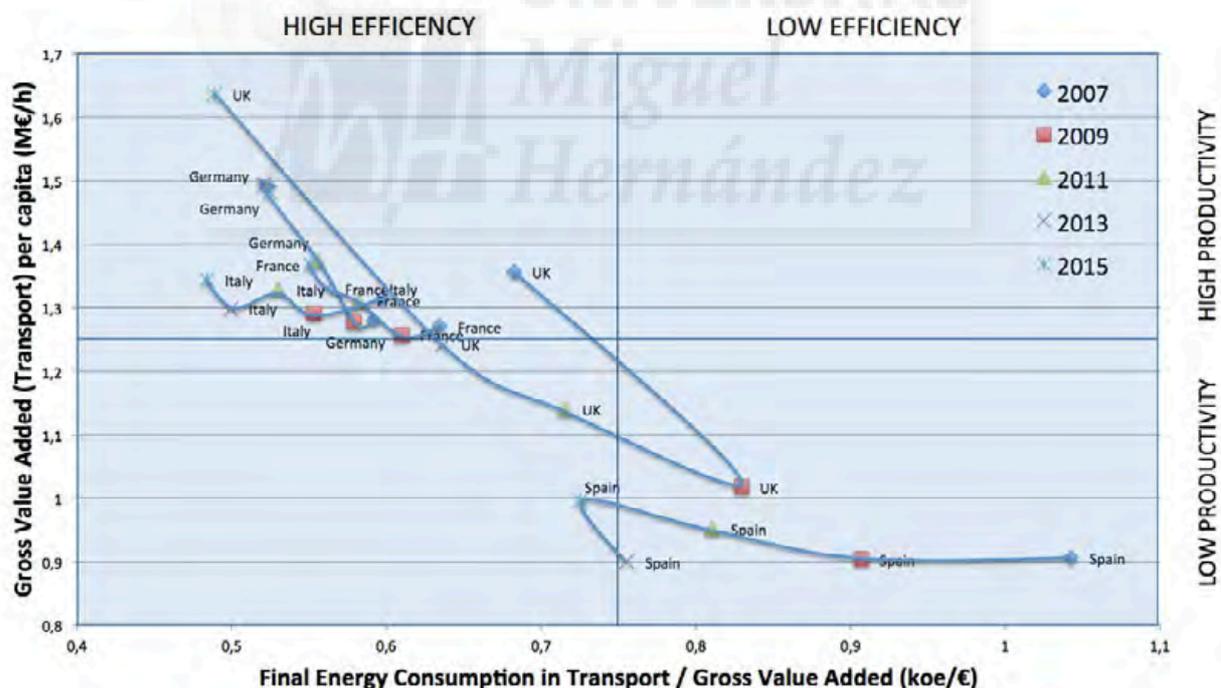


Figura 29. Comparación entre el Valor Añadido Bruto per cápita (Miles de €/habitante) y la Intensidad Técnica (koe/€) en el Sector Transporte. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Pero ¿cómo se puede obtener un indicador que permita tener una idea del gasto energético de un país y su relación con la generación de valor? En otras palabras, ¿se podría obtener un indicador fiable que permitiera evaluar el grado de eficiencia del país? En un entorno competitivo se han de manejar indicadores de eficiencia, no de crecimiento exclusivamente, por tanto el indicador a considerar es la Intensidad Energética en la Economía<sup>20</sup>. Este ratio mide la energía consumida en un determinado estado por unidad monetaria del PIB, en definitiva, trata de representar la eficiencia en la economía del país (Figura 30). Pero no deja de tener importantes inconvenientes a la hora de establecer comparaciones, como se verá a continuación.

$$IEE = \frac{\text{Consumo de Energía Primaria (ktep)}}{\text{Producto Interior Bruto (€)}}$$

**Ecuación 3. Expresión matemática de la Intensidad Energética de la Economía (ktep/€)**

La consideración de la inflación en el análisis requiere de una reflexión: si el Producto Interior Bruto aglutina todas las demandas finales de bienes y servicios en un año que produce un país o una economía, y por tanto, si se establece en valores reales<sup>21</sup> (precios constantes) distorsionaría a priori la comparativa desde el punto de vista económico debido a la inflación (Figura 31 y Figura 32). Se ha podido evidenciar mediante un análisis de correlación que considerar valores nominales (precios corrientes o actuales), distorsiona la correlación, ya que los ratios utilizados (especialmente las correlaciones con precios de la energía y rentas), los reducidos periodos de observación y las escalas utilizadas, permite obtener una mayor precisión utilizando valores reales. No obstante, no se descarta que en periodos de análisis más amplios u otro tipo de economías, debido a que la inflación pudiese ser muy elevada, pudiera aumentar la variabilidad si no se tuviera en consideración.

<sup>20</sup> La Intensidad Energética de la Economía (en inglés "*Energy Intensity of Economy*"), relaciona el Consumo de Energía Primaria y el Producto Interior Bruto. Eurostat, define el consumo de energía primaria (Gross Inland Consumption) como el total de demanda de energía de un país o región y recopila el consumo del propio sector energético, las pérdidas de transformación y distribución y el consumo final de energía de los usuarios (no recopila la información de los depósitos marítimos internacionales).

<sup>21</sup> El Valor Real en una determinada anualidad sería igual al Valor Nominal menos la inflación de esa anualidad. Si un dato es real, estará excluido el aumento de precios con el tiempo, de ahí su denominación.



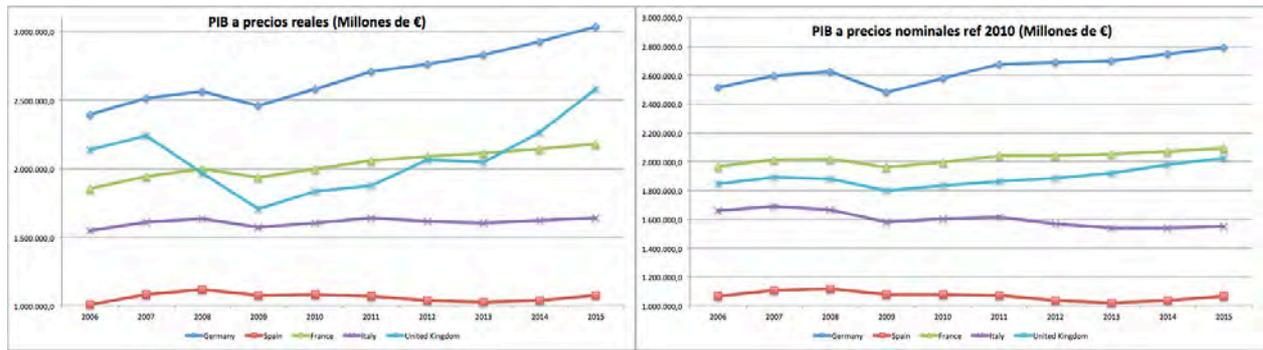


Figura 31. PIB a precios reales (izquierda) y precios nominales (ref 2010) (derecha) en Millones de Euros. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Analizando la distribución del PIB por sectores económicos y su influencia sobre el indicador de Intensidad Energética, cabe destacar que la Intensidad Energética puede alcanzar valores muy elevados (Figura 30), en países con una contribución del sector servicios importante respecto a economías con una gran dependencia del sector industrial, considerando un mismo estado de la tecnología. En el caso del análisis que nos ocupa, la distribución del PIB por sectores productivos de los países analizados resultan muy similares, como se muestra en la Figura 21. Por tanto, con carácter general, una baja contribución del sector industrial en el PIB presumirá de una economía energéticamente más eficiente que otros (reducido índice de Intensidad Energética) (Economics for Energy, 2010), a igualdad del estado de la tecnología (que podría llegar a ser fuente de eficiencia mediante políticas de inversión y de fomento de la investigación aplicada), ya que el consumo total de energía primaria de un país, como su propio nombre indica, recopila el consumo de toda forma de energía disponible en nuestro entorno antes de ser transformada, y si el sector característico de consumo intensivo de energía es el industrial, o el sector transporte por la fuerte dependencia de combustibles fósiles, cuanto menores sean el tamaño de esos sectores, mejor será el comportamiento de la Intensidad Energética de la Economía del país, ante un mismo nivel de desarrollo tecnológico. Esta evidencia será el principal inconveniente a la hora de realizar comparaciones entre países a través de su nivel de intensidad energética en la economía sobretodo entre países de coyunturas energéticas muy diferentes.

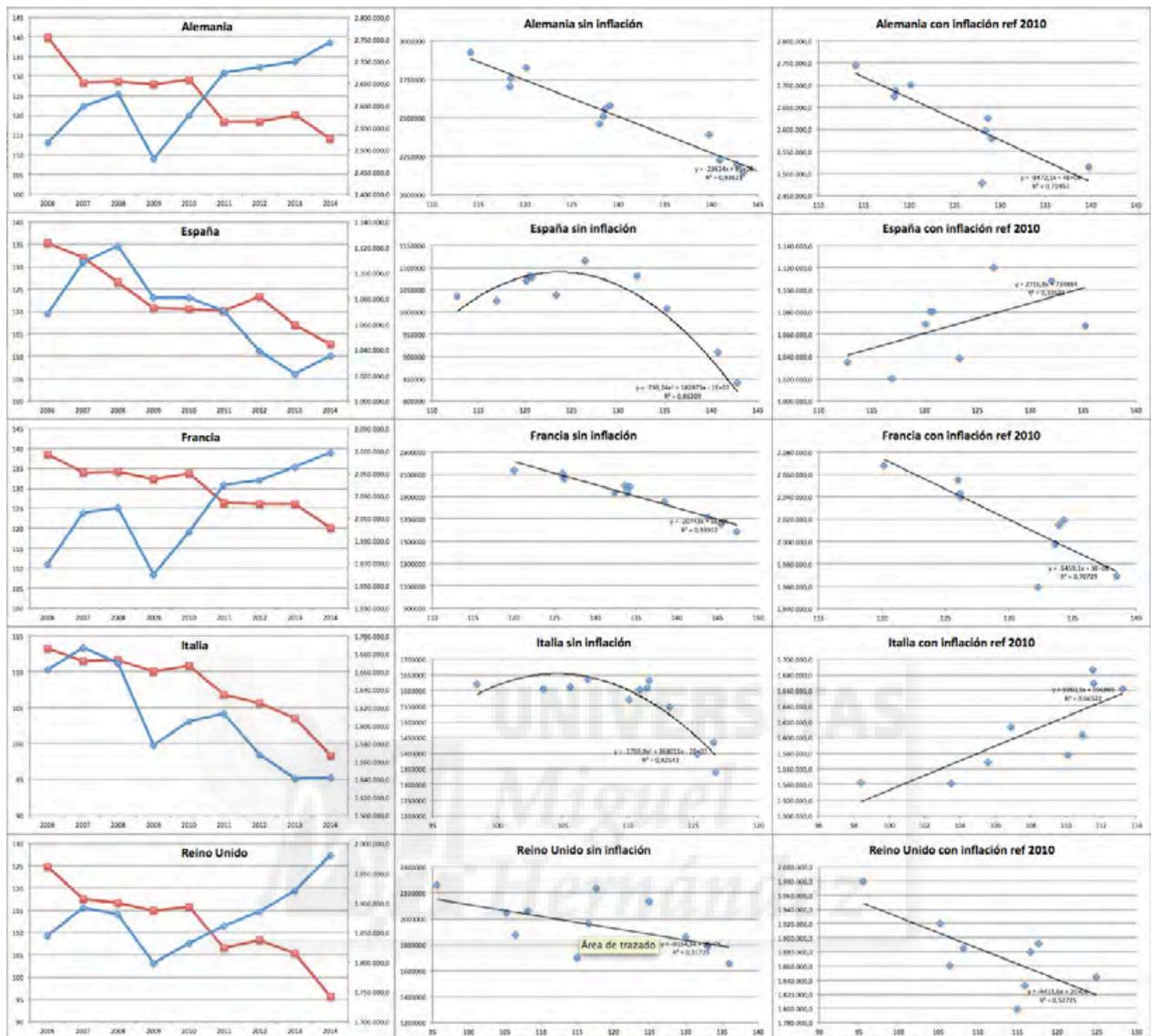


Figura 32. Representación del PIB en valores reales (Millones de €) e Intensidad energética de la Economía (kpe/1000€) (izquierda). Correlaciones del PIB en valores reales (centro) y nominales (derecha ref 2010) con respecto a Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€). Fuente: elaboración propia

Se puede observar en la Figura 32, con carácter general, no considerar la inflación permite obtener una mejor correlación de las series en los países analizados, y reducir su variabilidad. En cambio, en el caso de Reino Unido, que aparecen cambios de tendencia acusados entre 2007 y 2010 en su PIB real, es especialmente recomendable utilizar valores nominales para reducir la variabilidad. En la Tabla 1 se resumen los resultados de la correlación, así como las ecuaciones de regresión obtenidas.

**Tabla 1. Análisis de correlación de la influencia de la inflación en la comparativa de energía y rentas. Valores de "y" corresponden a PIB (Millones de €). Valores de "x" corresponden a Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€).**

País	Coefficiente Determinación sin Inflación	Coefficiente Determinación con Inflación	Coefficiente Correlación sin Inflación	Coefficiente Correlación con Inflación	Ecuación de regresión
Alemania	0,93623	0,71952	<b>0,96759</b>	0,84825	$y_{i1} = 5579483 - 23624x_{i1}$
España	0,86209	0,33624	<b>0,92849</b>	0,57986	$y_{i2} = -10220121 - 739,24x_{i2}^2 + 182875x_{i2}$
Francia	0,93912	0,70729	<b>0,96908</b>	0,84101	$y_{i3} = 4703678 - 20743x_{i3}$
Italia	0,82543	0,66522	<b>0,90853</b>	0,81561	$y_{i4} = -17584670 - 1759,9x_{i4}^2 + 368015x_{i4}$
UK	0,31725	0,52725	0,56325	<b>0,72612</b>	$y_{i5} = 2370544 - 4415,6x_{i5}$

Por otro lado, todos los países menos España, experimentan entre 2007 y 2010 una estabilización en la Intensidad Energética de la Economía (ver Figura 33), debido fundamentalmente a una ralentización en su crecimiento del PIB, indicador que en España sigue su tendencia bajista, al que le acompaña una reducción de su consumo energético primario, por lo que al final, como se verá más adelante, no significa una mejora del comportamiento energético del país, sino una reducción importante de su actividad y por tanto, de su consumo de energía y emisiones.

De la simple comparación de los valores de intensidad energética de la economía de la Figura 33, se obtienen una serie de lecturas: el país con mayor eficiencia en su economía es Reino Unido, además con la mejor evolución de todos en los últimos 20 años, seguido muy de cerca por Italia, finalmente quedan al final de la lista y en este orden: Alemania, España y Francia. En definitiva, encontrar una relación entre consumo de energía y crecimiento económico es fundamental en las economías de los países, pero más aún la evolución de esa relación.

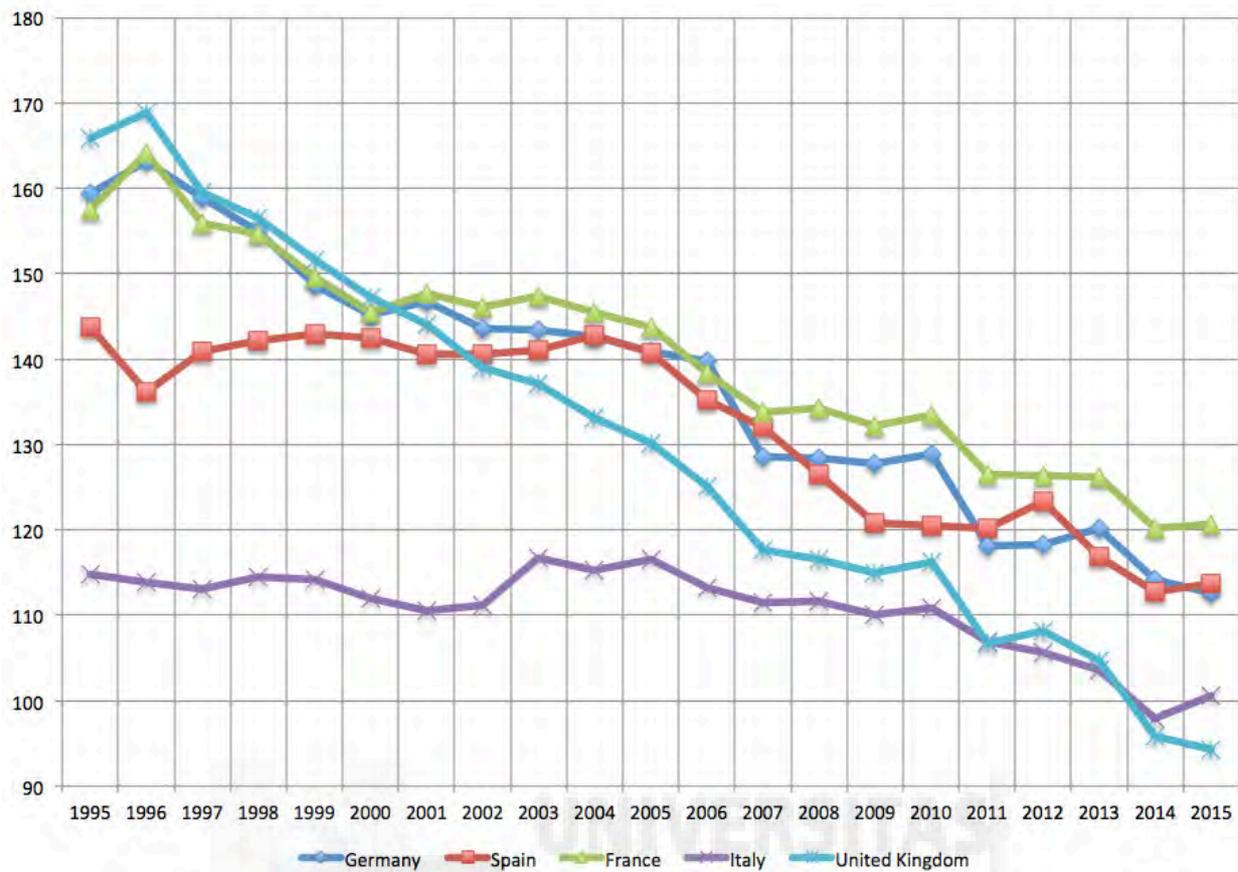


Figura 33. Intensidad energética (kgep/1000€ de PIB ref de 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Se puede llegar a obtener alguna conclusión interesante si se establece una relación comparando la Intensidad Energética de la Economía con la productividad del país (mediante la variable renta per cápita) tal y como se muestra en la Figura 34. Como se puede observar, Reino Unido e Italia devuelven otra vez los ratios más positivos de eficiencia económica del país. En cambio España, estando a la cola de productividad, se queda el penúltimo en eficiencia. Por último, Alemania y Francia con altas productividades en su generación de valor, son poco eficientes desde el punto de vista energético aunque su evolución es positiva. Por tanto, el rango entre 20.000 y 35.000 € de renta per cápita permite comparar con idoneidad los países en estudio, quedando los cuadrantes entre 90 y 140 kgep/1000€ de PIB como rango de referencia para la intensidad energética en estos países.

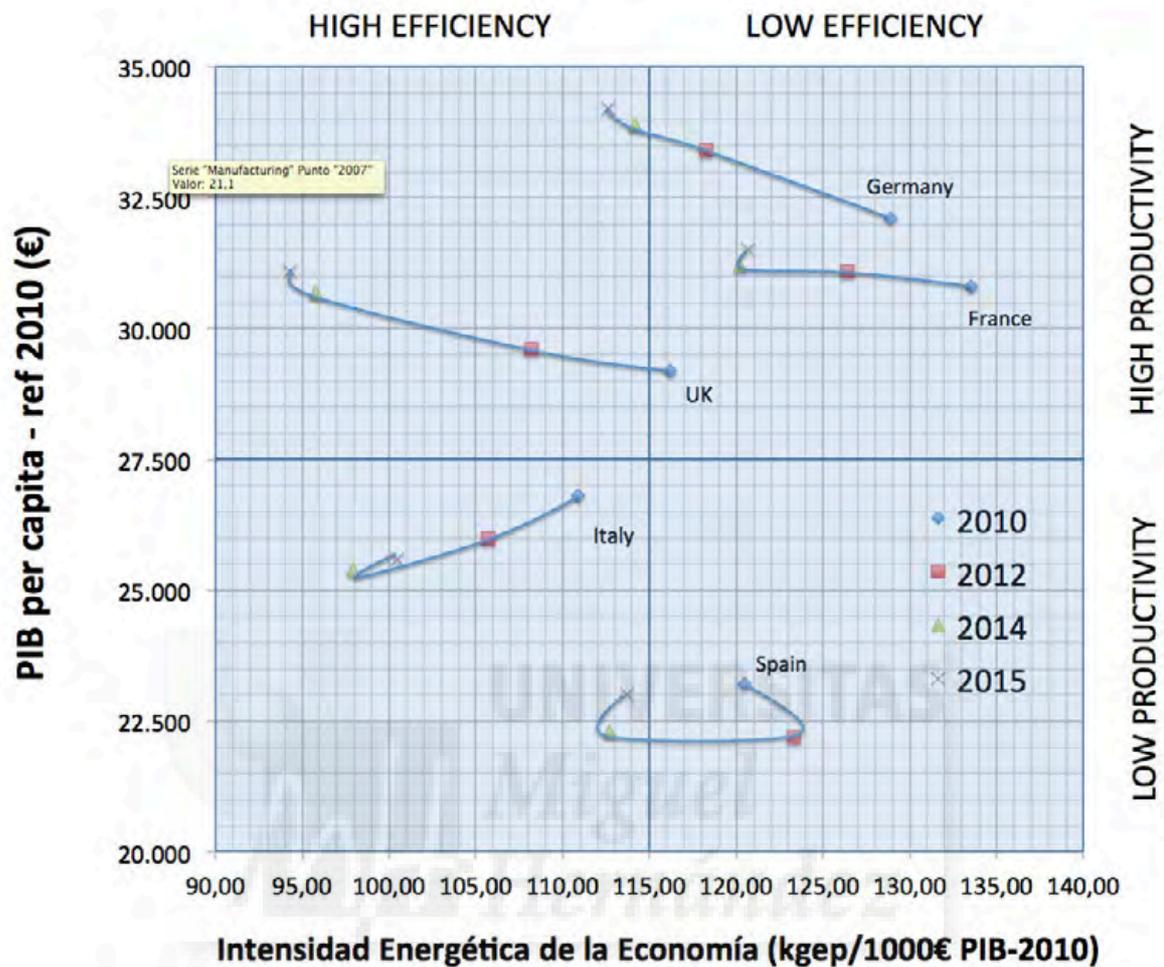


Figura 34. Comparativa entre Intensidad Energética de la Economía (kgep/1000€ de PIB-2010) y PIB per cápita (€ ref 2010/habitante). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por tanto, la intensidad energética de la economía, no resulta un indicador que por sí solo pueda evidenciar un comportamiento eficiente o no de los países y de su actividad, ya que fundamentalmente va a depender en gran medida de la distribución por sectores del PIB, del estado de la tecnología, y del consumo primario de energía (dependencia energética), por lo que una evolución positiva, como se podrá constatar en los siguientes apartados, puede no significar una mejora de las condiciones de sostenibilidad energética del país.

Para ello se analizará más adelante el ratio Intensidad Técnica del sistema energético<sup>22</sup>. Esta variable se compone de la relación entre el Consumo Final de Energía y Consumo de Energía Primaria que como se podrá observar en los países analizados no ha variado de manera sustancial (Figura 51), por lo que podemos concluir que es necesario analizar también variables de otra naturaleza para evaluar el grado de sostenibilidad energética. Mediante la comparación con la evolución de los precios de la electricidad que se realizará en el Capítulo 4 se podrán observar otro tipo de comportamientos y conclusiones ya que en ese momento entrará en juego un factor clave: los precios y la competitividad.

$$IT_{SE} = \frac{\text{Consumo Final de Energía (ktep)}}{\text{Consumo de Energía Primaria (ktep)}}$$

Ecuación 4. Expresión matemática de la Intensidad Técnica del sistema energético (%)

Dentro del sector industrial, otra variable interesante es el Índice de Producción Industrial<sup>23</sup> (IPI), indicador coyuntural cuya finalidad es medir la evolución en el corto plazo del valor añadido en las ramas industriales. Por tanto, es un indicador a través del cual se obtiene información representativa de la actividad industrial (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016). La periodicidad de este indicador es mensual. Para la obtención de este indicador se selecciona una cesta de productos o bienes representativos de toda la industria y un panel de establecimientos industriales que fabriquen estos bienes y que serán los que facilitan los datos sobre las producciones mensuales realizadas.

<sup>22</sup> La Intensidad Técnica determina una métrica de la eficiencia de las transformaciones energéticas del país (el sector eléctrico adquiere un papel muy relevante), es decir, con qué eficiencia transforma la energía que demandan los diferentes sectores del país (transporte, residencial y servicios, e industria) desde su origen primario hasta la demanda de su consumo final, a esta relación se denominará **Intensidad Técnica** del sistema energético.

<sup>23</sup> El IPI es un indicador coyuntural que permite medir la evolución de la actividad productiva de las ramas industriales, es decir, de las industrias extractivas, manufactureras y de producción y distribución de energía eléctrica, gas y agua. En los datos estadísticos analizados se excluye habitualmente el sector de la construcción.

El índice de producción industrial mide la evolución en el corto plazo del volumen del output producido por las empresas, en términos de valor añadido. Se define como el ratio entre el volumen de output producido por las empresas en un periodo t menos los consumos necesarios para ello, y el volumen de output producido por estas mismas industrias en el periodo base menos los consumos necesarios (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2010).

$$IPI_{Q,0}^t = \frac{\sum_{i=1}^N p_{i,0} \times q_{i,t} - \sum_{j=1}^{M_t} a_{j,0} \times \delta_{j,t}}{\sum_{i=1}^N p_{i,0} \times q_{i,0} - \sum_{j=1}^{M_0} a_{j,0} \times \delta_{j,0}}$$

**Ecuación 5. Expresión matemática del Índice de Producción Industrial - IPI (%)**

Donde:

$IPI_{Q,0}^t$  es el índice de producción en el periodo t con respecto al periodo base 0

$q_{i,t}$  es la cantidad producida del producto i en el periodo t

$q_{i,0}$  es la cantidad producida del producto i en el periodo 0

$p_{i,0}$  es el precio del producto i en el periodo 0

$\delta_{j,t}$  es la cantidad del input j necesario para producir el producto i en el periodo t

$\delta_{j,0}$  es la cantidad del input j necesaria para producir el producto i en el periodo 0

$a_{j,0}$  es el precio del input j en el periodo 0

Como ejemplo, según el último informe del Instituto Nacional de Estadística en España, el índice general de producción industrial en Mayo de 2015 se situó en el 3,4% respecto al mismo mes del año anterior, corregidos los efectos estacionales y de calendario. Como se puede observar en la Figura 35, la tendencia en España es positiva entre Mayo de 2014 y el mismo mes del año 2015, considerando este indicador como referencia.



Figura 35. Índice de Producción Industrial (%) en España. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016)

Por último, dada la importancia del sector servicios en el grupo de países analizados (Figura 21) se propone evaluar un indicador relacionado directamente con la actividad en el sector servicios que compone el Índice de Cifra de Negocios Empresarial<sup>24</sup> (ICNE) (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016). Este indicador utiliza a su vez información sobre el Índice de Cifras de Negocio en la Industria (ICN), el Índice de Comercio al por Menor (ICM) y el Indicador de Actividad del Sector Servicios (IASS) que es el que mayor vinculación presenta con el sector terciario. Por tanto será éste último el que represente el sector servicios.

El Indicador de Actividad del Sector Servicios (IASS) medirá por tanto la evolución a corto plazo de la actividad de las empresas que pertenecen a los servicios no financieros por la prestación de servicios y venta de bienes. Su obtención, con una periodicidad mensual, se lleva a cabo a través de dos variables: la cifra de negocio y el personal ocupado. Las empresas que forman parte de este indicador son las que su ámbito de actividad viene relacionado con el comercio, el transporte y el almacenamiento, la hostelería, las tecnologías de la información y comunicaciones, las actividades profesionales, científicas y

<sup>24</sup> El Índice de Cifra de Negocios Empresarial (ICNE) es un indicador coyuntural que mide la evolución de la cifra de negocios de los sectores económicos: industrias extractivas y manufactureras, energía, agua comercio y servicios no financieros.

técnicas, las administrativas, así como la de los servicios auxiliares. Se construyen los índices elementales para cada una de las comunidades autónomas (R) y para cada rama de actividad (A), referenciados al mes de diciembre del año anterior a través de la misma expresión, tanto para la variable cifra de negocios, como para los índices de ocupación, que se muestra seguidamente.

$$I_{A,R}^{mt, NP} = \frac{\hat{F}_{A,R}^{mt}}{\hat{F}_{A,R}^{dic(t-1)}}$$

Ecuación 6. Expresión matemática del Indicador de Actividad del Sector Servicios (IASS) - (%)

Donde:

$I_{A,R}^{mt, NP}$ , Índice elemental del IASS

$\hat{F}_{A,R}^{mt}$ , Cifra negocio estimada para el mes m, año t, comunidad R, y actividad A

$\hat{F}_{A,R}^{dic(t-1)}$ , Cifra negocio estimada en diciembre, año (t-1), comunidad R, y actividad A

Como se muestra en la Figura 36, España experimenta una tendencia de crecimiento mucho más clara que el IPI, situándose en el mes de Mayo de 2015 en un 4,1% superior respecto al mismo mes del año anterior, una vez corregidos los efectos estacionales y de calendario.

Índice general de cifra de negocios del Sector Servicios de Mercado  
Tasa anual

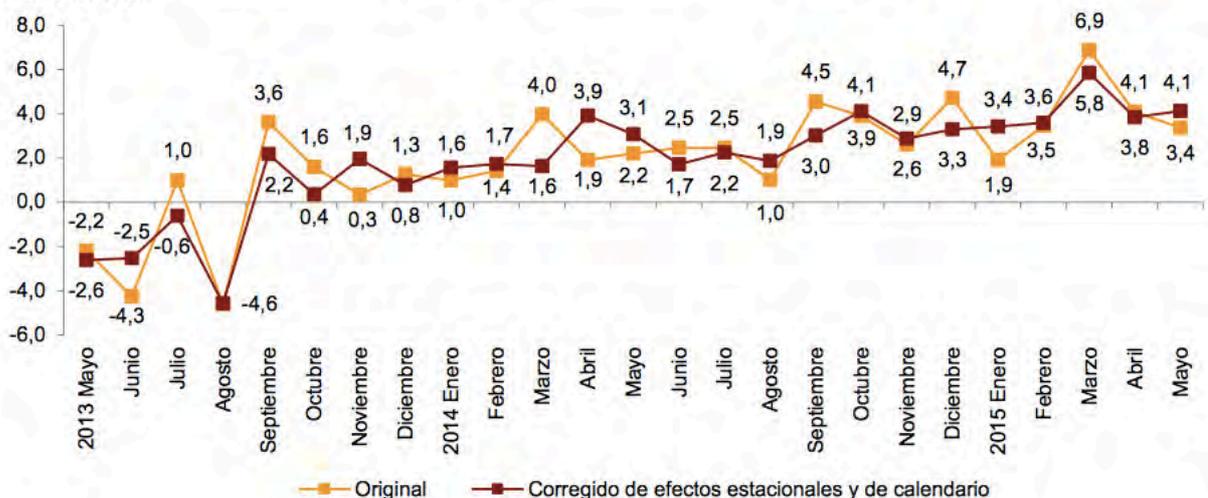


Figura 36. Índice general de cifra de negocios del Sector Servicios de Mercado. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016)

Por ramas de actividad, es de destacar que las actividades profesionales, científicas y técnicas experimentan el mayor crecimiento (1,4%), junto a la Venta y reparación de vehículos y motocicletas (1,2%), como se puede observar en la Figura 37.

**Índices de cifra de negocios: General y por sectores  
Corregidos de efectos estacionales y de calendario. Tasa mensual**

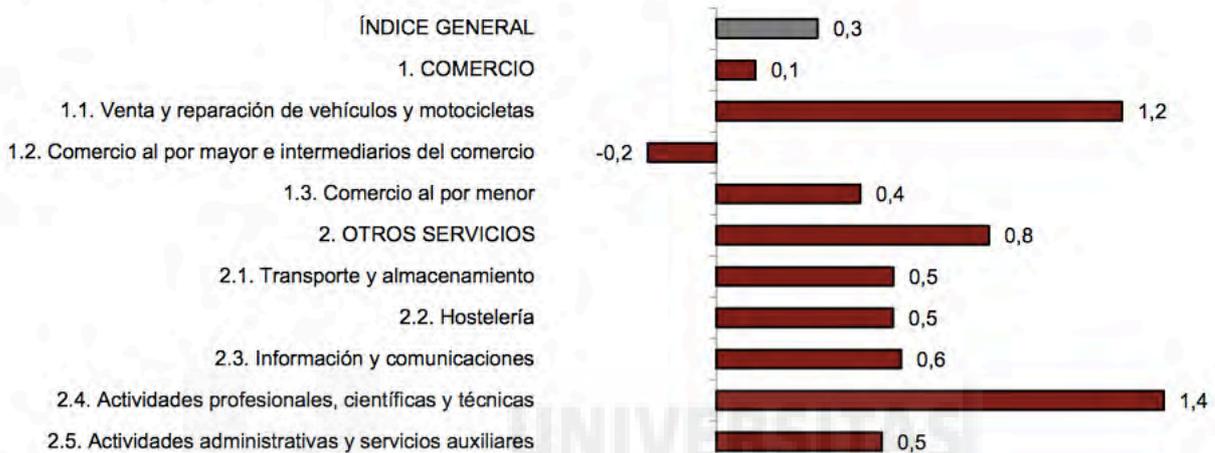


Figura 37. Índice de cifra de negocios en el Sector Servicios de Mercado por ramas de actividad. Fuente: (Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office, 2016)

Se recopila en la siguiente tabla algunos valores orientativos correspondientes a los meses de diciembre del IPI interanual corregido de efectos estacionales y de calendario en los países en estudio.

Tabla 2. Índice de Producción Industrial (IPI) en países europeos (%) - Fuente: (Expansión - Datos Macro, 2017)

IPI interanual	2013	2014	2015	2016
Alemania	3,4%	1,1%	-1,1%	0%
España	2,7%	0,3%	4,1%	1,9%
Francia	-0,2%	1,5%	-0,8%	1,2%
Italia	-1,1%	0,2%	-0,9%	6,8%
Reino Unido	1,7%	0,4%	-0,4%	7,3%

Como se puede observar, el sector industrial en España ha tenido un buen comportamiento en los últimos años, debido fundamentalmente al tirón de las exportaciones. Alemania, Italia y Reino Unido, siguen una tendencia con elevada variabilidad, aunque en la anualidad 2016 se produce un repunte positivo importante, sobretudo en Italia y Reino Unido.

### 3.4 Indicadores de seguridad de suministro y demanda de energía

Existe una variable que destaca de manera contundente en el análisis económico y energético de los países y que enmarca los indicadores que forman parte de la seguridad de suministro, como es el grado de autoabastecimiento energético o también denominada dependencia energética exterior. Se ha podido evidenciar que esta variable puede tener diferentes metodologías de obtención. Consultada la base de datos del Banco Mundial (Banco Mundial, 2017), la dependencia energética se establece como importaciones netas de energía, es decir, se calculan como el uso de energía menos la producción, ambos medidas en equivalentes de petróleo. Un valor negativo indica que el país es exportador neto y el uso de energía se refiere al consumo de energía primaria antes de la transformación en otros combustibles finales, lo que equivale a la producción nacional más las importaciones y las variaciones de existencias, menos las exportaciones y los combustibles suministrados a navegación marítima y aérea afectados al transporte internacional.

$$DEE_{BM} = \text{Importación Neta de Energía (ktep)} - \text{Producción Energía Primaria (ktep)}$$

**Ecuación 7. Expresión matemática de la Dependencia Energética Exterior según la metodología utilizada por el Banco Mundial**

Como se puede observar en la Figura 38 los países de la Unión Europea se encuentran todos a la parte derecha del gráfico de barras, donde el grado de abastecimiento es positivo, es decir, son importadores netos de energía. La media de los países miembros de la OCDE se establece en un 25% de dependencia energética del exterior, y en la Unión Europea alrededor del 51%. España se sitúa en el 70% de dependencia exterior, por detrás de países como Reino Unido con el 42%, Alemania con el 62% y Grecia con el 60%. Italia, Portugal, Bélgica, Chipre e Irlanda se sitúan en posiciones más desfavorecidas a la de España.



Figura 38. Importaciones netas de energía. Países del mundo. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia

Aunque de 2010-2014 se ha producido una reducción de las importaciones de energía en países de la UE como Italia, Grecia, Portugal o España, tal y como se muestra en la Figura 39, cuyos datos se han obtenido de (EUROSTAT - European Commission, 2016), indicar que en este caso la metodología en la obtención de la variable es el cociente entre Importaciones Netas de energía y Consumo de Energía Primaria más las Existencias.

$$DEE_{UE} = \frac{\text{Importaciones Netas de Energía (ktep)}}{\text{Consumo de Energía Primaria (ktep) + Existencias (ktep)}}$$

Ecuación 8. Expresión matemática de la Dependencia Energética Exterior en el periodo t según la metodología utilizada por EUROSTAT (%)

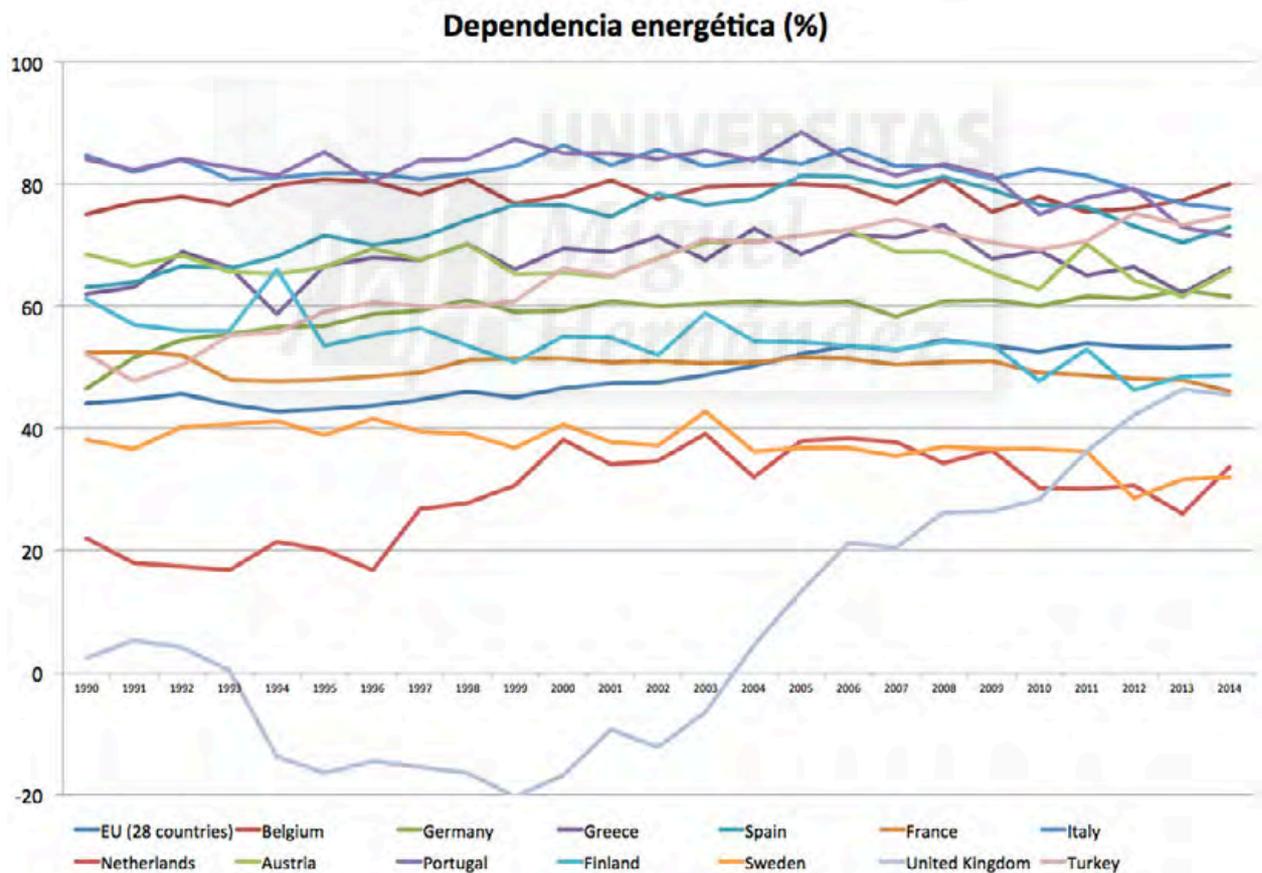


Figura 39. Dependencia energética (%) en países europeos. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

No cabe lugar a dudas que la Dependencia Energética Exterior es un indicador muy importante para evaluar la seguridad de suministro y la demanda de energía de una nación, pero el análisis de las variables energéticas para la toma de decisiones debe considerarse desde el análisis multivariable, que permita interpretar los datos de forma multisectorial, con el fin de contar con información amplia para la toma de decisiones en aquellos organismos con alguna responsabilidad en materia de energía. Por ese motivo, la posibilidad de correlación con el PIB, o con el Consumo de Energía Primaria como variables a estudiar conjuntamente para buscar patrones de comportamiento relacionados con la reducción del consumo de energía, nos ofrece una nueva visión de esa reducción de la dependencia energética exterior, ya que si se reduce la actividad económica y por ese motivo la reducción de demanda de energía, no resulta un escenario de sostenibilidad energética sino de una simple reducción de la demanda de energía ante un escenario, por ejemplo, de crisis económica. De ahí la importancia de correlacionar datos para poder establecer conclusiones. Como indicador de agregación en materia de seguridad de suministro y demanda de energía se establece por tanto mediante la variable de Dependencia Energética Exterior (DEE<sub>UE</sub> - %) la cual nos permite establecer un indicador para discernir los grupos de naciones para establecer comparaciones. Las agrupaciones se establecerán en los intervalos siguientes: países con menos del 20% de dependencia energética, países entre el 20-40%, países entre el 40-60%, países entre 60-80% y países con más del 80% de dependencia energética exterior. Analizando el año 2014 se pueden clasificar algunos países de la UE-28 de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 3. Intervalos de Dependencia Energética 2014. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia**

<b>&lt;20%</b>	<b>20-40%</b>	<b>40-60%</b>	<b>60-80%</b>	<b>&gt;80%</b>
Iceland (14%) Dinamarca (12,8%)	Países Bajos (33,8%) Sweden (32,1%)	Francia (46,1%) Finlandia (48,8%) UK (45,5%)	Alemania (61,6%) Grecia (66,2%) España (72,9%) Italia (75,9%) Portugal (71,6%)	Bélgica (80,1%) Irlanda (85,3%) Chipre (93%)

Además, como se puede observar en la siguiente figura, que representa la relación entre la renta per cápita y el consumo de energía per cápita (Nieto, 2011), aparecen en el centro del gráfico algunos países que marcan comportamientos muy similares desde el punto de vista de su coyuntura económica y energética.

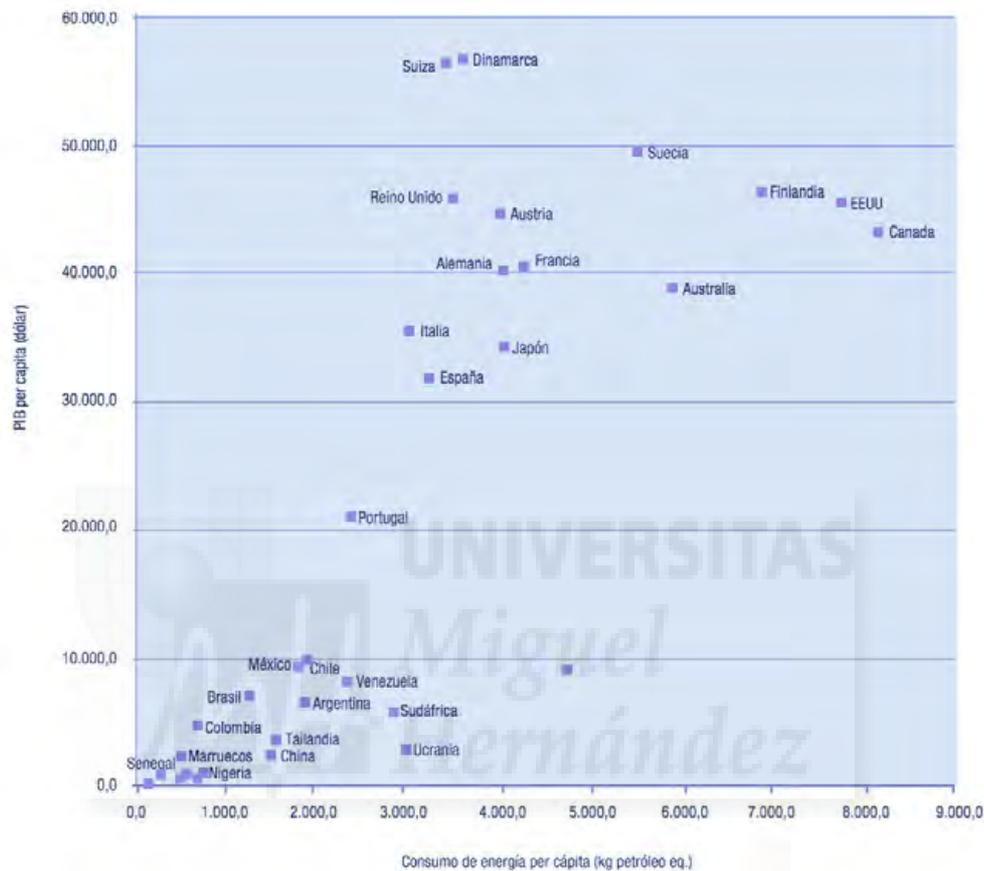


Figura 40. Consumo de energía per capita (kep) y PIB per cápita (\$). Fuente: (Nieto, 2011)

Por tanto, tomando como referencia una serie de países perteneciente a los grupos entorno a la media de la Unión Europea (40-80%) en su Dependencia Energética Exterior, atendiendo a criterios de población, PIB, renta per cápita y distribución del PIB, se puede establecer una comparación con la variable del Consumo de Energía Primaria (Figura 41) observando una correlación muy alta sin desacoplamiento en **España** con un  $R=0,90384$ , en Francia con un  $R=0,86316$ , y en **Italia** con un  $R=0,95083$ , excepto en **Alemania**, que aunque la correlación es pobre, se observa una tendencia clara de desacoplamiento entre demanda exterior y consumo primario. Por último, en **Reino Unido** se da también como en Alemania la correlación inversa con un elevado coeficiente  $R=0,89966$ , es decir, aunque ha existido en ese país un aumento significativo de la dependencia energética exterior, también ha

reducido significativamente las necesidades de energía primaria, resultando además de una correlación muy homogénea. Por tanto, se puede concluir que sólo en Reino Unido puede apreciarse un desacoplamiento claro entre Dependencia Energética Exterior y Consumo de Energía Primaria, precisamente el país con recursos propios de energía suficientes (fundamentalmente petróleo y gas - Figura 42) como para permitirse el mejor ratio de Dependencia Energética Exterior (DEE<sub>UE</sub>) en los países analizados (Tabla 3).

**Tabla 4. Resumen de la correlación entre Dependencia Energética (%) y Consumo de Energía Primaria (Megatep).**  
Fuente: Elaboración propia

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
España	0,81692	<b>0,90384</b>	<b>N/C</b>	$y_{i1} = -53866 + 2420,7x_{i1}$
Francia	0,74504	<b>0,86316</b>	<b>N/C</b>	$y_{i2} = 56651 + 4185,5x_{i2}$
Italia	0,90408	<b>0,95083</b>	<b>N/C</b>	$y_{i3} = -158415 - 4110,4x_{i3}$
Alemania	0,20118	0,44853	<b>SI</b>	$y_{i4} = 642082 - 5147,3x_{i4}$
UK	0,80938	<b>0,89966</b>	<b>SI</b>	$y_{i5} = 246862 - 1140,5x_{i5}$



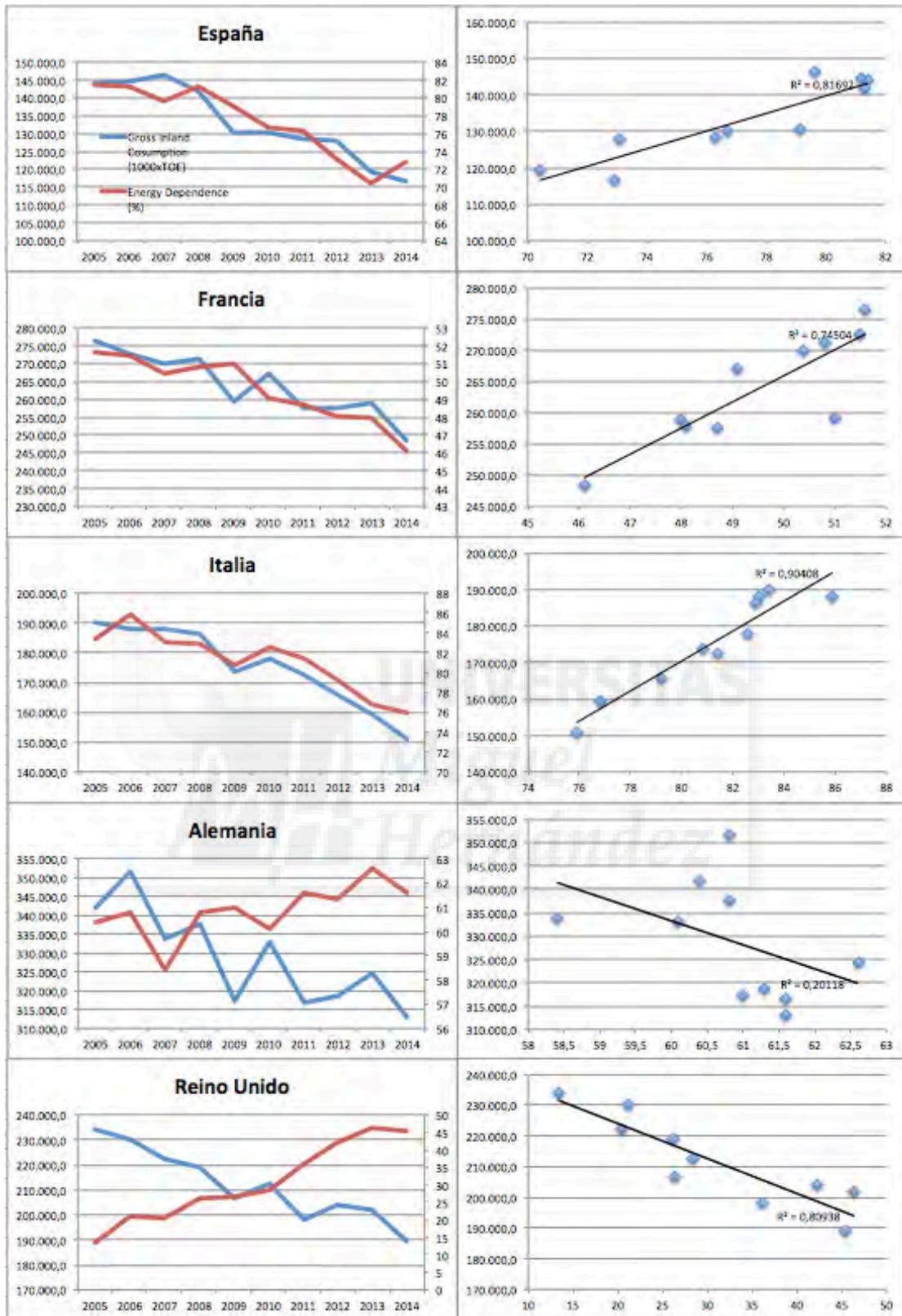


Figura 41. Correlación entre Dependencia Energética y Consumo de Energía Primaria. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

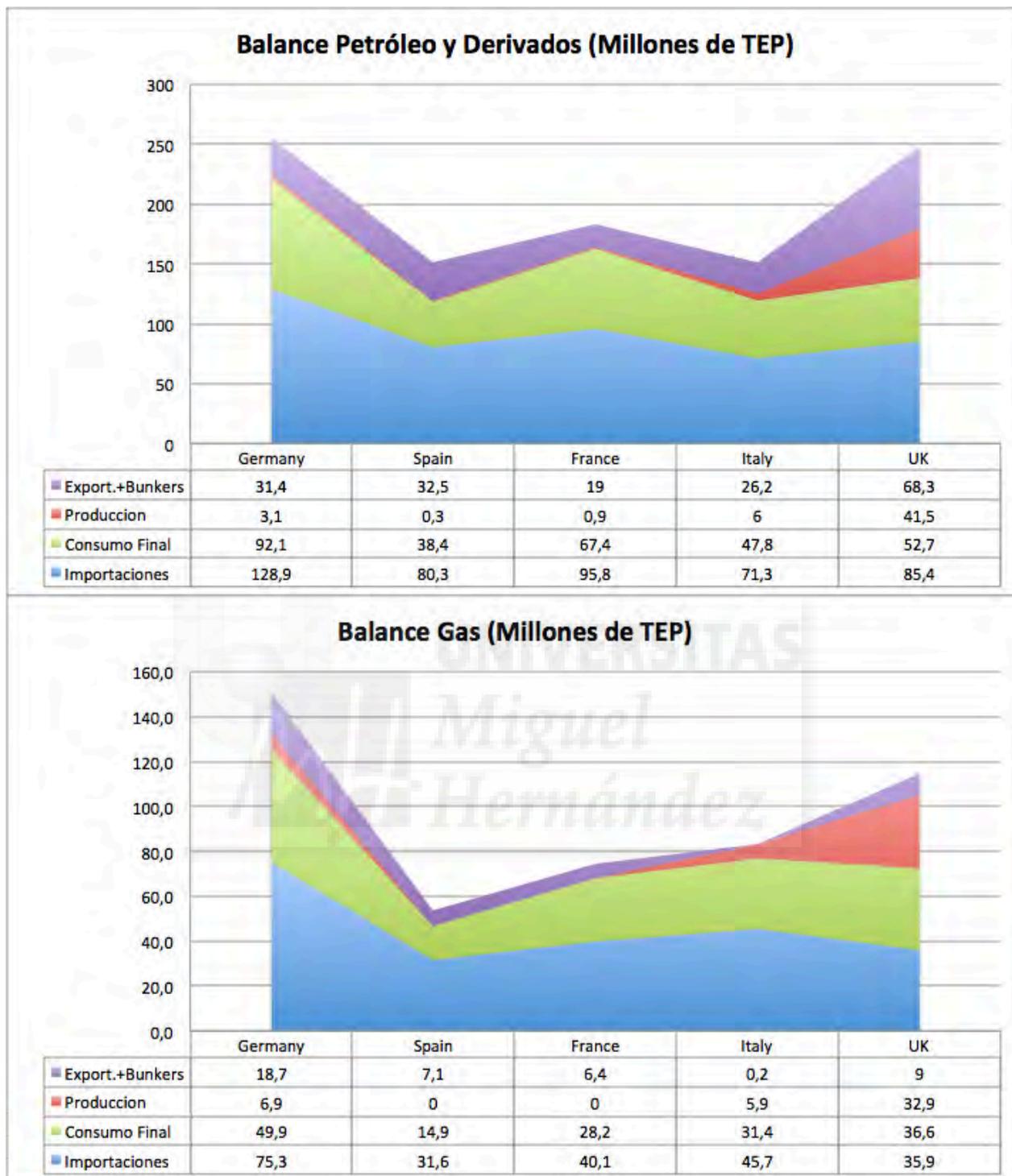


Figura 42. Balances de fuentes energéticas (petróleo y gas) de algunos países de la UE. Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017) y elaboración propia

Por otro lado, estableciendo una nueva correlación entre Dependencia Energética Exterior y PIB, se puede observar en la Figura 43, que **Reino Unido** aumenta sus dos variables, con lo que presume de insostenibilidad en estas dimensiones, de igual modo ocurre en **Alemania**, aunque todo ello se corroborará en la comparativa del PIB con la demanda primaria de energía más adelante. En **España** reduce las dos variables con una alta homogeneidad en la comparativa con lo que no es concluyente. En **Francia e Italia** son los dos únicos países que se observa un desacoplamiento entre el PIB y la dependencia energética exterior, aumentando ligeramente su producto interior bruto al tiempo que reducen significativamente la demanda exterior de energía. Analizando los diagramas de flujo, es destacable que la dependencia energética de los combustibles fósiles lastra de manera muy significativa la dependencia energética exterior de los países en estudio, ya que su modelo energético exige todavía una gran dependencia de ellos. Este comportamiento es indicativo de la gran complejidad que resultará desacoplar crecimiento económico, demanda de energía y emisiones. Seguidamente se analizará finalmente el grado de disociación entre demanda de energía y crecimiento económico.

**Tabla 5. Resumen de la correlación entre Dependencia Energética Exterior (%) y PIB (€ ref 2010). Fuente: Elaboración propia**

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
<b>España</b>	0,94522	<b>0,97222</b>	<b>N/C</b>	$y_{i1} = 449604 + 8119,6x_{i1}$
<b>Francia</b>	0,76559	<b>0,87498</b>	<b>SI</b>	$y_{i2} = 5058481 - 62049,4x_{i2}$
<b>Italia</b>	0,33068	0,57505	<b>SI</b>	$y_{i3} = 2238859 - 7563,4x_{i3}$
<b>Alemania</b>	0,45779	<b>0,67660</b>	<b>NO</b>	$y_{i4} = -5979132 + 141416,2x_{i4}$
<b>UK</b>	0,63611	<b>0,79757</b>	<b>NO</b>	$y_{i5} = 1386599 + 16100,9x_{i5}$

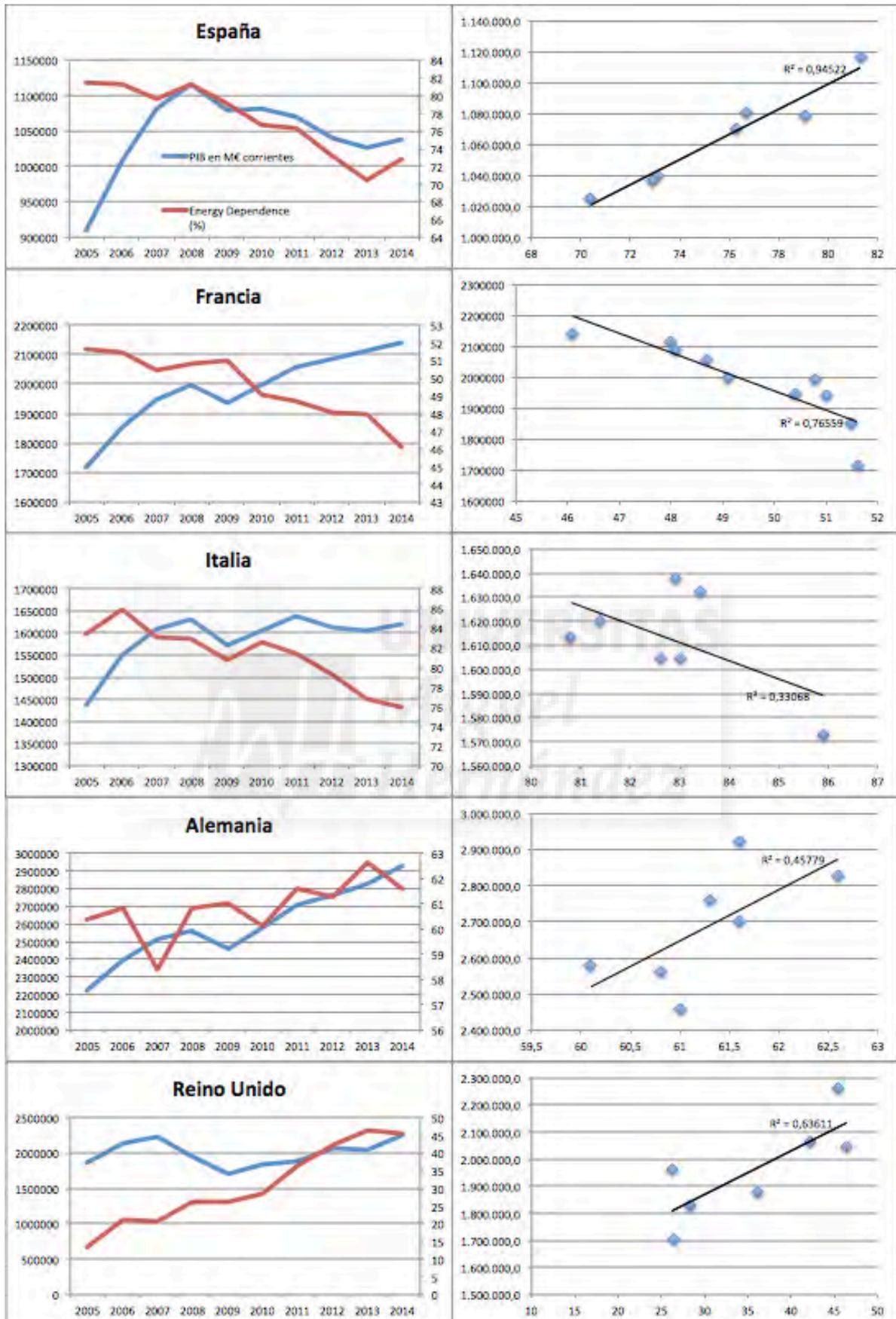


Figura 43. Correlación entre Dependencia Energética Exterior y PIB en valores nominales (Millones de Euros corrientes ref. 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Atendiendo en la Figura 44 se puede concluir con total certidumbre que **España** es el único país que disminuye su demanda de energía al tiempo que reduce su PIB con una correlación muy alta de variables y un comportamiento muy homogéneo, es decir: con una muy alta probabilidad, la reducción de la demanda de energía en España y también por tanto la reducción observada anteriormente en la dependencia energética exterior, ha sido producida por la reducción en la actividad económica del país (PIB). Por tanto no nos encontramos ante un caso posible de sostenibilidad energética (a falta de considerar las emisiones) ni de un desacoplamiento entre las dimensiones demanda de energía y crecimiento económico, se observa claramente un patrón de comportamiento insostenible. El caso de **Francia** es el más espectacular, reduce su dependencia energética del exterior como se ha podido observar anteriormente, reduce también su consumo de energía primaria y aumenta su PIB, por lo que estamos ante el país que mayor sostenibilidad energética demuestra en la disociación de esas dos dimensiones: actividad económica y demanda de energía. Por último, **Alemania, Reino Unido e Italia**, aunque con mayor variabilidad en los resultados, demuestran una clara tendencia también a disociar las dos variables, es decir sus patrones de comportamiento demuestran que logran desacoplar demanda de energía y crecimiento: aumentan la actividad económica reduciendo la demanda de energía primaria que necesitan. Pero el análisis no estará completo sin observar lo que ocurre con la dimensión de las emisiones. Sólo existirá realmente sostenibilidad energética si se logra también desacoplar esa dimensión. Ese extremo se observará en el apartado 3.6 Indicadores de emisiones.

Por tanto, la todavía existente dependencia de los combustibles fósiles, foráneos todos con carácter general, a la producción interna de la mayoría de los países de la UE, crea una seria preocupación en las políticas europeas por reducir la dependencia del exterior de estas energías. La Comisión Europea, ya ha indicado que existe una gran vulnerabilidad de los países miembros a las disrupciones en el suministro de energía foránea, lo que puede trasladarse a la competitividad y al PIB, generando presiones inflacionistas y deterioro del balance comercial (European Commission. Directorate-General for Economic and Financial Affairs, 2013). Según este último documento, establece tres dimensiones alrededor de la dependencia energética: la seguridad de suministro de energía, la intensidad energética de la economía y, por último, la contribución de los productos energéticos en la balanza comercial. Debido a que el estudio está referido a los años 2006-2010 no resultaría fiable

extrapolar los resultados a los siguientes, por lo que enunciar únicamente las dimensiones que tiene en consideración. En esta tesis se tiene en cuenta cada una de ellas ordenadas conforme a los árboles de decisión explicadas en el punto 2 del presente capítulo.

**Tabla 6. Resumen de la correlación entre PIB en valores nominales (M€ ref 2010) y Consumo de energía primaria (1000xTEP). Fuente: Elaboración propia**

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
<b>España</b>	0,83818	<b>0,91552</b>	<b>N/C</b>	$y_{i1} = 610924 + 3,5441x_{i1}$
<b>Francia</b>	0,70377	<b>0,83891</b>	<b>SI</b>	$y_{i2} = 5223611 - 12,27x_{i2}$
<b>Italia</b>	0,24159	0,49152	<b>SI</b>	$y_{i3} = 2222095 - 3,55x_{i3}$
<b>Alemania</b>	0,53542	<b>0,73172</b>	<b>SI</b>	$y_{i4} = 6580328 - 12,12x_{i4}$
<b>UK</b>	0,3085	<b>0,55543</b>	<b>SI</b>	$y_{i5} = 4101554 - 10,44x_{i5}$



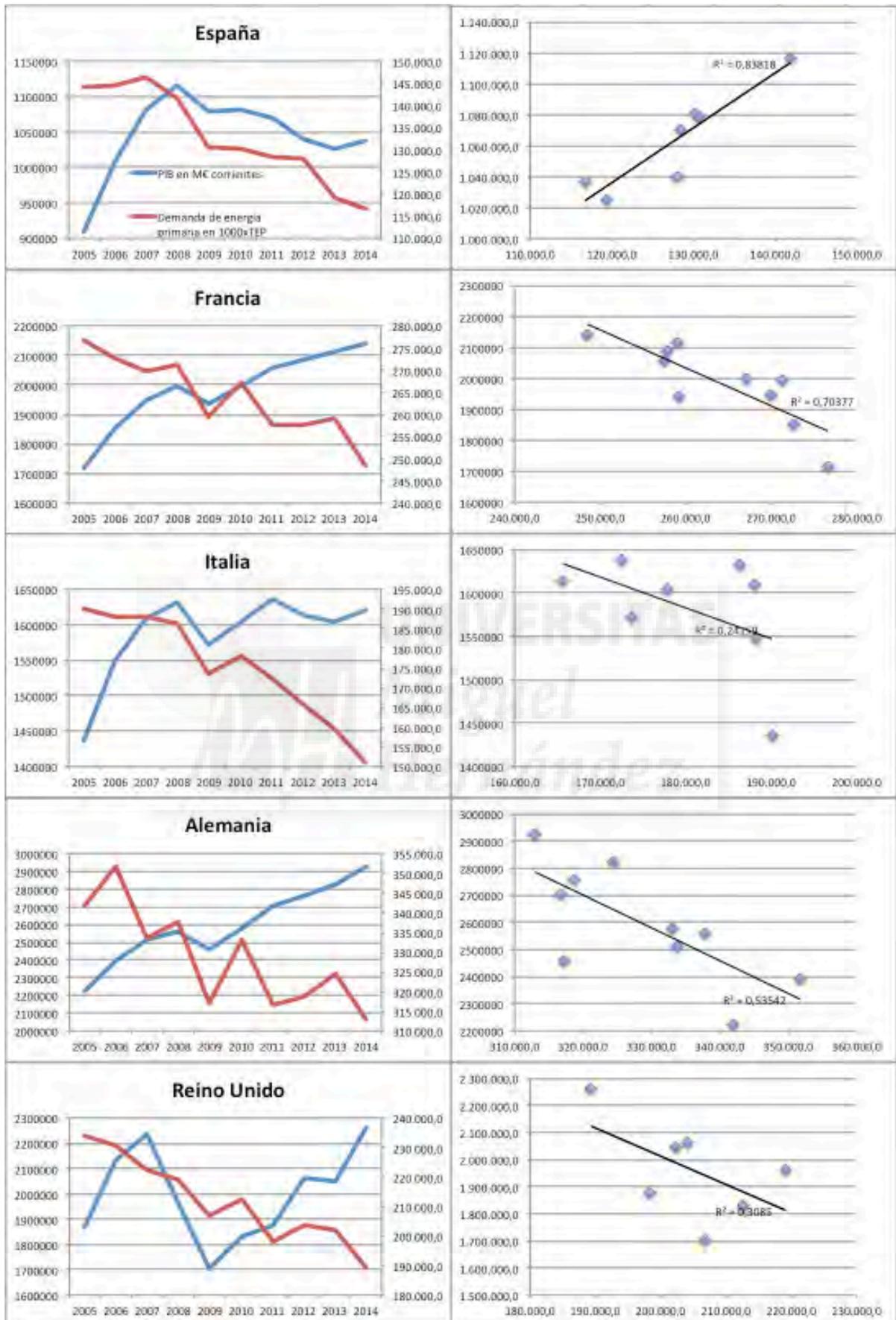


Figura 44. Disociación entre la variable PIB en valores nominales (M€ corrientes ref 2010) y Consumo de energía primaria (1000xTEP). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

En el análisis anterior se analiza el Consumo de Energía Primaria y su relación con la Dependencia Energética Exterior y el PIB con interesantes conclusiones, pero existe otra variable que permiten obtener más indicadores. Obteniendo la relación entre Producción de energía primaria y Consumo de energía primaria, se obtiene un parámetro que explica la capacidad de eficiencia del país en su primera etapa de transformación de la energía (Eficiencia Primaria del Sistema Energético –  $EP_{SE}$ : este parámetro es sobretodo sensible a variaciones del consumo primario de la energía por sectores fuertemente dependientes de los combustibles fósiles como son el sector transportes e industrial y a variaciones de la dependencia energética exterior, por tanto está fuertemente vinculado a la seguridad de suministro). El crecimiento de este indicador será favorable para la sostenibilidad energética en caso de que aumente la producción de energía primaria del país, o bien se reduzca el consumo de energía primaria.

$$EP_{SE} = \frac{\text{Producción de Energía Primaria (ktep)}}{\text{Consumo de Energía Primaria (ktep)}}$$

**Ecuación 9. Expresión matemática de la Eficiencia Primaria del sistema energético –  $EP_{SE}$  (%)**

Como se muestra en la Figura 45, Reino Unido evoluciona negativamente respecto al resto de países europeos debido fundamentalmente al crecimiento de su dependencia energética del exterior, como se ha explicado con anterioridad, permaneciendo el ratio prácticamente invariable en el resto de países expuestos. Por tanto este parámetro traslada también información sobre la dependencia energética exterior y es interesante su análisis para establecer comparaciones en otras agrupaciones de países o cuando se produzca una variación importante en la demanda de energía proveniente de combustibles fósiles, ya que en este caso no aporta información adicional a lo indicado hasta ahora.

### Producción de energía primaria/Consumo de energía primaria (%)

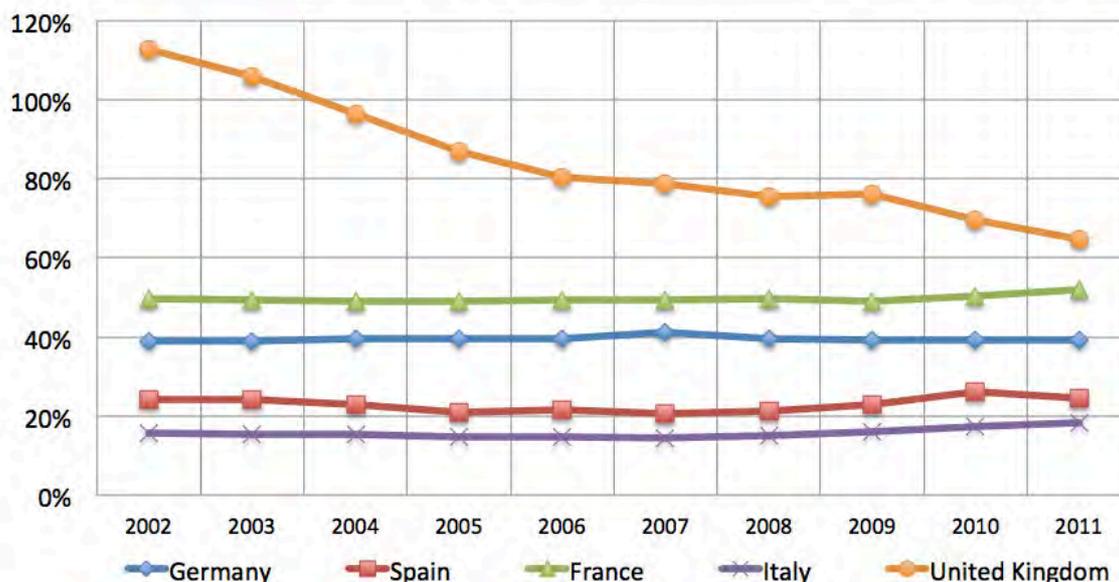


Figura 45. Producción primaria de energía/Consumo de energía primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

### 3.5 Indicadores de mercados y regulación

Resta analizar algunas variables relacionadas con las siguientes etapas en las transformaciones energéticas en los diferentes países, así como el estado de regulación existente que permite un mercado de la energía con la dinamización suficiente. Pero antes de abordar el análisis, es muy ilustrativo la observación del siguiente diagrama de Sankey<sup>25</sup>. Como se puede observar, es habitual establecer diagramas de flujo para ordenar y analizar la situación energética del país, es decir, de dónde obtiene la energía primaria, cuáles son sus transformaciones y pérdidas, así como la energía final disponible que utilizan los diferentes sectores para su funcionamiento. Esta herramienta permite analizar la situación en un año determinado, por lo que la variable de la evolución temporal no se muestra. Precisamente, esa característica estática del diagrama de flujo impide estudiar la evolución de las diferentes fuentes de energía y su impacto sobre el consumo final de los diferentes sectores, aunque si establecemos un periodo lo suficientemente amplio, se pueden obtener resultados interesantes.

<sup>25</sup> El diagrama de Sankey es una representación gráfica para visualizar flujos de energía, material o equipos en un proceso, así como sus pérdidas. El grosor de los flujos es proporcional a la cantidad transferida.

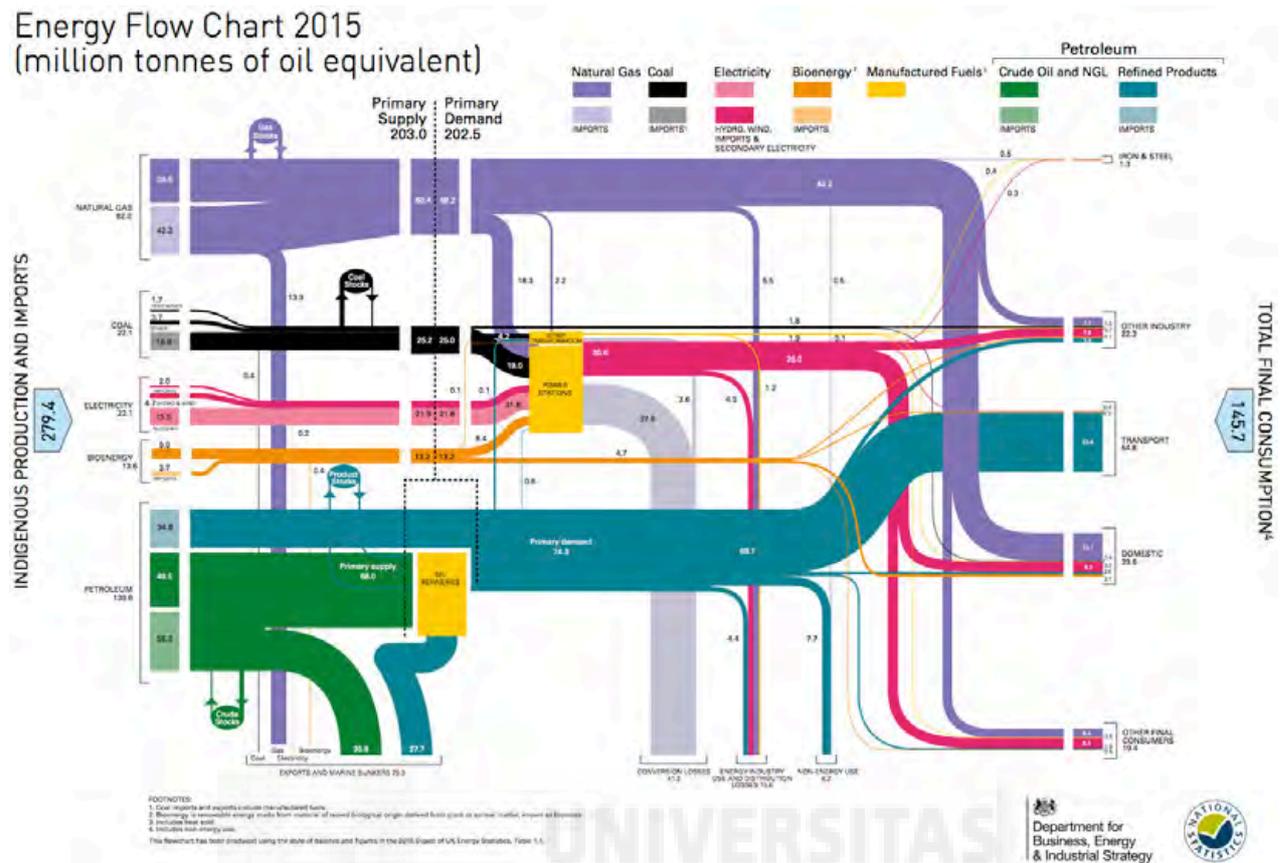


Figura 46. Balance energético 2015 del Reino Unido. Fuente: (Department of Energy and Climate Change - UK)

La Figura 46 anterior, representa el balance energético en Reino Unido, en su parte izquierda aparecen las diferentes energías primarias y cómo se obtienen, es decir, si son fuentes propias de energía o provienen de importaciones. En la parte central del diagrama suelen representarse las diferentes transformaciones que se producen de las diferentes energías primarias así como las pérdidas producidas en esas transformaciones, para poder satisfacer las necesidades de demanda final de energía que aparece a la derecha del diagrama (Consumo de energía Final - Final Energy Consumption), agregado por sectores. Es importante destacar las diferentes metodologías de obtención de los datos, ya que difiere la naturaleza de la variable según la etapa en la que se obtiene. Por ejemplo, la variable Consumo de Energía Primario (Primary Supply – Gross Inland Consumption) puede diferir según se incluyan o no variaciones de existencias, exportaciones o el almacenamiento en depósitos para suministro de buques marítimos, que en el caso de Reino Unido, es muy significativo.

En el caso de España, como se puede observar en la Figura 47, existen diferencias destacables, incluso cuando la metodología de obtención de los flujos y la distribución del diagrama es diferente. Por ello las comparaciones detectadas serán muy generalizadas: respecto al Reino Unido, por ejemplo, la exportación de petróleo en España es prácticamente inexistente. Respecto al sector eléctrico el rendimiento de generación de electricidad es similar así como las energías que componen el mix eléctrico. Desde el punto de vista de la demanda final, en el sector doméstico se observa una utilización del gas muy escasa todavía en España en comparación con el Reino Unido. Este hecho permitirá oportunidades de utilización de ese combustible en los próximos años, como se verá más adelante. El problema de la observación, como se ha indicado al principio del párrafo, radica en el método de obtención de los flujos, ya que difiere significativamente y por ello no nos permite establecer un análisis más cuantitativo con resultados concluyentes, sin olvidar los años de diferencia. No obstante, a través del (Lawrence Livermore National Laboratory) o el (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017) se pueden obtener los diagramas de flujo de varios países con la misma metodología de obtención y su evolución en varias anualidades. Consultada la base de datos de la Agencia Internacional de la Energía (IEA) se han podido evidenciar datos actualizados a 2014 para los países en estudio que se muestran en la Figura 48, Figura 49 y Figura 50.

Pero ¿cuál es la relación que existe entre los flujos de energía y las variables de mercados y regulación?, en definitiva, los diagramas nos permiten a simple vista interpretar el balance energético de los diferentes países, y establecer relaciones cualitativas entre los rendimientos de las transformaciones energéticas producidas, que en definitiva es lo que la variable va a cuantificar: los rendimientos de las cadenas energéticas, desde su origen en el consumo primario de energía, hasta la energía final demandada por los sectores productivos unido a la dinamización y eficiencia de los mercados energéticos y su distribución. Esta variable se denominará Intensidad Técnica del sistema energético del país. Esta variable se compone de la relación entre el Consumo Final de Energía y Consumo de Energía Primaria, es decir los flujos energéticos que aparecen a la izquierda y a la derecha respectivamente del diagrama de flujo.

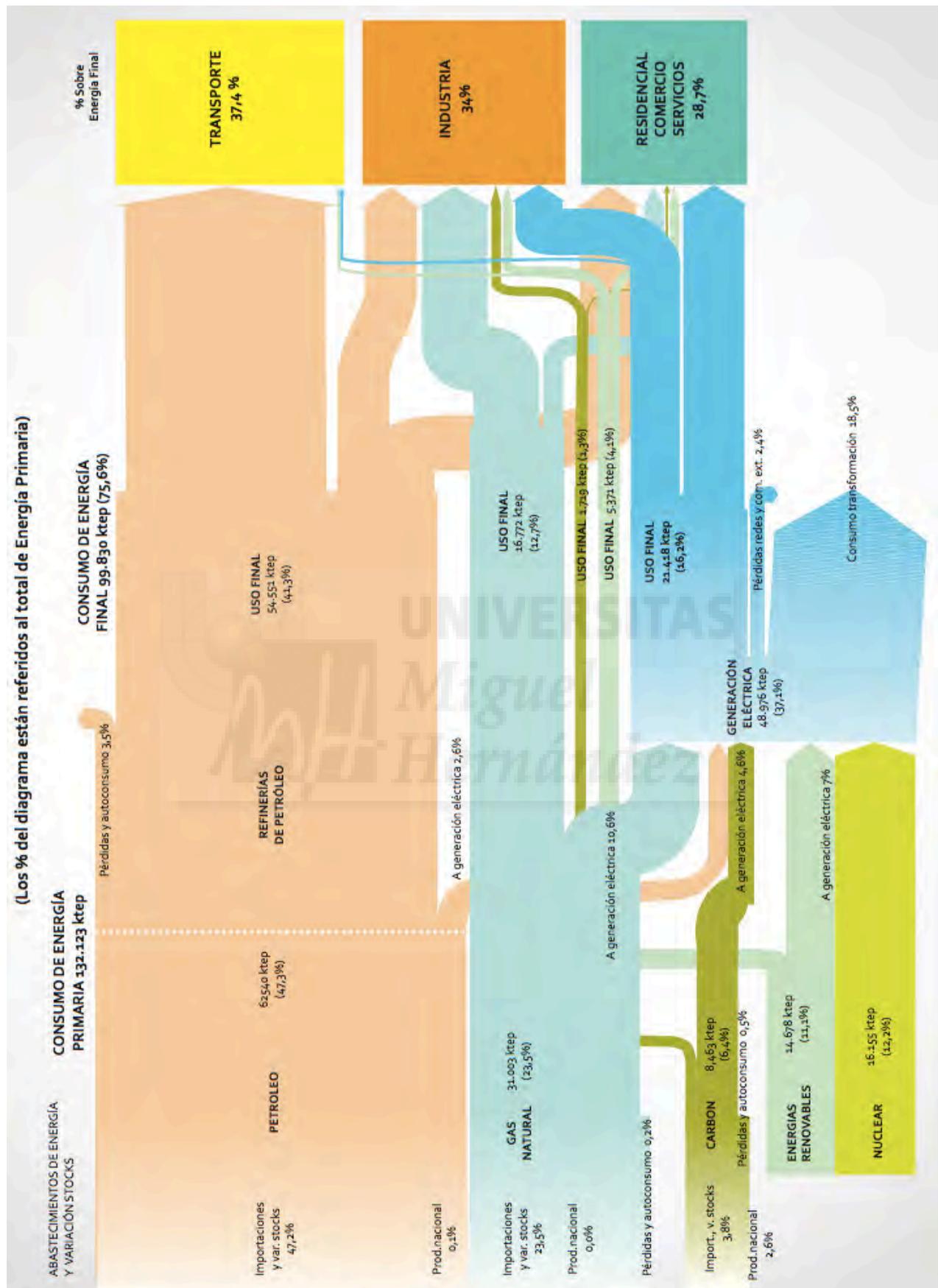


Figura 47. Diagrama de Sankey que muestra la coyuntura energética de 2010 en España (ktep). Fuente: (Secretaría de Estado de Energía - Ministerio de Industria. Gobierno de España, 2010)

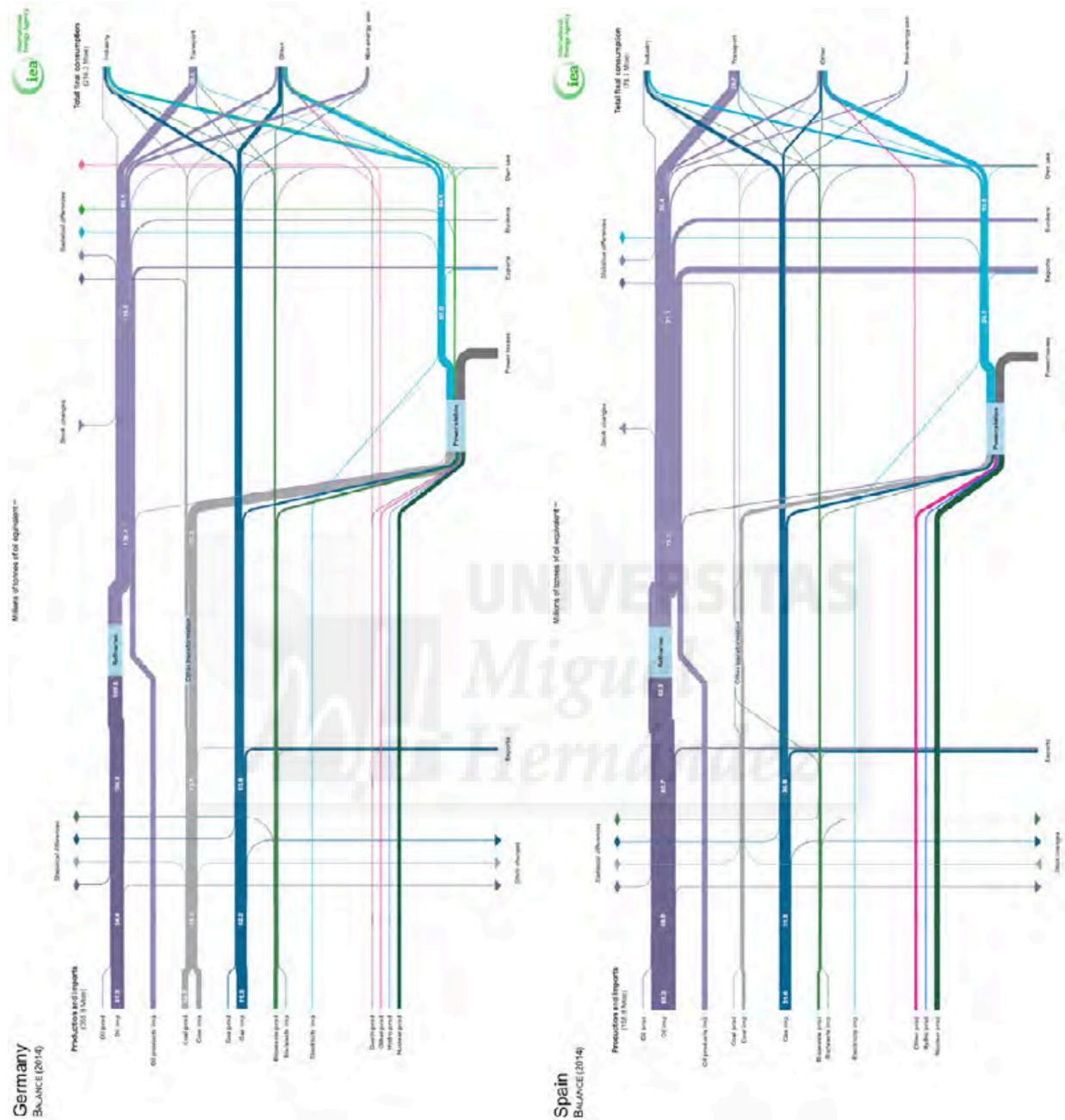


Figura 48. Diagramas de Sankey del balance energético en Alemania y España (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017)

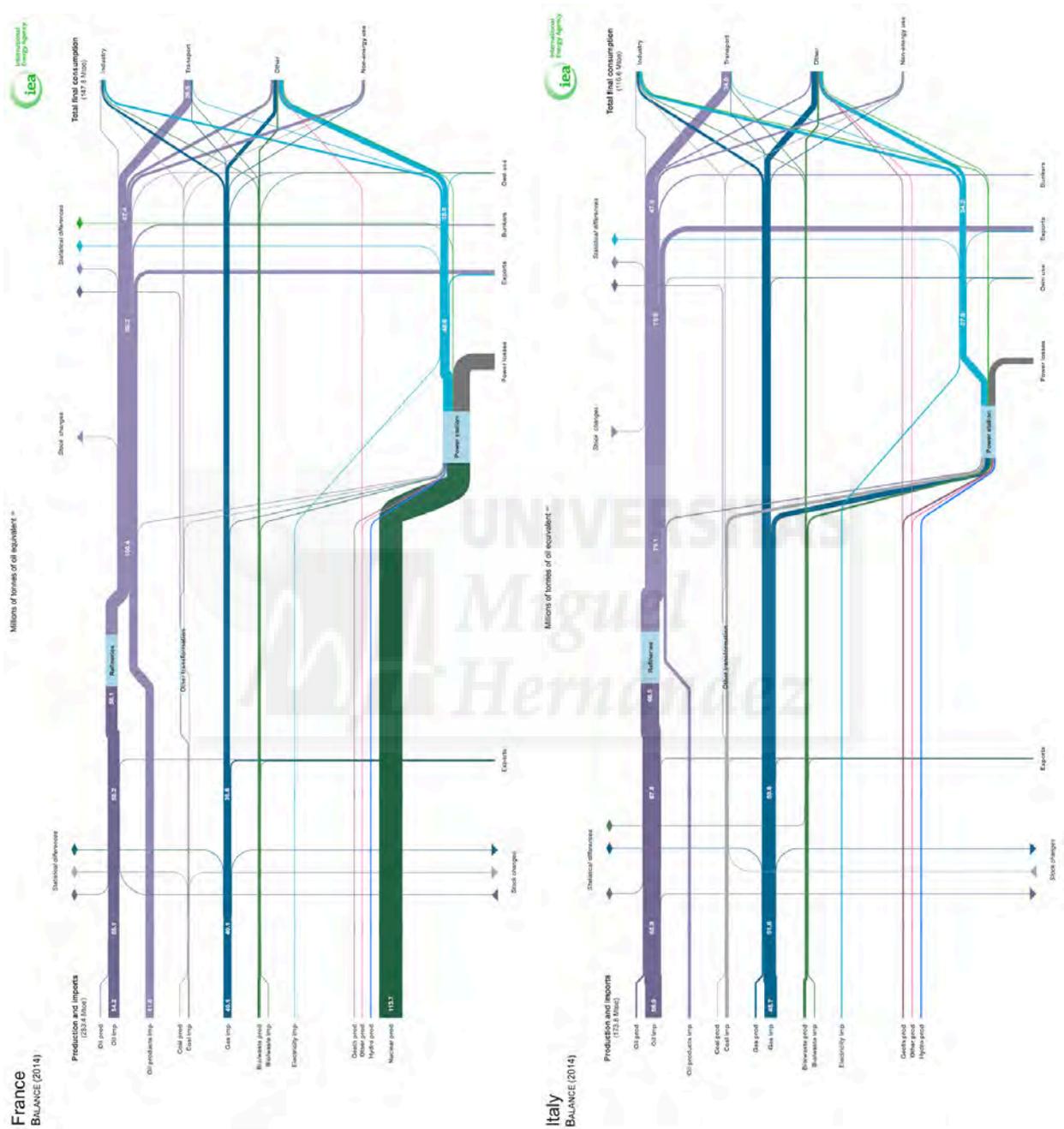


Figura 49. Diagramas de Sankey del balance energético en Francia e Italia (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017)

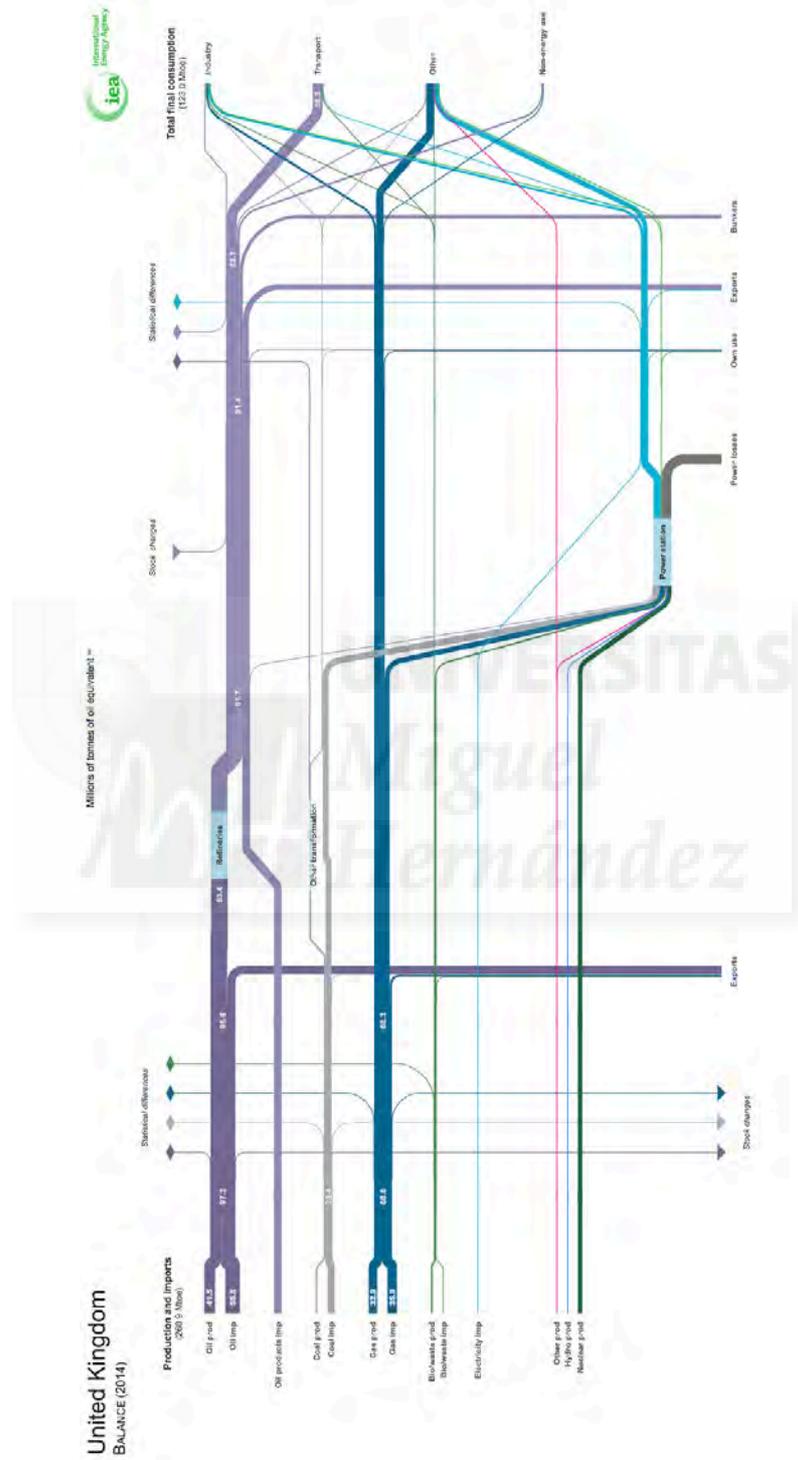


Figura 50. Diagrama de Sankey del balance energético en Reino Unido (Millones de tep). Fuente: (IEA - International Energy Agency - Statistics, 2017)

Observando la Figura 51, se muestra el ratio que relaciona Consumo Final de Energía y Consumo de Energía Primaria, que devuelve una variable que determina una métrica de la eficiencia “técnica” de las transformaciones energéticas del país, es decir, con qué eficiencia se transforma la energía que consume el país (petróleo, gas, obtención de electricidad, etc..) desde su origen primario a su consumo final, a esta relación se denominará **Intensidad Técnica** del sistema energético. Como se puede evidenciar en la Figura 46 y la Figura 47, el sector eléctrico contribuye en gran medida en el parámetro de Intensidad Técnica que será objeto de estudio en el Capítulo 4. Analizando los resultados en los países anteriores, se obtienen conclusiones interesantes: Italia obtiene un buen ratio, lo que demuestra la eficiencia en la segunda etapa de las transformaciones energéticas, es decir, el rendimiento de sus cadenas de suministro de la energía, la eficiencia en sus redes de distribución y transporte de energía eléctrica, su modelo de transporte y movilidad, su modelo de mix energético y de generación y distribución de gas y electricidad, en definitiva, devuelve un ratio de intensidad técnica muy elevada en comparación con el resto de países. En cambio Francia, presenta el valor mas bajo de intensidad técnica, quedando el resto en un rango intermedio.

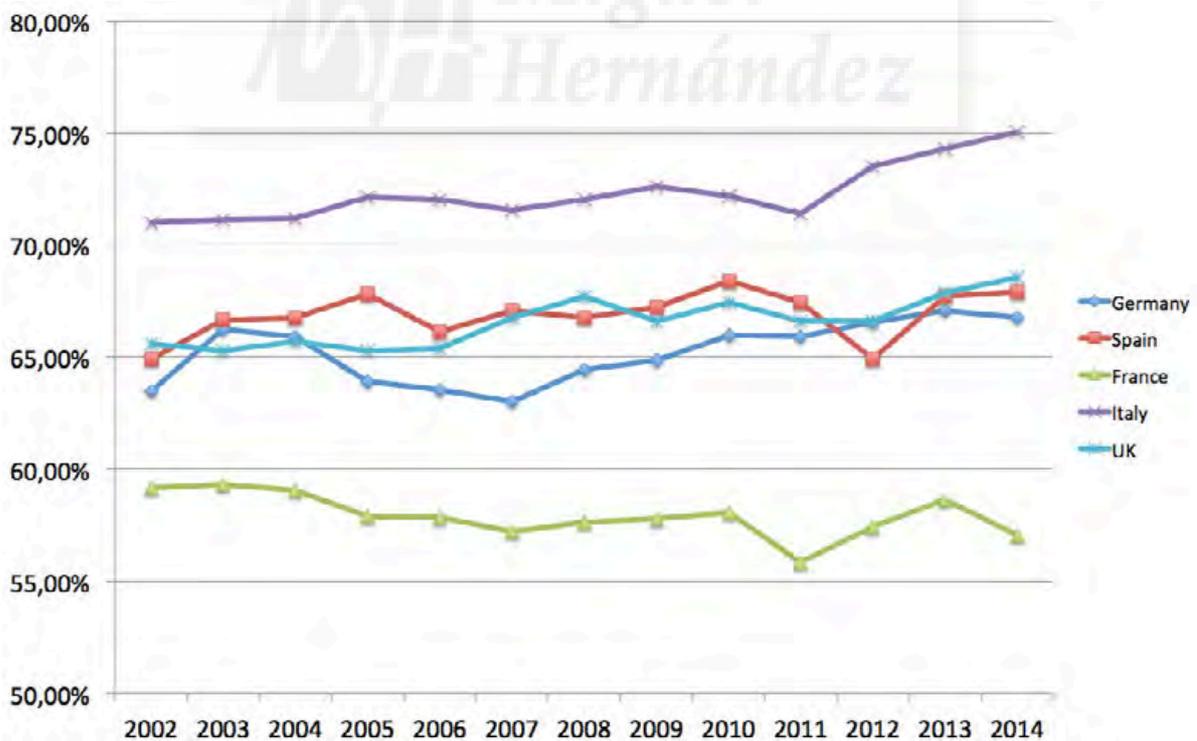


Figura 51. Representación de la Intensidad Técnica: Consumo Final de energía/Consumo de energía primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Una reflexión interesante expresa el informe de la Agencia Internacional de la Energía (OECD/IEA, 2015) sobre que la reducción constante durante los próximos 20 años de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el suministro de electricidad, expresando que no va a ir acompañada de un cambio igualmente rápido de los sectores de uso final, donde es mucho más difícil y caro reemplazar el carbón y el gas como combustibles para la industria, o el petróleo como combustible para el transporte. Por eso es importante analizar los diagramas flujo donde se pueden observar las carencias del mix energético así como establecer políticas para el desplazamiento de flujos desde su origen en concepto de consumo de energía primaria hasta su destino en concepto de Consumo final de energía.

Si se obtiene la correlación entre los dos ratios de eficiencia vistos hasta ahora (Intensidad Energética de la Economía e Intensidad Técnica del Sistema energético) según se muestra en la Figura 52, daría como resultado que en el cuadrante óptimo se situaría **Italia**, y en la peor situación se ubicaría **Francia**. El resto de países se situarían en la banda media de intensidad técnica, evolucionando todos hacia la alta eficiencia en su economía. Comparando los dos ratios se puede observar una correspondencia de comportamiento de los países en el cumplimiento de uno y otro ratio, es decir, si un país es eficiente desde el punto de vista de la eficiencia económica medida por la variable Intensidad Energética de la Economía (medida en términos la relación del Consumo de Energía Primaria/ PIB - Gross Inland Consumption/GDP) presumirá también de serlo desde la intensidad técnica (Consumo de Energía Primario / Consumo Final de Energía - GIC/FEC) y viceversa. También se cumple la regla que un país con baja productividad en alguno de los sectores o baja eficiencia de su economía en alguno de esos sectores, presumirá de unas eficiencias energética y técnica medias o bajas. Es importante destacar, atendiendo a la Figura 26, que en el cuadrante óptimo se encuentran los países con menor contribución de los derivados del petróleo en su Consumo de Energía Final del sector servicios de los países analizados (y con mayor contribución del consumo de gas en ese sector, que es el de mayor peso en el PIB), como son Italia y Reino Unido, siendo los países con mayor consumo de petróleo en el sector servicios y menor de gas, los que peor comportamiento presentan desde el punto de vista de la intensidad técnica y económica (Figura 52).

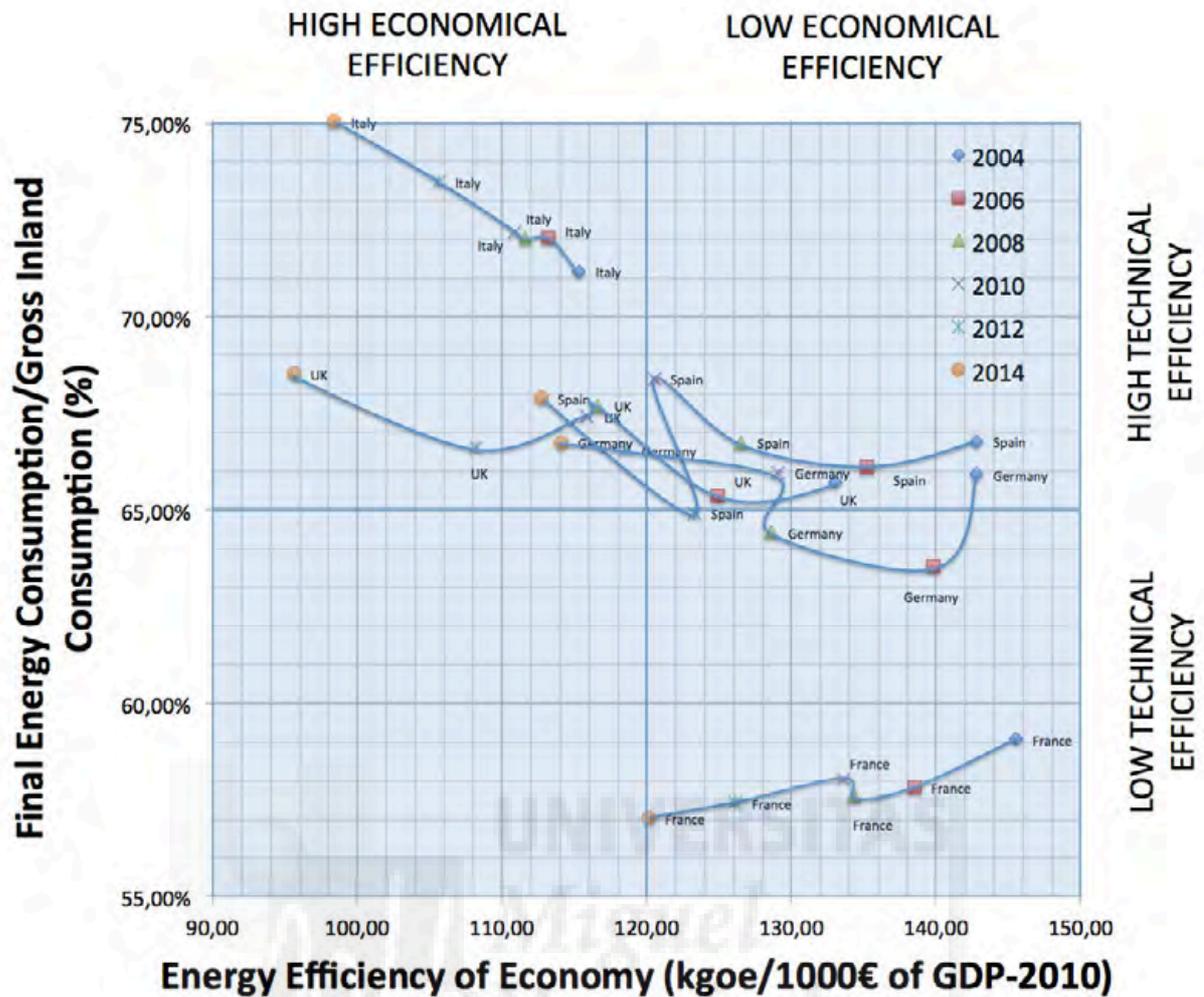


Figura 52. Comparación entre la Intensidad Energética de la Economía (Consumo de Energía Primaria/1000€ de PIB ref 2010) y la Intensidad Técnica del Sistema Energético - Demanda Final de Energía/Consumo de Energía Primaria (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

### 3.6 Indicadores de emisiones

En las distintas transformaciones energéticas, en los consumos de energía final, así como para los distintos procesos de producción y uso de los productos y servicios donde se consume algún tipo de energía, son susceptibles de generar algún tipo de emisión contaminante. De los denominados gases de efecto invernadero GEI<sup>26</sup>, cuya presencia en la atmósfera contribuye a la propagación del efecto invernadero, el CO<sub>2</sub> es responsable del 64% (Climate Change, 2017).

El ratio Intensidad de Emisiones de CO<sub>2</sub> se define como la relación entre las emisiones contaminantes de CO<sub>2</sub> producidas por un determinado país y el PIB de ese mismo país. Este indicador ofrece en términos cuantitativos las emisiones contaminantes que se generan para producir una unidad monetaria de PIB.

$$IE_{BM} = \frac{\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg CO}_2\text{)}}{\text{PIB (\$)}}$$

**Ecuación 10. Expresión matemática de la Intensidad de Emisiones de CO<sub>2</sub> según la metodología estadística utilizada por el Banco Mundial**

Las emisiones de dióxido de carbono definidas según la metodología de obtención del Banco Mundial (Banco Mundial, 2017) son las que provienen de la quema de combustibles fósiles y de la fabricación de cemento. Incluyen el dióxido de carbono producido durante el consumo de combustibles sólidos, líquidos, gaseosos y la quema de gas.

---

<sup>26</sup> Las Gases Efecto Invernadero (GEI o GHG en inglés), responsables del efecto que lleva su nombre son los siguientes: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y los gases fluorados de efecto invernadero (hidrofluorocarbonos – HFC, sulfuro de hexafluorido – SF<sub>6</sub>, perfluorocarbonos – PFC, clorofluorocarbonos – CFC), (Climate Change, 2017)

Según se muestra en la Figura 53, estableciendo una comparativa general entre el PIB per cápita y la Intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> (relación entre los kilogramos de emisiones de CO<sub>2</sub> y el PIB) se obtiene una representación en la que se pueden identificar dos grandes ámbitos: por un lado los países más desarrollados con un mayor PIB per cápita se concentran en unas emisiones entre 0,15 y 0,30 kgCO<sub>2</sub>/US\$, entre ellos, los países en estudio. Los países menos desarrollados, con un PIB per cápita por debajo de 20.000 US\$ se concentran en la zona entre 0,30 y 0,80 kgCO<sub>2</sub>/US\$. Por tanto, todo ello es indicativo de la fuerte relación existente entre el PIB y las emisiones, lo que refuerza la teoría de los tres pilares de la sostenibilidad energética y la Curva Medioambiental de Kuznets (CKA).

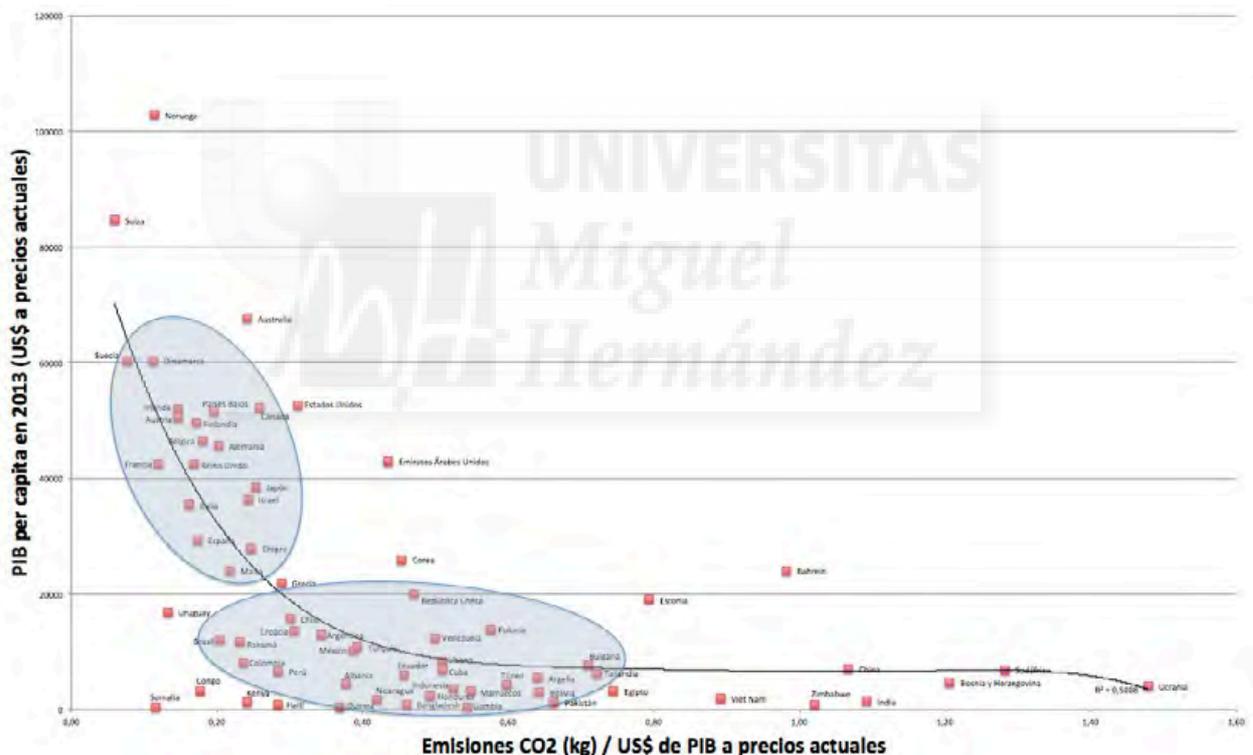


Figura 53. Representación de PIB per cápita y su relación con la Intensidad de Emisiones (kg de emisiones de CO<sub>2</sub>/PIB en US\$) en 2013. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia

En la Figura 54 se muestra el total de emisiones de Gases Efecto Invernadero en los 5 países europeos considerados en el estudio (en kilogramos equivalentes de CO<sub>2</sub>). Como se puede observar Alemania se desmarca del resto de países colocándose en cabeza, contribuyendo con el 20% de los GEI del total de los 28 países miembros de la Unión Europea (EUROSTAT - European Commission, 2016). A gran distancia se encuentra Reino Unido seguido de Francia e Italia con patrones casi idénticos y por último España, que se proclama como país menos contaminante, aspecto éste último que no será indicativo de sostenibilidad por sí solo. Por último apuntar que se está estableciendo el ratio en esta figura tomando el total de Gases Efecto Invernadero en equivalentes de CO<sub>2</sub>, ya que se está agregando el comportamiento contaminante del país y por tanto, la agregación de emisiones debe existir también, sobretodo para establecer, como se verá seguidamente, su relación con la población. Para estudios más en detalle se puede establecer una desagregación por sectores productivos con una desagregación proporcional de emisiones en función de cada sector, como se podrá observar más adelante.

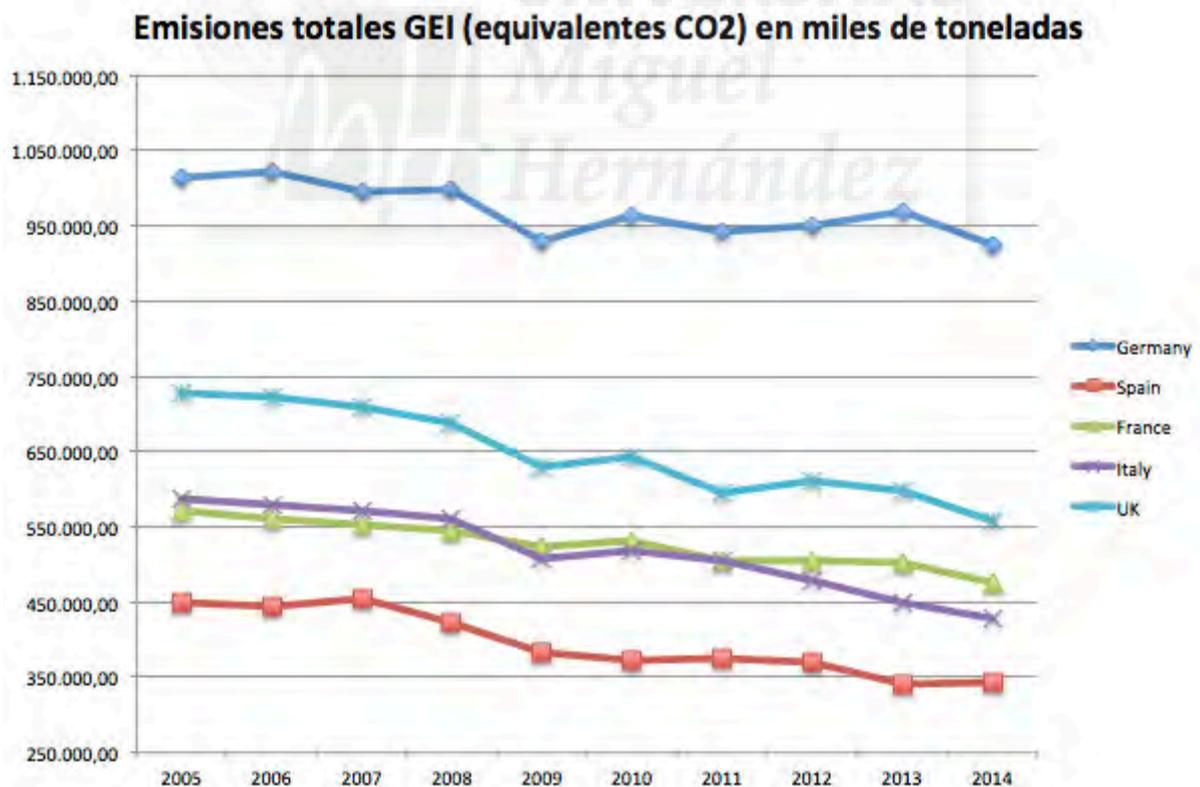


Figura 54. Emisiones totales de Gases efecto invernadero (Miles de Toneladas). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

La variable obtenida a través de la relación entre las emisiones de GEI y la población amortiguan el comportamiento de las emisiones consideradas individualmente y ayudarán a establecer un ratio de referencia para establecer las comparaciones, tal y como se muestra en la siguiente figura. Como se puede observar, sorprende la convergencia de Italia, España y Francia, que aunque tenían emisiones similares, convergen hacia 7,0 y 7,4 toneladas de CO<sub>2</sub> por habitante, algo más alejado Reino Unido con 8,7 llegando Alemania a los 11,4 en 2014 (ver Figura 55).

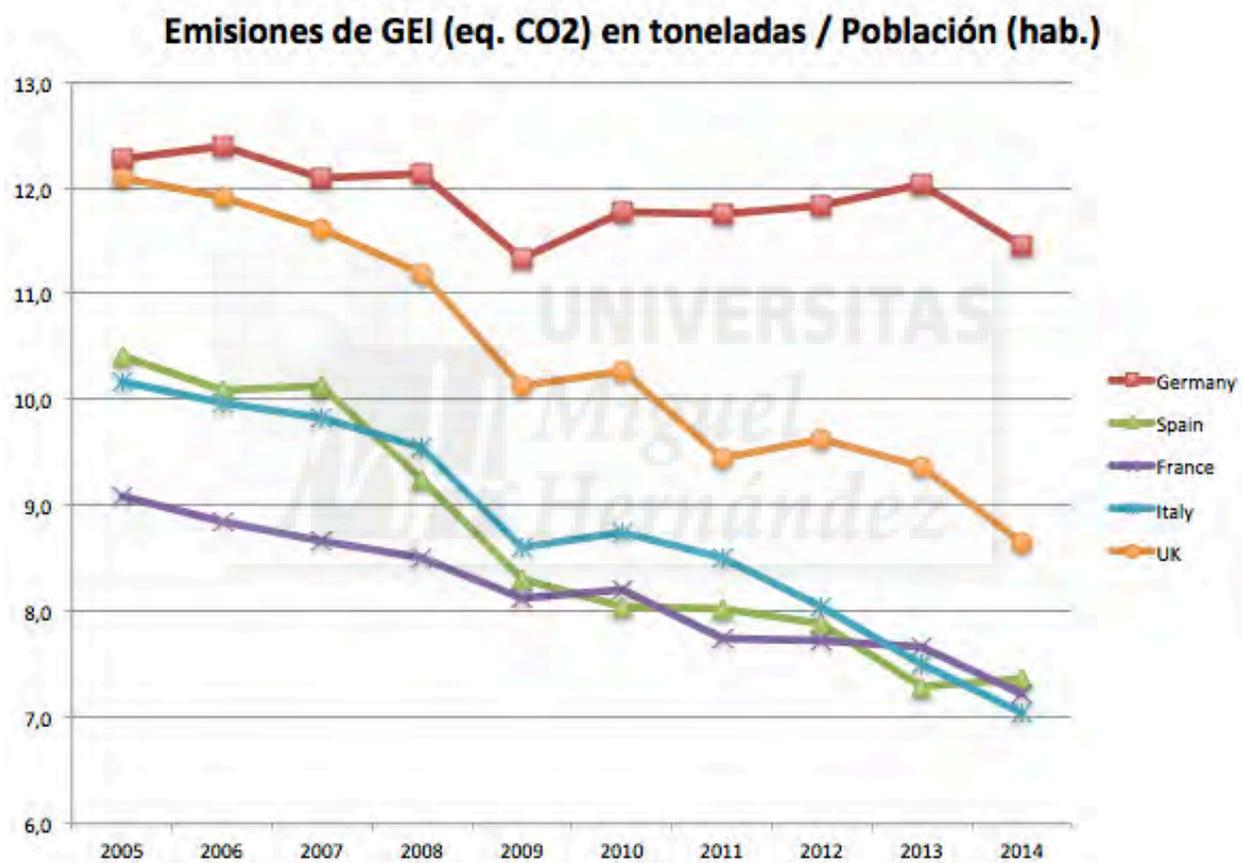


Figura 55. Representación de la relación entre Emisiones de GEI (eq. de CO<sub>2</sub>) en toneladas y la población. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Finalmente, el análisis que explicará si existe desacoplamiento entre las dimensiones de emisiones y crecimiento económico será el análisis de correlación entre la variable que representa a las emisiones y la variable que representa el crecimiento económico como es el PIB. A partir de esa correlación se podrá determinar si existe una verdadera sostenibilidad energética. Para la agregación de estas emisiones se considerará las emisiones de CO<sub>2</sub> exclusivamente, ya que representan el 64% del total de las emisiones y aún mayor en países industrializados (más del 80%) y están ligadas directamente a la actividad económica y por tanto al PIB.

$$IE_{UE} = \frac{\text{Emisiones de CO}_2 \text{ (kg CO}_2\text{)}}{\text{PIB (€)}}$$

**Ecuación 11. Expresión matemática de la Intensidad de Emisiones de CO<sub>2</sub> según la metodología estadística utilizada por EUROSTAT**

Para finalizar, indicar que el análisis de correlación que se va a establecer será doble. Por un lado se evaluará la correlación existente entre la Intensidad de Emisiones de CO<sub>2</sub> (kgCO<sub>2</sub>/€) según la metodología de EUROSTAT y el PIB per cápita (€/habitante). Por otro lado también se establece un análisis de la correlación entre Emisiones Totales de CO<sub>2</sub> (toneladas) y el PIB (€). A continuación se muestran la Figura 56 y la Figura 57 con los resultados obtenidos.

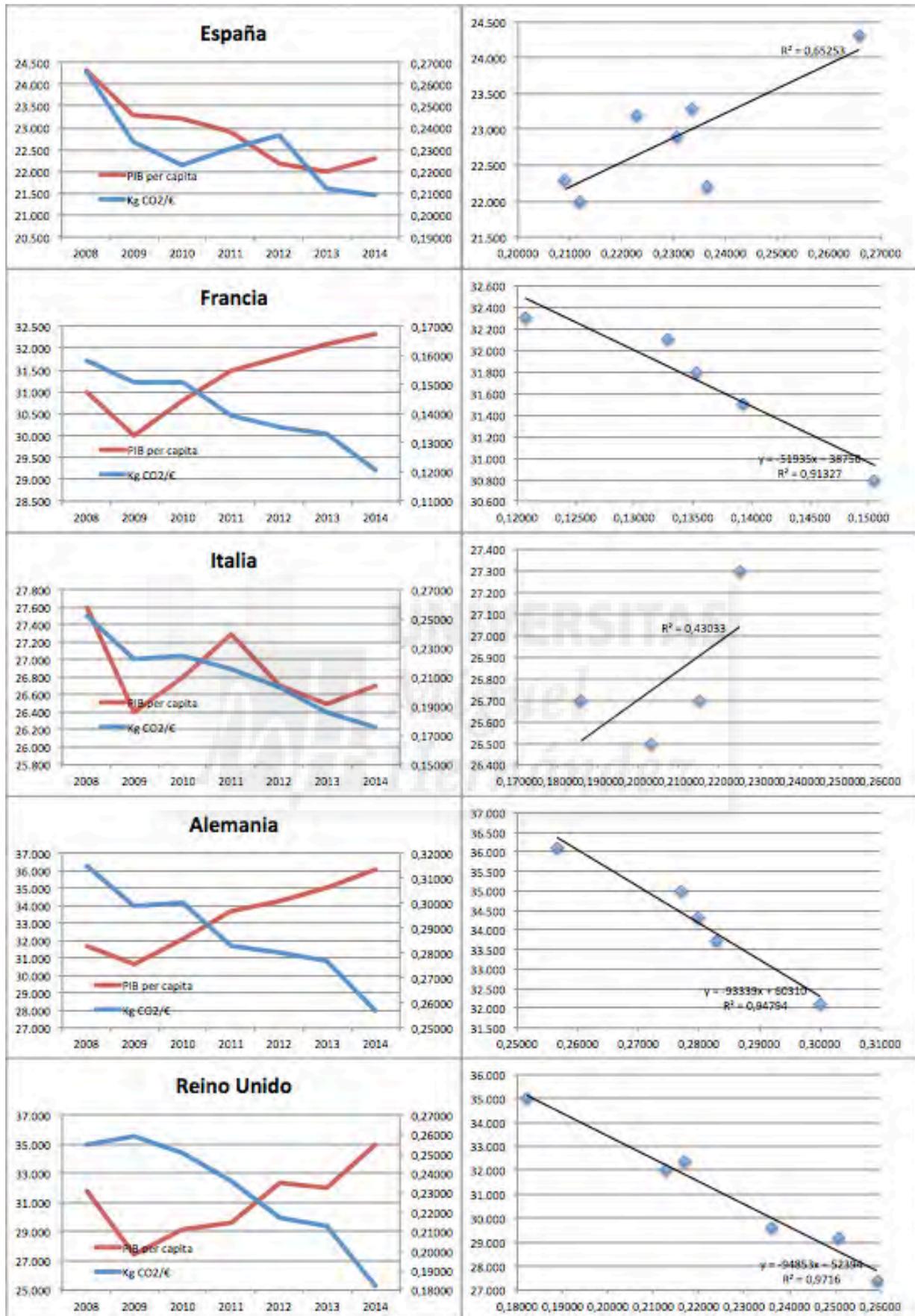


Figura 56. Relación entre Intensidad de Emisiones de CO<sub>2</sub> (KgCO<sub>2</sub>/€ de PIB) y PIB per cápita. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

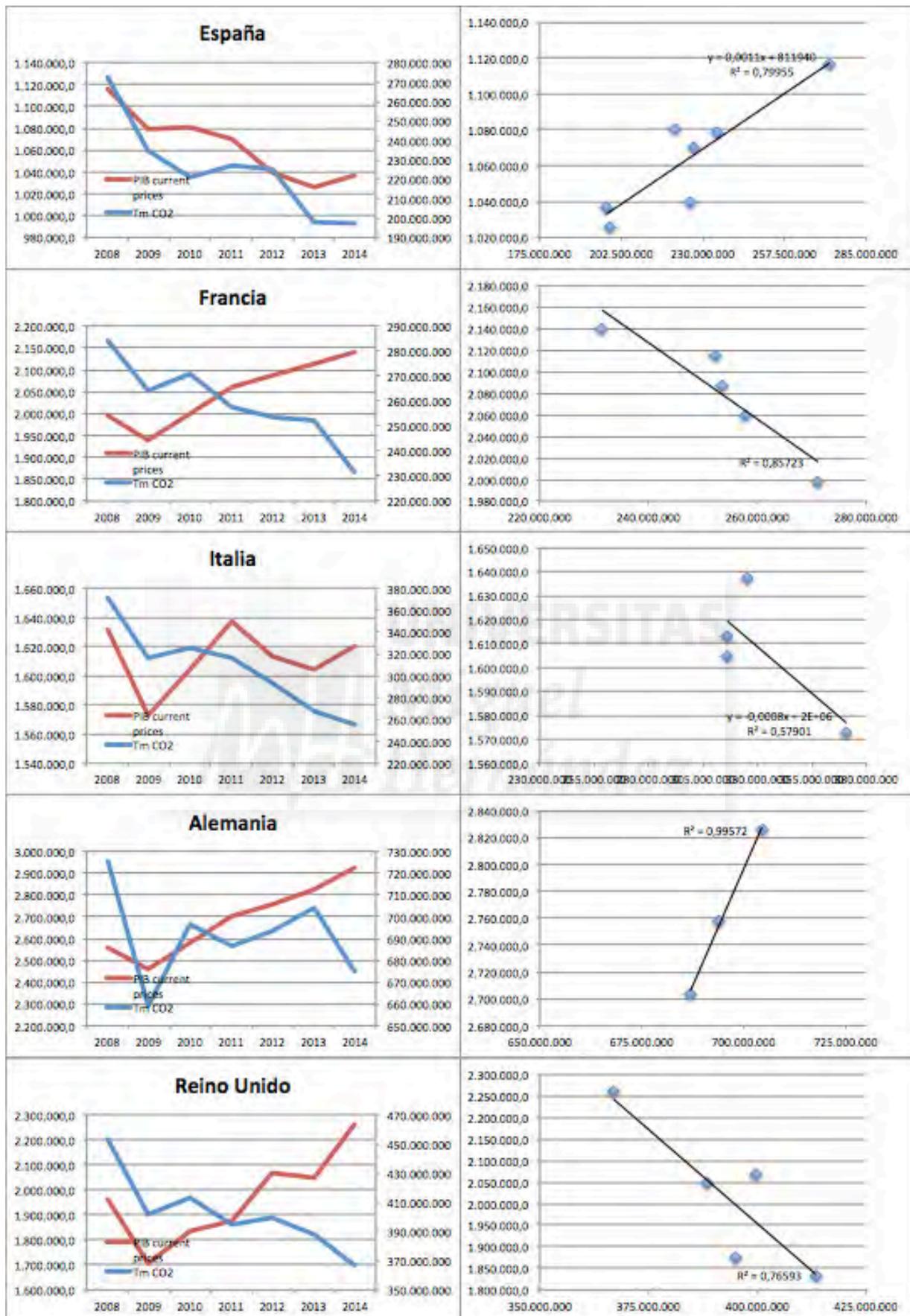


Figura 57. Relación entre Emisiones de CO2 (toneladas) y PIB (€) a precios corrientes. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Tabla 7. Resumen de la correlación existente entre Intensidad de Emisiones (kgCO<sub>2</sub>/€) y PIB per cápita (€/habitante) así como entre Emisiones (Tm) y PIB (€)

País	Coefficiente Determinación (Intensidad Emisiones y PIB per cápita)	Coefficiente Determinación (Emisiones CO <sub>2</sub> y PIB)	Coefficiente Correlación (Intensidad Emisiones y PIB per cápita)	Coefficiente Correlación (Emisiones CO <sub>2</sub> y PIB)	Ecuación de regresión
Alemania	0,94794	0,99572	<b>0,97362</b>	0,99786*	$y_{i1} = 60310 - 93339x_{i1}$
España	0,65253	0,79955	0,80779	<b>0,89418</b>	$y_{i2} = 811940 + 0,0011x_{i2}$
Francia	0,91327	0,85723	<b>0,95565</b>	0,92587	$y_{i3} = 38750 - 51935x_{i3}$
Italia	0,43033	0,57901	0,65600**	<b>0,76093**</b>	$y_{i4} = 2 \cdot 10^6 - 0,0008x_{i3}$
UK	0,9716	0,76593	<b>0,98570</b>	0,87517	$y_{i5} = 52394 - 94853x_i$

\*Nota: aunque esta serie presenta una mayor correlación, se descarta finalmente porque el tamaño de muestra no es representativo tras la eliminación de valores anómalos.

\*\*Nota: las series analizadas no se consideran estadísticamente significativas porque el tamaño de la muestra no permite establecer un umbral de confianza

La Tabla 7 se exponen los resultados de la correlación realizada en las figuras anteriores. Como se puede observar, existe una muy elevada correlación en la mayoría de los países analizados, tanto desde el punto de vista de variables relativas (intensidad de emisiones y PIB per cápita) como absolutas (emisiones y PIB). Por tanto, cualquiera de ellas podría utilizarse a priori con el mismo nivel de significación, excepto en Alemania e Italia, cuyo tamaño de muestra no permiten establecer conclusiones claras en las series de datos analizadas.

El modelo energético tradicional y vinculado de forma notable a una dependencia energética mayoritariamente sostenida en los combustibles fósiles, tiene la característica de que el crecimiento económico vendrá a producir un aumento en la demanda de energía y por tanto un aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>. En otro sentido, una reducción de la actividad económica, debe producir una reducción de las emisiones al tiempo que una reducción también de la demanda energética. No obstante, un comportamiento sostenible de las economías, las emisiones y la demanda de energía vendrá claramente definido durante un proceso positivo de crecimiento, que vendrá acompañado de reducciones en las emisiones y en la demanda de energía. En caso de un decrecimiento de la actividad económica, no puede considerarse un comportamiento sostenible a priori desde el punto de vista que no generará prosperidad para la sociedad, sin entrar a valorar si la

proporcionalidad de las reducciones de emisiones o demanda de energía, son consideradas fuente de una sostenibilidad, aunque sea decreciente. Por tanto, este último escenario tiene su mejor exponente con **España**, al que podríamos denominar como el mejor ejemplo de escenario “no sostenible”, propio de economías excesivamente dependientes de los combustibles fósiles, en países industrializados y con un despliegue de medidas de eficiencia energética deficiente. Normalmente estos países devolverán una Intensidad Energética de la Economía (IEE) de nivel bajo. La homogeneidad de resultados en España indica una fuerte vinculación tanto en términos absolutos con la correlación de su PIB con sus emisiones de CO<sub>2</sub>, y en términos relativos con la intensidad de emisiones con el PIB per cápita. Por tanto existe una clara vinculación de la reducción de emisiones, con la reducción de demanda de energía (ver apartado 3.4 Indicadores de seguridad de suministro y demanda de energía) y la reducción del PIB. Si bien es cierto que habría que estudiar un rango de observación en el que existiese aumento de PIB para poder estudiar la disociación completa, pero lo que se puede evidenciar claramente es que la reducción de demanda de energía y emisiones se debe a la reducción de la actividad económica y no a indicadores de sostenibilidad energética.

Caso contrario ocurre con **Francia**, tanto en términos relativos como absolutos, demuestra un claro comportamiento hacia la disociación del crecimiento del PIB y las emisiones, que unido al análisis del apartado 3.4 sobre Indicadores de seguridad de suministro y demanda de energía, demuestra una fuerte disociación entre las tres dimensiones, por lo que se trata claramente y con una gran homogeneidad de un comportamiento de clara sostenibilidad energética. Este hecho contrasta con unos valores de Intensidad Energética de la Economía (IEE) de Intensidad Técnica del sistema energético (IT<sub>SE</sub>) excesivamente pobres, como se verá más adelante, lo que induce a concluir que un valor reducido en esos ratios, no significará que el país se comporte de una manera no sostenible.

Con respecto a **Italia**, aun existiendo una correlación entre PIB y demanda de energía, no resulta concluyente la misma, tanto en las variables relativas como absolutas, fundamentalmente por la reducida muestra analizada y porque aparecen datos con demasiada variabilidad para establecer una conclusión tan sólida como en los dos casos anteriores. En cualquier caso es destacable los buenos resultados que ofrecerá en su

Intensidad Energética de la Economía (IEE) y su Intensidad Técnica del sistema energético ( $IT_{SE}$ ), como se verá más adelante, los cuales se presentan como los mejores del grupo.

**Alemania**, sólo presenta resultados concluyentes en la correlación de sus variables relativas (Intensidad de emisiones y PIB per cápita) con el segundo mejor coeficiente de correlación detrás de Reino Unido, demostrando una clara sostenibilidad. Aunque la correlación de su dependencia energética exterior y crecimiento del PIB es menor, la tendencia sostenible es muy clara hacia la reducción en su demanda de energía y el aumento del PIB, aunque su modelo de crecimiento todavía presenta una fuerte vinculación al consumo de combustibles fósiles. Respecto a la correlación de la dependencia energética exterior con el PIB es la única dimensión que presenta insostenibilidad.

Por último, **Reino Unido** demuestra una clara disociación muy homogénea de sus emisiones con PIB, tanto en términos absolutos como en relativos, por lo que se muestra muy claramente la sostenibilidad en esas dimensiones. Analizando el PIB y la demanda de energía, se observa un gradual empeoramiento de su dependencia energética exterior, pero al tiempo una reducción en sus necesidades de energía primaria, que aún con escasa correlación (debido a la necesidad de un rango de datos más estable) se muestra como disocia también esa variable. Por tanto, se trataría también de un claro ejemplo de sostenibilidad energética, no tan contundente como en Francia, pero con una clara disociación entre las tres dimensiones de la sostenibilidad energética: emisiones, crecimiento económico y demanda de energía. Como se podrá evidenciar más adelante, **Francia y Reino Unido** serán los países con mejor comportamiento sostenible del modelo de indicadores propuestos, muy en la línea con las conclusiones establecidas en los apartados 3.3 Indicadores de crecimiento económico y productividad, 3.4 Indicadores de seguridad de suministro y demanda de energía y 3.6 Indicadores de emisiones, es decir, los correspondientes a los tres pilares de la sostenibilidad energética.

### 3.7 Indicadores de equidad social y acceso a la energía

Resulta un ámbito muy necesario de analizar ya que el comportamiento de los individuos, su educación, su formación, su cultura y sus hábitos y costumbres son determinantes para las necesidades de energía desde el punto de vista de la demanda. Consultar la voz del usuario de energía requiere de información transparente que trascienda a todos los estamentos sociales de individuos. Para evaluar el acceso a la energía en general y a servicios energéticos modernos y en equidad en particular, es necesario establecer un punto de partida definiendo el acceso a la energía en condiciones sostenibles. Aquí más que en cualquier otro ámbito de la sostenibilidad energética, adquiere mucha relevancia el concepto de sostenibilidad local (Naredo, 1996), debido a que debe enfocarse a satisfacer unas necesidades humanas determinadas cuando existen unos contrastes territoriales, culturales y sociales globales muy amplios. Esas marcadas diferencias entre distintos territorios enfocan el que los organismos internacionales impulsen una redistribución de la riqueza que permita mejorar la sostenibilidad global. Por tanto, indicadores de riqueza como el PIB adquieren lógicamente una gran relevancia en el análisis, pero el enfoque más que a través de las teorías economicistas sobre la economía social (Pigou, 1920) o sobre la intervención pública para la redistribución de la riqueza (Keynes, 1936), es necesario establecerse en la dimensión del desarrollo social: esperanza y calidad de vida, nivel de alfabetización, desigualdades, pobreza, grado de felicidad o incluso libertades (Sen, 1999).

Precisamente, el acceso a la energía para satisfacer las necesidades humanas básicas es la iniciativa planteada desde Naciones Unidas en 2012 para impulsar el Año Internacional de la Energía Sostenible para Todos (UN - Secretario General, 2011). Esta iniciativa pretende lograr tres objetivos para el año 2030: por un lado asegurar el acceso universal a servicios de energía modernos, así como también duplicar la tasa de mejora en la eficiencia energética y duplicar la cuota en el uso de energía de naturaleza renovable a nivel mundial. Precisamente en diciembre de 2014, el informe “El camino hacia la dignidad para 2030” (UN - Secretario General, 2014) plantea una continuidad para el programa de desarrollo sostenible de Naciones Unidas, iniciado con los Objetivos del Milenio (UN - Millennium Project, 2005) para después de 2015, exponiendo seis claves fundamentales sobre las que alcanzar los objetivos de desarrollo: 1º dignidad: poniendo fin a la pobreza y luchando contra las desigualdades, 2º prosperidad: incluyendo un crecimiento económico sostenible,

3º justicia: promoviendo sociedades seguras y en paz e instituciones fuertes, 4º cooperación: catalizando la solidaridad global para el desarrollo sostenible, 5º planeta: protegiendo los ecosistemas para todas las sociedades, 6º personas: asegurando los hábitos saludables, el conocimiento y la inclusión de mujeres y niños. Todos estos elementos configuran la base de trabajo para lograr los diecisiete objetivos de Desarrollo Sostenible marcados por Naciones Unidas (Figura 58).



**Objetivos de desarrollo sostenible**

- Objetivo 1. Poner fin a la pobreza en todas sus formas y en todo el mundo
- Objetivo 2. Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible
- Objetivo 3. Garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades
- Objetivo 4. Garantizar una educación inclusiva y equitativa de calidad y promover oportunidades de aprendizaje permanente para todos
- Objetivo 5. Lograr la igualdad de género y empoderar a todas las mujeres y las niñas
- Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos
- Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos
- Objetivo 8. Promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos
- Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización inclusiva y sostenible y fomentar la innovación
- Objetivo 10. Reducir la desigualdad en los países y entre ellos
- Objetivo 11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles
- Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles
- Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos\*
- Objetivo 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo sostenible
- Objetivo 15. Proteger, restablecer y promover el uso sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras y detener la pérdida de biodiversidad
- Objetivo 16. Promover sociedades pacíficas e inclusivas para el desarrollo sostenible, facilitar el acceso a la justicia para todos y construir a todos los niveles instituciones eficaces e inclusivas que rindan cuentas
- Objetivo 17. Fortalecer los medios de implementación y revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible

\* Reconociendo que la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático es el principal foro intergubernamental internacional para negociar la respuesta mundial al cambio climático.

Figura 58. Los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS). Fuente: (UN - Resolución de la Asamblea General de 25 de septiembre, 2015)

Posteriormente, en septiembre de 2015, se aprueba la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible (UN - Resolución de la Asamblea General de 25 de septiembre, 2015) en el que se definen los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible <sup>27</sup>(ODS), pero no será hasta el 1 de enero de 2016 cuando entran en vigor. Concretamente el objetivo número siete, se enfoca hacia la energía: garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos, definiéndose una metas muy claras para 2030: garantizar el acceso universal a servicios de energía asequibles, confiables y modernos; aumentar sustancialmente el porcentaje de la energía renovable en el conjunto de fuentes de energía; duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética; aumentar la cooperación internacional a fin de facilitar el acceso a la investigación para el desarrollo de tecnologías no contaminantes; y por último ampliar la infraestructura y mejorar la tecnología para prestar servicios de energía modernos y sostenibles para todos en los países en desarrollo. No obstante, el desarrollo e implantación de estadísticas y datos no se encuentran desarrollados por el momento, por lo que no se podrán analizar indicadores en el presente trabajo que provengan del objetivo ODS número siete.

Es paradójico que en diferentes indicadores sociales como por ejemplo en el Índice de Desarrollo Humano<sup>28</sup> (IDH) se incluyan factores económicos como el PIB per cápita y demostrada su correlación (Nieto, 2011) (Diaz, 2011), pero está ampliamente demostrado que el PIB no refleja realmente la medida del bienestar ya que no tiene en cuenta por ejemplo los costes medioambientales de la actividad productiva, no informa sobre el grado de desigualdad en la distribución de los ingresos, no contabiliza la variación de riqueza acumulada ni la degradación de los recursos naturales, no computa determinadas actividades realizadas fuera del mercado que son cruciales para el bienestar, puede no ser fuente de sostenibilidad (crecer en el presente a costa del bienestar futuro), no mide

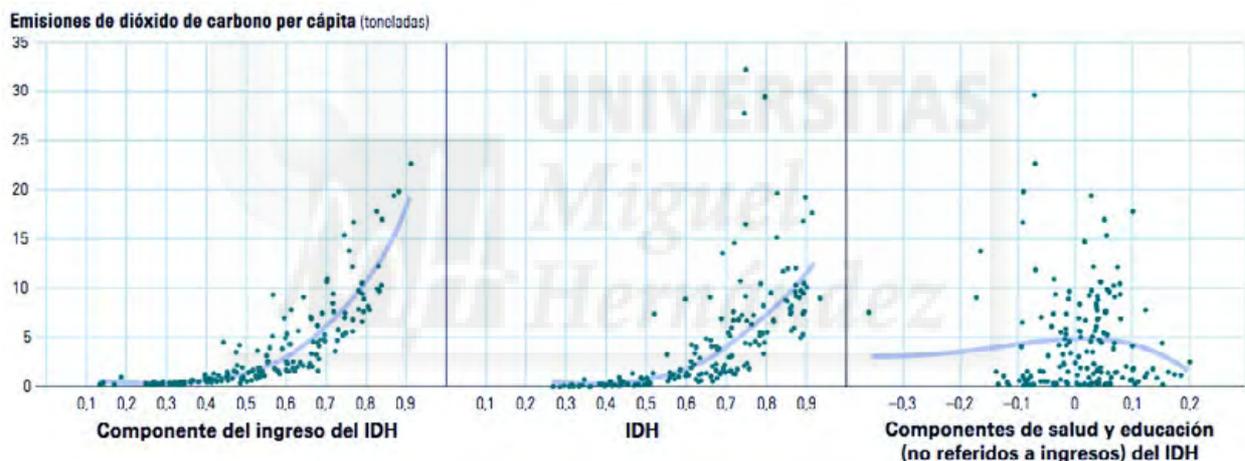
---

<sup>27</sup> Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) aprovechan la inercia de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) (UN - Millenium Project, 2005) para tratar de reforzar la implicación de todas las naciones en poner fin a la pobreza, instando a que adopten medidas para promover la prosperidad al tiempo que proteger el planeta. El grupo de promotores de los ODS fue presentado oficialmente el pasado 21 de enero de 2016 en el Foro Económico Mundial en Davos, Suiza. Habida cuenta que los ODS no son de obligado cumplimiento, se espera que los gobiernos los consideren como propios y establezcan marcos de trabajo nacionales para la monitorización y recopilación de datos de calidad.

<sup>28</sup> El Índice de Desarrollo Humano (IDH) es un indicador de los logros medios obtenidos en las dimensiones fundamentales del desarrollo humano: tener una vida larga y saludable, adquirir conocimientos y disfrutar de un nivel de vida digno. El IDH es la media geométrica de los índices normalizados de cada una de las tres dimensiones (UNDP - United Nations Development Programme, 2017). La dimensión de la salud se evalúa según la esperanza de vida al nacer, y la de la educación por los años de escolarización, así como a través del Ingreso Nacional Bruto per cápita, la dimensión del nivel de vida. Es habitual la corrección del índice incorporando el concepto de desigualdad (IDHD).

aspectos que quedan fuera del mercado y que en los países de elevada renta se valoran cada vez más como el tiempo libre y el ocio (IVIE - Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas, 2010).

Por tanto, el IDH no se puede considerar por sí solo un índice adecuado para evaluar el grado de acceso a la energía en equidad, no obstante, es un indicador muy utilizado desde los años 90 para evaluar desde la dimensión social la prosperidad de los seres humanos. Igualmente, al igual que ocurre con el PIB, las emisiones de CO<sub>2</sub> per cápita (UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano, 2011) y la Huella de Carbono (WWF - World Wide Fund for Nature, 2010), tienen una fuerte correlación con el IDH, aunque nulas con las otras dos dimensiones del IDH: salud y educación (ver Figura 59).



**Figura 59. Correlación de las emisiones de CO<sub>2</sub> con la dimensión de ingresos del IDH (izquierda), con el IDH general (centro) y con las dimensiones de salud y educación del IDH (derecha). Fuente: (UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano, 2011)**

Por otro lado, el grado de acceso de la población a la electricidad, tal y como se observa en la Figura 60, puede ser una primera variable discriminadora para establecer el alcance de países a estudiar. Respecto a los países desarrollados no se pueden establecer conclusiones, ya que en todos ellos presentan el 100% de acceso, aunque sí serviría para aquellos países en vías de desarrollo o aquellos países con un alto nivel de empobrecimiento.

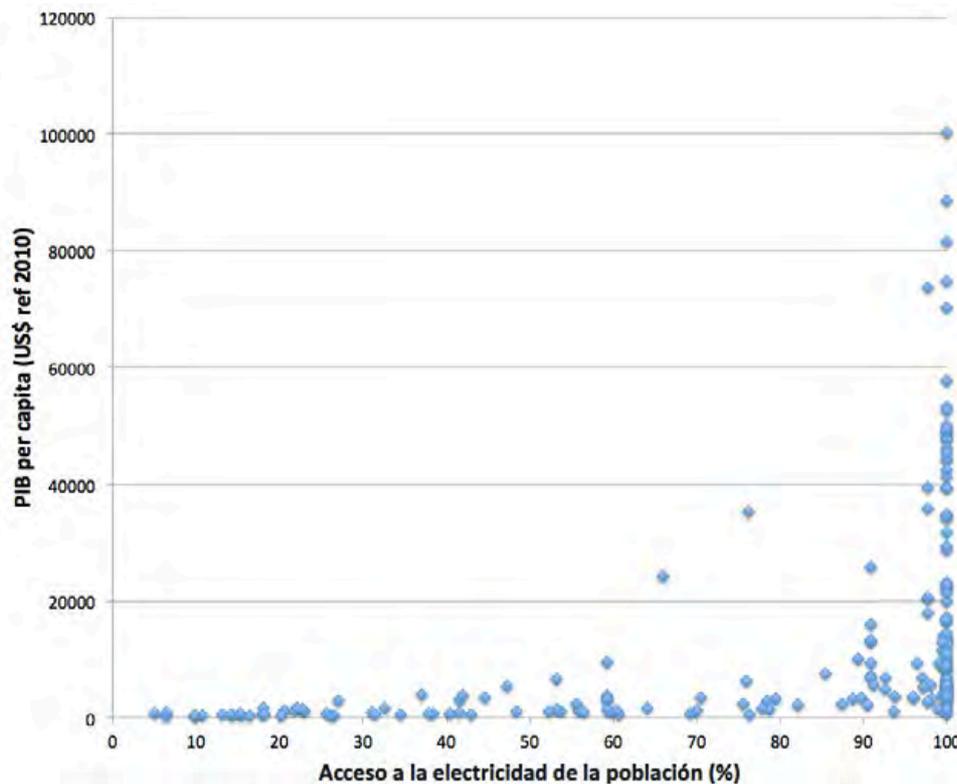


Figura 60. Correlación entre PIB per capita (US\$ a precios corrientes ref 2010) y Porcentaje de la población con acceso a la electricidad. Fuente: (Banco Mundial, 2017) y elaboración propia

Los avances en materia de desarrollo de variables para monitorizar el bienestar de las naciones se enfocan hacia evaluar indicadores que abandonen la medida de la riqueza como una variable absoluta del progreso social. El Social Progress Imperative (SPI) es una iniciativa que define el progreso social como la forma en que una sociedad o comunidad es capaz de satisfacer las necesidades básicas que permitan mejorar la calidad de vida de sus ciudadanos impulsando las condiciones para extraer de los individuos todo su potencial, y lo que es más innovador, dejando a un lado los factores económicos (Social Progress Imperative, 2017). El indicador que lo mide se denomina Índice de Progreso Social (del inglés Social Progress Index – SPI) y mide el desempeño en una escala de 0 a 100 a través de 52 indicadores agrupados en tres ámbitos: evaluar las necesidades básicas, analizar si se establecen unas bases fundamentales para mejorar las calidad de vida de los individuos y si existen oportunidades para prosperar en la sociedad (Figura 61).

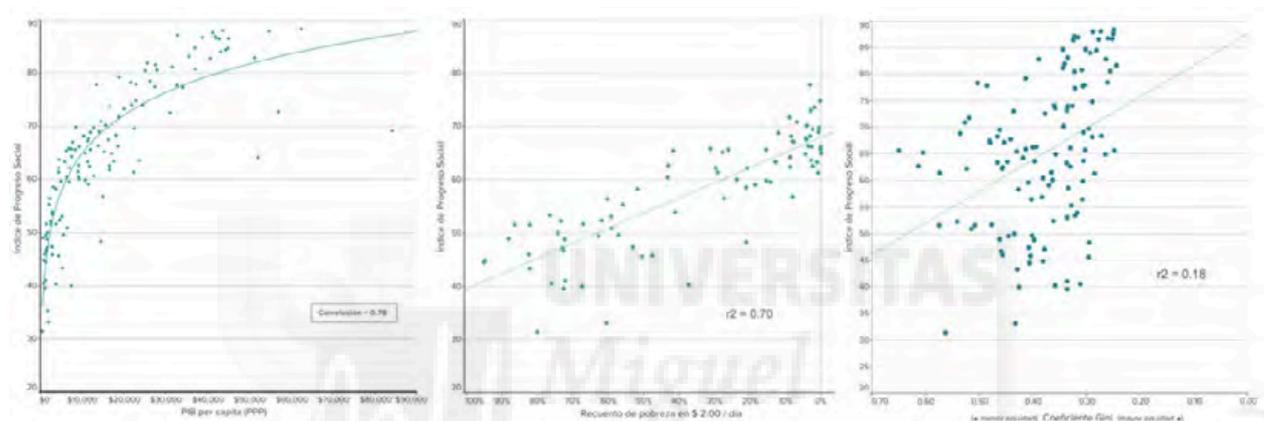


Figura 61. Indicadores del Índice de Progreso Social (SPI). Fuente: (Porter, M. & Stern, S., 2015)

A pesar de que el SPI tiene intensas vinculaciones con el PIB per cápita, algunos países pueden desarrollar un índice de progreso social similar pero con grandes diferencias en el PIB per cápita: Costa Rica posee un SPI de 77,58 con un PIB per cápita de 13.431 US\$ cuando Italia, con un PIB per cápita cuatro veces mayor, alcanza casi el mismo nivel de SPI. Del mismo modo, países con los mismos niveles de PIB per cápita se encuentran en posiciones muy diferentes de SPI, incluso coincidiendo ámbitos geográficos cercanos: Estonia alcanza un nivel de progreso social de 80,49 SPI mucho más elevado que Rusia (63,64) teniendo los dos países similares niveles de PIB per cápita (Porter, M. & Stern, S., 2015).

Aunque exista una elevada correlación del SPI tanto con el PIB per cápita como con el grado de pobreza, pueden existir muchas excepciones en la correlación del indicador en casos concretos, como se ha podido observar. Pero un aspecto importante que resta por analizar es el acceso en equidad de la población a los diferentes productos y servicios en general y a

los servicios energéticos en particular. Por tanto, el nivel de desigualdad existente dentro de un determinado país debe ser un parámetro que se incluya obligatoriamente en el análisis, porque evalúa con qué grado de accesibilidad puede una determinada población acceder a satisfacer sus necesidades, además, se encuentra implícito en ese indicador variables educacionales, culturales, de hábitos y costumbres de una determinada sociedad que de otra manera no se podrían evaluar. A un lado se deja el análisis de las implicaciones en el ámbito de la competitividad de las empresas, que será abordado en otro capítulo. En este sentido el análisis de la correlación con el nivel de desigualdad dentro de un mismo territorio, mediante la correlación con el coeficiente de Gini<sup>29</sup>, no es posible explicarlo con el SPI (Figura 62).



**Figura 62. Correlación entre el Índice de Progreso Social (SPI) y el PIB per cápita (izquierda), el nivel de pobreza (centro) y el grado de desigualdad (derecha). Fuente: (Porter, M. & Stern, S., 2015)**

Por tanto, el indicador adecuado para evaluar las implicaciones que respecto a la sostenibilidad energética adquieren los ciudadanos es el SPI, aunque habrá que establecer una corrección incluyendo el concepto de desigualdad en cuanto a ingresos, riqueza y oportunidades que se establece en el indicador HDI. Entre 1990 y 2010 la desigualdad en ingresos sufrió un aumento promedio del 11% en los países desarrollados (UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano, 2015). En el caso de realizar la observancia durante varias anualidades habrá que corregirlo con el peso de la energía en la cesta de la compra (HICP basket - %) el cual ha sufrido una apreciación del 10% en promedio en la Unión Europea entre 2006 y 2010 (European Commission. Directorate-General for Economic and Financial Affairs, 2013)

<sup>29</sup> El coeficiente de Gini debe su nombre al estadístico italiano Corrado Gini (1884-1965) y es un indicador mundialmente reconocido y utilizado para monitorizar el nivel de desigualdad existente en los ingresos de un determinado país. Es un indicador entre 0 y 1 en donde el cero correspondería a una total igualdad entre los participantes. En definitiva es un indicador que evalúa la distribución de riqueza con respecto al número de individuos que la posee.

### 3.8 Resumen de indicadores para la sostenibilidad energética de las naciones

En los apartados anteriores se ha realizado una aproximación a los indicadores que representan la sostenibilidad energética desde las dimensiones del desarrollo sostenible. En resumen, los indicadores planteados son los siguientes:

Tabla 8. Resumen de Indicadores y sub-indicadores utilizados. Fuente: elaboración propia

Familia de indicadores	Indicador General	Sub-indicadores
<b>Crecimiento económico sostenible</b>	IEE	<b>PIB, PIB per cápita, IPI, IASS, *ET</b>
<b>Demanda de energía</b>	DEE <sub>UE</sub>	<b>PIB, PIB per cápita, CEP, *EP<sub>SE</sub></b>
<b>Regulación y mercados</b>	*IT <sub>SE</sub>	<b>IEE, CFE, DEP</b>
<b>Medioambiente y diversidad</b>	GEI <sub>PC</sub>	<b>GEI, IE<sub>UE</sub>, E</b>
<b>Acceso en equidad</b>	IPSC	<b>ODS7, IDH</b>

\*Nota: Los índices referidos, son aportaciones del trabajo de tesis doctoral.

Donde:

- IEE, Intensidad Energética de la Economía (ktep/€)
- PIB, Producto Interior Bruto (€)
- IPI, Índice de producción Industrial (%)
- IASS, Indicador de Actividad del Sector Servicios (%)
- \*ET, Eficiencia Técnica de un determinado sector económico (ktep/€)
- DEE<sub>UE</sub>, Dependencia Energética Exterior (%)
- CEP, Consumo de Energía Primaria (ktep)
- \*EP<sub>SE</sub>, Eficiencia Primaria del sistema energético (%)
- \*IT<sub>SE</sub>, Intensidad Técnica del sistema energético (%)
- CFE, Consumo Final de Energía (ktep)
- DEP, Demanda de Energía Primaria (ktep)
- GEI<sub>PC</sub>, Emisiones de Gases Efecto Invernadero per cápita (kgeCO<sub>2</sub>/h)
- GEI, Emisiones de Gases Efecto Invernadero (kgeCO<sub>2</sub>)
- IE<sub>UE</sub>, Intensidad de emisiones de CO<sub>2</sub> según metodología Eurostat (kgCO<sub>2</sub>/€)
- E, Emisiones Totales de CO<sub>2</sub> (toneladas)
- IPSC, Índice de Progreso Social corregido (%)
- ODS7, Objetivo del Desarrollo del Milenio n° 7 sobre energía
- IDH, Índice de Desarrollo Humano (%)

El resumen de indicadores planteado en este capítulo, atendiendo a criterios de seguridad de suministro, regulación y mercados eficientes, acceso en equidad a la energía, permitiendo el crecimiento y el desarrollo económico, así como respetando el medioambiente y la diversidad se resume en la tabla siguiente:

Tabla 9. Resumen de resultados de los indicadores para la sostenibilidad energética. Fuente: elaboración propia

2014	Indicador General	Alemania	España	Francia	Italia	Reino Unido
<b>Crecimiento económico sostenible</b>	IEE	<b>81,57</b>	<b>80,50</b>	<b>85,86</b>	<b>69,93</b>	<b>68,43</b>
<b>Demanda de energía</b>	DEE <sub>UE</sub>	<b>61,60</b>	<b>72,90</b>	<b>46,10</b>	<b>75,90</b>	<b>45,50</b>
<b>Regulación y mercados</b>	IT <sub>SE</sub>	<b>33,26</b>	<b>32,10</b>	<b>42,96</b>	<b>24,95</b>	<b>31,47</b>
<b>Medioambiente y diversidad</b>	GEI <sub>PC</sub>	<b>64,14</b>	<b>52,28</b>	<b>30,17</b>	<b>43,85</b>	<b>45,52</b>
<b>Acceso en equidad</b>	IP <sub>SC</sub>	<b>21,21</b>	<b>28,54</b>	<b>25,92</b>	<b>31,88</b>	<b>22,71</b>
<b>TOTAL</b>		<b>261,78</b>	<b>266,32</b>	<b>231,01</b>	<b>246,51</b>	<b>213,64</b>

La expresión matemática que define el Índice Global de Sostenibilidad Energética calculado en la Tabla 9 que agrega todos los indicadores generales y su normalización, para el año  $t$ , en el país  $i$ , es la siguiente:

$$IGSE_t^i = \frac{IEE_t^i}{140} + DEE_{UE_t}^i + (100 - IT_{SE_t}^i) + \frac{GEI_{PC_t}^i}{0,4} + (100 - IP_{SC_t}^i)$$

Ecuación 12. Expresión matemática del Índice Global de Sostenibilidad Energética. Fuente: elaboración propia

Donde:

$IGSE_t^i$ , Índice General de Sostenibilidad Energética

$IEE_t^i$ , Intensidad Energética de la Economía (ktep/€)

$DEE_{UE_t}^i$ , Dependencia Energética Exterior (%)

$IT_{SE_t}^i$ , Intensidad Técnica del sistema energético (%)

$GEI_{PC_t}^i$ , Emisiones de Gases Efecto Invernadero per cápita (kgeCO<sub>2</sub>/h)

$IPS_C_t^i$ , Índice de Progreso Social corregido (%)

Como se puede observar en la Tabla 10, la normalización indicadores se realiza con el fin de conseguir su agregación en un Índice General de Sostenibilidad Energética (IGSE), el cual, aplicando los principios de sostenibilidad estudiados en el Capítulo 2 sobre la Conceptualización de la sostenibilidad energética y más concretamente sobre el concepto de paradigma débil explicado en el apartado 1.1 de ese mismo capítulo, se justifica una normalización de indicadores de forma que a una mayor sostenibilidad corresponderá un menor impacto superficial, es decir: cuanto menor sea el área de la representación de los indicadores generales en un diagrama polar omnidireccional<sup>30</sup>, mayor será la sostenibilidad.

Siguiendo este razonamiento, los indicadores se han normalizado atendiendo a los siguientes criterios:

- A. Indicadores que ya expresaban un valor porcentual decreciente indicativo de mejora de la sostenibilidad: no se establece ninguna normalización.
- B. Indicadores que expresaban un valor porcentual creciente indicativo de mejora de la sostenibilidad: se establece la inversión según la expresión  $(100-X_i)$  donde  $X_i$  es el indicador sin normalizar.
- C. Indicadores que expresaban el valor de la variable a la que representaban: se establece el rango de observación máximo sobre el cual se establece un ratio porcentual.

<sup>30</sup> El diagrama polar es una representación gráfica que muestra el impacto superficial (en forma de energía, radiación u otras magnitudes físicas) de un determinado sistema. Puede tener diferentes clasificaciones en función de la dirección de la fuente (omnidireccional, bidireccional y unidireccional).

Tabla 10. Normalización de indicadores. Fuente: elaboración propia

Criterio de normalización	Indicador General	Rango	Expresión de Normalización
A	$DEE_{UE}$	-	$DEE_{UE}$
C	IEE	90-140	$IEE/140$
B	$IT_{SE}$	0-100	$100-IT_{SE}$
C	$GEI_{PC}$	0,15-0,40	$(GEI_{PC})/0,4$
B	$IPSc$	0-100	$100-IPSc$

Para finalizar, según la Tabla 9 donde se recogen los valores finales del Índice General de Sostenibilidad Energética (IGSE) para el año 2014, el país con un mejor comportamiento sostenible sería Reino Unido, seguido de Francia e Italia. A la cola de sostenibilidad tendríamos a Alemania y España. Pero la interpretación de los datos debe realizarse de una manera conjunta, tal y como se verá a continuación.



Figura 63. Resumen de resultados de los indicadores. Fuente: elaboración propia

**Alemania** presenta un comportamiento pobre desde el punto de vista de la sostenibilidad energética, propio de economías intensivas en gasto energético y fuerte dependencia de combustibles fósiles. Aunque no es de los peores en intensidad técnica y energética, se sitúa en cola tanto en el índice de progreso social como en las emisiones. Por tanto las políticas deberían incidir en reducir las emisiones y mejorar la intensidad técnica y energética. Eso se traduce en una reconversión del mix energético del país hacia economías que abandonen los combustibles fósiles y la mejora de la eficiencia en las cadenas de suministro.

Precisamente en Alemania se acaban de definir políticas que definen una hoja de ruta hacia la clausura del parque nuclear de aquí a 2022, incrementando las tecnologías de naturaleza renovable en el mix, aunque no se sitúa en una mala posición en ese aspecto (Figura 71 y Figura 72). Partiendo de una potencia instalada de generación de naturaleza renovable de 10 GW en 2009, pasando por 38GW en 2014 y alcanzar los 50GW de potencia instalada en 2019 será interesante monitorizar la intensidad técnica del sistema, por el gran número de unidades de producción, la variabilidad de la misma y el control de la potencia, frecuencia y tensión así como su comportamiento frente a perturbaciones. Además los modelos de previsión de demanda aumentarán en complejidad y volumen de información.

**España** se sitúa en el último lugar de sostenibilidad energética de los países en estudio. A la fuerte dependencia energética exterior que lidera junto a Italia y en general también los demás países, hay que añadir que no destaca en ningún indicador. Por tanto queda mucho por hacer. Desde políticas de reducción de emisiones, mejorar la intensidad técnica y energética transformando el mix energético del país. Ayudaría mucho políticas de impulso a la reconversión del sector transporte hacia tecnologías híbridas que abandonen paulatinamente la dependencia de los combustibles fósiles, reduciría en gran medida, la dependencia energética exterior, las emisiones y mejoraría la intensidad energética, aunque habrá que tener en consideración las implicaciones de la penalización de la curva de aprendizaje. El gas presenta una oportunidad importante impulsando su despliegue en el sector doméstico y de servicios ya que se trata de una tecnología madura y eficiente que está infrutilizada en España en comparación con otros países. Por último, su sector eléctrico deberá dinamizarse tanto desde el mercado minorista como el mayorista, creando un mix más equilibrado en las diferentes tecnologías.

**Francia** lidera el ranking de sostenibilidad energética junto a Reino Unido. Presenta un nivel de emisiones por PIB muy bajo, alejado de España y Alemania, con una fuerte dependencia de la nuclear en su mix, probablemente culpable de su último lugar en el comportamiento de la intensidad técnica del sistema, pero también culpable de su buen valor de emisiones de CO<sub>2</sub> por PIB, sin olvidar que las emisiones totales de GEI por habitante desciende hasta la tercera posición. Aunque se encuentra en último lugar en cuanto a la intensidad energética de la economía, es país que demuestra más claramente el

desacoplamiento entre crecimiento y demanda de energía con una correlación muy alta (Figura 44) así como el desacoplamiento entre dependencia energética exterior y crecimiento económico (Figura 43) y por último también demuestra un desacoplamiento muy claro entre emisiones y crecimiento económico (Figura 56 y Figura 57). Por tanto se demuestra en los indicadores su correlación con la premisa de la disociación de los tres pilares. Cualquier mejora en las políticas energéticas se deberían enfocar con contundencia hacia el modelo de transporte y movilidad, que mejoraría la dependencia energética exterior de combustibles fósiles y supondría impulsar la sostenibilidad energética de forma extraordinaria.

**Italia** es el tercero en el ranking y presenta valores muy positivos de intensidad energética y técnica de la economía, pero su modelo de excesiva dependencia de combustibles fósiles en el mix de generación es algo que lastra las emisiones, por tanto, es necesario incidir de manera contundente en diversificar el mix hacia otras tecnologías más limpias. Respecto al gas, es ampliamente utilizado por Italia en su demanda de energía y es posible que le devuelva un buen ratio de intensidad técnica también por este hecho. Es destacable el peor ratio de progreso social en Italia, ya que difiere en 10 puntos con el primer clasificado.

**Reino Unido** presenta el mejor comportamiento sostenible seguido muy de cerca por Francia que ocupa la segunda posición. Presenta un elevado nivel de emisiones, con la menor contribución de renovables en el consumo final de energía de todos los países en estudio de un 7%, la mitad que el de la siguiente posición en el indicador que es del 14% (Alemania). También presenta una dependencia energética exterior muy favorable y unas intensidades técnicas y energéticas muy buenas. Tiene una fuerte dependencia de los combustibles fósiles en el mix energético y también eléctrico, lo que le genera un fuerte nivel de emisiones que tan solo por delante tiene a Alemania. Pero se permite devolver todavía un buen nivel de dependencia energética exterior.

## Capítulo 4

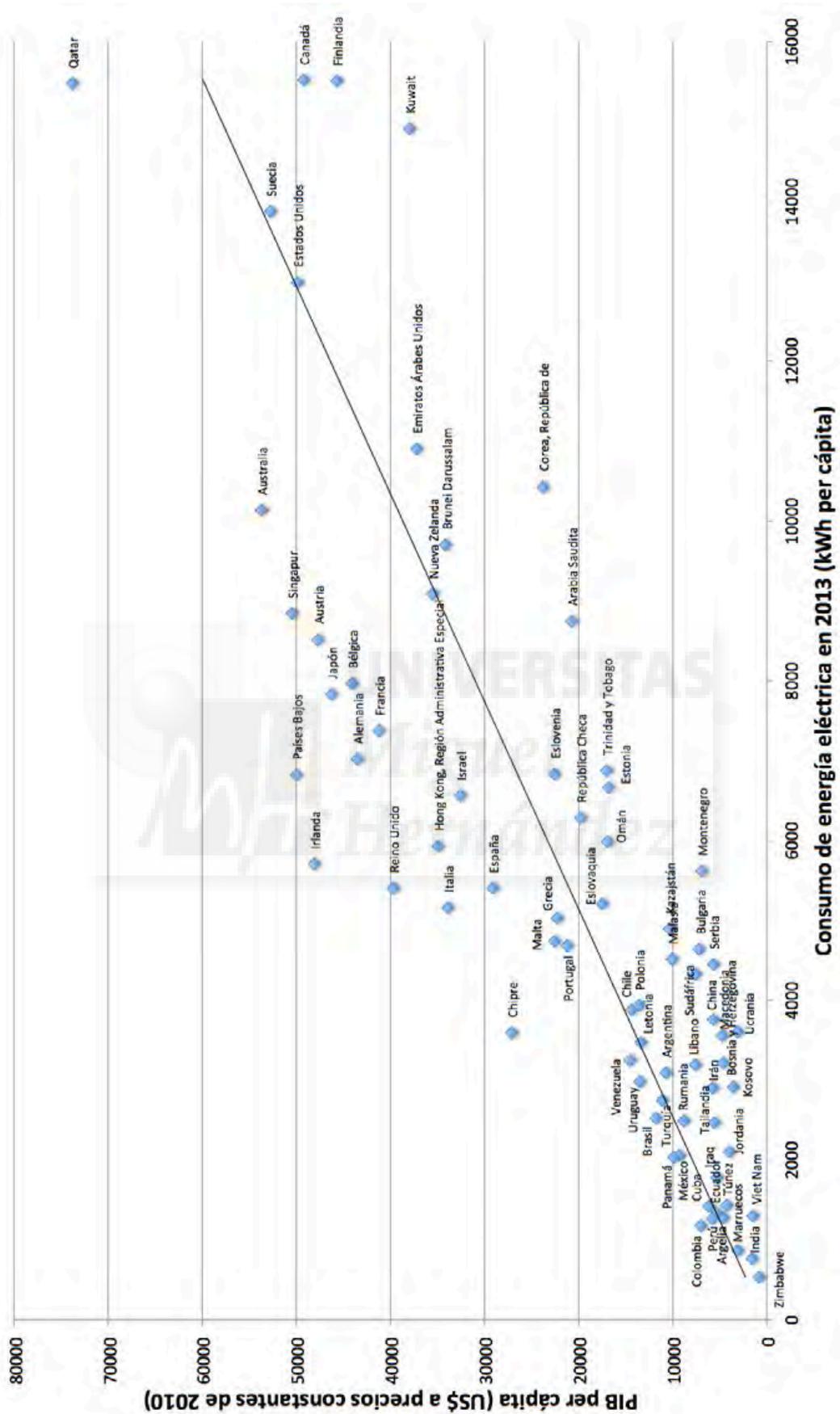
### Sector eléctrico en la UE: hacia la eficiencia de las economías y la competitividad

#### 1 Introducción

Debido a la importancia que va a adquirir el sector eléctrico en las próximas décadas tanto por el crecimiento neto en la demanda de electricidad como respecto a los cambios en el sistema con la irrupción de nuevos paradigmas: despliegue de la infraestructura de recarga del vehículo eléctrico, el desarrollo de las redes inteligentes, la participación en tiempo real de la demanda en el mercado y el BigData, la generación distribuida o el desarrollo de las tecnologías de almacenamiento de electricidad, el presente capítulo viene a analizar las variables más relevantes que se utilizan en la evaluación del sector y su adecuación. Además, el cambio en la configuración del mix de generación y el dinamismo que se va a propiciar en los precios de la electricidad mediante la participación de la demanda en el mercado en los países modernos y su afectación a la competitividad de las empresas serán variables muy importantes para tenerlas en cuenta en la definición de las políticas energéticas de los países de la UE. Al tiempo, es necesario obtener una estructura de datos fiable, analizar la información entrelazando diferentes dimensiones (sostenibilidad energética, protección de la atmósfera, gestión hídrica y del territorio) que permita obtener información transversal con la que tomar decisiones.

El sector eléctrico, representará el crecimiento más acelerado en su consumo final de energía durante los próximos años. Además, se presentan grandes oportunidades para reducir la contribución de los combustibles fósiles en la generación de este tipo de energía y por tanto, en las emisiones de CO<sub>2</sub> (OECD/IEA, 2014). Será preciso la instalación de 7200 GW de potencia para poder hacer frente a las necesidades de electricidad en el mundo (Figura 64) hasta 2040, la generación de energía eléctrica mundial basada en renovables aumentará unos 8300 TWh -más de la mitad del aumento de la generación total- (OECD/IEA, 2015), al tiempo que será necesario reemplazar el 40% del parque actual de centrales dependientes de combustibles fósiles. Por tanto, las tecnologías renovables representarán casi la mitad del incremento de la generación de electricidad mundial hasta 2040. Es muy evidente por tanto, la relación del sector eléctrico con el impulso de las tecnologías renovables y se presenta como un motor para la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías en ese sector. China se presenta como el país con mayor potencial de crecimiento de potencia instalada de aquí a 2040 de naturaleza renovable, por encima de EEUU, UE y Japón juntos (OECD/IEA, 2013). Por otro lado, las previsiones apuntan que para 2040 casi el 60% de la electricidad generada provenga de fuentes renovables y la mitad de ese porcentaje sean de naturaleza eólica y solar fotovoltaica (OECD/IEA, 2016). El sector eléctrico estará libre de emisiones de CO<sub>2</sub>: se prevé una reducción de la intensidad media de emisiones de la generación eléctrica hasta los 80 gramos de CO<sub>2</sub> por kWh en 2040, frente a los 515 gCO<sub>2</sub>/kWh actuales.

Pero desde algunos ámbitos se plantean interrogantes al avance de las tecnologías renovables referidos fundamentalmente al diseño técnico y económico del mercado, la fiabilidad de suministro con un mix que aumenta su complejidad y heterogeneidad y los incrementos de inversión que pueden ser necesarios por la utilización de tecnologías más intensivas en capital debido a las curvas de aprendizaje necesarias. Éste último concepto, unido a la evolución de los precios de los combustibles fósiles puede producir un efecto sobre los precios finales de la electricidad que habrá de monitorizar para encontrar si realmente existirá esa relación ya que las políticas de eficiencia energética impulsadas por los diferentes países pueden amortiguar el crecimiento de la demanda.



Por otro lado, la unificación de los operadores técnicos del sistema en la UE con la creación de la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte (European Network Transmission System Operators, ENTSO) en 2009, permite coordinar el funcionamiento de los diferentes Operadores del Sistema de los países de la UE a través del intercambio de información operativa y la elaboración de normas y procedimientos de seguridad y emergencia comunes. El Parlamento Europeo también establece la elaboración cada 2 años de un plan decenal de inversiones a medio plazo (plan europeo decenal indicativo centrado en las interconexiones), lo que permitirá una mejor planificación y armonización de las mismas, una mayor cooperación entre Autoridades reguladoras, Estados y Gestores de la red de transporte, así como abordar el proceso de armonización de las condiciones de acceso a las redes para nuevos operadores y mayor transparencia en el mercado. Pero el objetivo de la redistribución de inversiones y una posible armonización técnica y de mercado en Europa presenta todavía grandes interrogantes. Por otro lado, el Parlamento Europeo establece la separación de la titularidad del transporte en el sector de la electricidad como la herramienta más eficaz para separar inversión y mantenimiento de infraestructuras. Respecto a este último dato, indicar que en Italia existen 11 operadores de red (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016).

Todos los esfuerzos que desde las Instituciones de la UE se están realizando, y de las que subyace un claro enfoque hacia la mejora de la competitividad del sector de la energía - en definitiva de la economía - resultarán estériles si no se apoya decididamente con otras medidas de integración. En primer lugar es crucial desarrollar unas políticas energéticas que impulsen el autoabastecimiento de electricidad, entendido desde su sentido más amplio (almacenamiento, gestión inteligente de la energía, generación distribuida, automatización, consumo eficiente,...) y en segundo lugar establecer un espacio eléctrico común entre los países miembros, tarea de difícil implementación por cinco razones:

1. No existe un organismo regulador europeo con la suficiente capacidad para influir y diseñar políticas energéticas en cada uno de los países miembros de la UE, por tanto, sin esa capacidad, todas las medidas quedarán en una muy débil armonización, del todo insuficiente para los retos y la diversidad de países y coyunturas existente.

2. No existe libertad de mercado real en la contratación de energía eléctrica: las fronteras nacionales dificultan mucho todavía la contratación y la inseguridad jurídica percibida en el consumidor final.
3. No existe una regulación de normativa técnica común en los diferentes países europeos que permita una mayor dinamización en el despliegue de operadores a nivel de transporte y distribución (cuestión de dudosa eficacia, en contra del criterio establecido por el Parlamento Europeo, ya que se corre el riesgo multiplicador de los costes), sino que todavía persisten las barreras en el ejercicio de aquellas profesiones reguladas<sup>31</sup> que directamente están vinculadas al desarrollo de la infraestructura eléctrica en los diferentes países de la Unión Europea como es la ingeniería.
4. Por último destacar la importancia del desarrollo y la inversión en tecnologías de control y gestión de la energía, lo que permitirá al mismo tiempo una mejora de la coordinación de los proyectos de infraestructuras, explorar nuevos ámbitos en la financiación de la inversión en las redes y por lo tanto el despegue definitivo de lo que se ha venido a denominar las Redes Inteligentes (Smartgrids).
5. Además, aparecen dos grandes retos en el tratamiento de la información: la privacidad y la seguridad. La información va a ser tan relevante para las administraciones, las empresas y las personas, que su seguridad y privacidad se convertirá en una demanda relevante para los negocios, y trascendente para las personas, por lo que se necesitará una regulación también común que preserve los derechos de los usuarios.

---

<sup>31</sup> El razonamiento parte de las diferentes regulaciones sobre reconocimiento de las cualificaciones profesionales de las ingenierías en la UE. Si bien es cierto que existe una directiva europea sobre cualificaciones profesionales (Directiva 2005/36/CE relativa al reconocimiento de cualificaciones profesionales), no existe una regulación común en el ejercicio y acceso a esa profesión en Europa, por lo que se producen barreras al ejercicio de la profesión de ingeniero en los países miembros. La última modificación de la directiva de cualificaciones profesionales en este aspecto se ha producido a través de la Directiva 2013/55/UE del parlamento Europeo y del Consejo, que contempla ya expresamente que el reconocimiento de las cualificaciones profesionales por el Estado miembro de acogida, permitirá a los beneficiarios acceder en ese Estado miembro a la misma profesión que aquella para la que están cualificados en el Estado miembro de origen y ejercerla en el Estado miembro de acogida en las mismas condiciones que sus nacionales. No obstante, esta directiva tiene reservas en cuanto a las profesiones reguladas, además de no encontrarse traspuesta expresamente en el ordenamiento jurídico español todavía, cuando su plazo de trasposición venció en enero de 2016. Es inminente la aparición de una nueva directiva armonizada al respecto, lo que significará que se produzca una reducción de las barreras en el ejercicio de las profesiones reguladas en general.

Destacar los grandes contrastes en el papel que desempeñará en los próximos años la tecnología nuclear, que pese a la reducción en el número de nuevas centrales, la potencia instalada crecerá dos tercios desde 392 GW en 2013 hasta más de 620 GW para 2040, que encabezarán países como China, Corea, India, Rusia, EEUU o Sudáfrica (OECD/IEA, 2013) y (OECD/IEA, 2014). Sin embargo, la contribución de la generación de origen nuclear en la electricidad generada a nivel mundial -que hace casi veinte años alcanzó su nivel máximo- aumenta sólo un punto porcentual, con un valor de tan solo el 12% de la generación mundial para 2040 y cayendo en la UE hasta en un -10%. Los países donde aumenta su implantación se explica por las políticas de los gobiernos de fomento de la inversión privada en esas tecnologías, por la excesiva regulación desde los gobiernos sobre los precios de la electricidad y finalmente también porque las instalaciones cuentan con apoyo estatal. Entre los argumentos más extendidos en la defensa de la tecnología nuclear, se encuentra el que las centrales nucleares contribuyen a dotar de una mayor fiabilidad al sistema eléctrico, reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub> y permitiendo incrementar la diversidad del mix hacia otras tecnologías de generación, además, los países con una fuerte dependencia energética exterior pueden reducirla y limitar su exposición a las variaciones de precio de las materias primas en los mercados internacionales. No obstante, según algunos modelos de previsión, los indicadores de seguridad energética tienen a deteriorarse en países que utilizan la energía nuclear, es decir, en algún escenario aparecen reducciones en la demanda energética cubierta con fuentes nacionales, por lo que será muy importante vigilar ese indicador y su correlación con la generación de origen nuclear. Por último, existen serias dudas respecto a los costes de desmantelamiento de centrales nucleares (OECD/IEA, 2014). Se deberán tomar decisiones sobre el desarrollo de capacidades alternativas o en seguir operando centrales existentes ya que se estima en más de 100 000 millones de USD el coste de desmantelamiento y descontaminación de reactores de aquí a 2040, pero de nuevo, debido a la limitada experiencia en las curvas de aprendizaje, el sector en general y los reguladores en particular deberán tenerlo en consideración en sus análisis de retribuciones y costes del sistema para cubrir estos gastos futuros. También se genera mucha incertidumbre acerca de los residuos provenientes del combustible nuclear usado, ya que existe mucha alarma social en general con el sector, pero es mayor cuando se trata de abrir nuevas instalaciones para almacenamiento permanente, por tanto la tecnología deberá aportar soluciones fiables, duraderas y lo que es más importante reducir la preocupación social por la seguridad de este tipo de tecnologías.

## 2 Análisis del entorno

La optimización del mix de generación eléctrica es una cuestión de gran trascendencia para la sostenibilidad del sistema, ya que aspectos socioeconómicos, organizativos, de infraestructura eléctrica, configuración territorial, climatología, o el grado de autoabastecimiento de energía, entre otros, establece una configuración diferente de unos países a otros y hacen complejo cualquier intento de armonización de las políticas energéticas de la UE. Por lo tanto, avanzar en políticas comunes y convergentes sólo será posible mediante una profunda transformación tecnológica del sistema eléctrico. La armonización en materia energética del mercado de la electricidad, las infraestructuras y la toma de decisiones en materia de política energética, es un problema complejo dados los grandes contrastes técnicos, diversidad geopolítica y diferentes coyunturas económicas de los países de la UE. Aunque se están dando los pasos por las autoridades europeas, pasará mucho tiempo antes de que pueda existir un mercado eléctrico interconectado y armonizado en Europa. El desarrollo del almacenamiento de energía en grandes cantidades, así como la gestión inteligente de la red o la participación en la demanda por parte de los usuarios, son los grandes desafíos a los que se enfrenta el sector eléctrico en la UE. La todavía persistente dependencia de los combustibles fósiles en el mix eléctrico, sigue siendo una realidad que lastra las emisiones de CO<sub>2</sub> y limita el aprovechamiento de las tecnologías limpias. Un ejemplo de la diversidad existente en el sector se puede ilustrar comparando la diferente capacidad y generación eléctrica de origen nuclear en algunos países europeos, tal y como se muestra en la Figura 65.

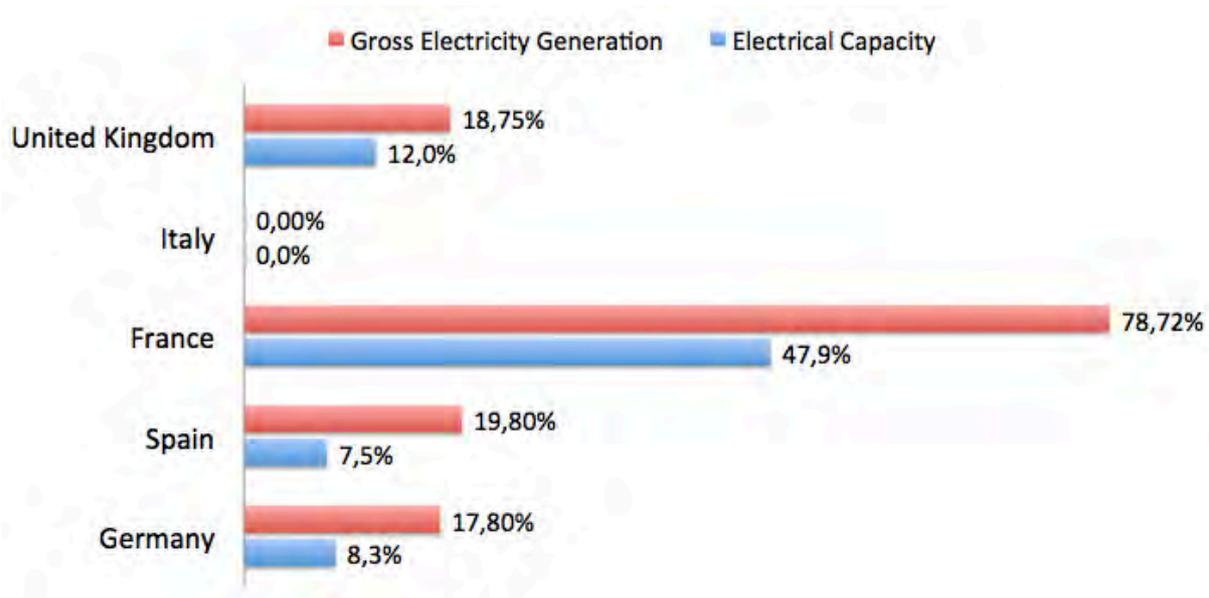


Figura 65. Contribución en el mix de generación eléctrica de la tecnología nuclear en 2011 (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016), (REE - Red Eléctrica de España, 2012), (ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity, 2013) y elaboración propia

Como se podrá observar más adelante, se puede afirmar con rotundidad que la permanencia de una amplia diversidad de tecnologías de generación y su complementariedad para suministrar energía eléctrica -con la gestión del operador del sistema- será beneficioso para el comportamiento de los precios minoristas de la factura de electricidad, al tiempo que el operador del mercado configura un sistema de oferta y demanda en el mercado mayorista aplicando las diferentes reglas y restricciones técnicas, en función de cada una de estas tecnologías, lo que repercute en el suministro de la electricidad hacia los diferentes sectores económicos (Figura 66) de una manera efímera, anónima y sin interrupciones en el flujo técnico, pero como se podrá evidenciar, con distorsiones alejadas de un comportamiento de libre mercado (García Alvarez & Moreno, 2016), (Federico & Vives, 2008) y (Ocaña & Romero, 1997), en referencia a los flujos económicos.

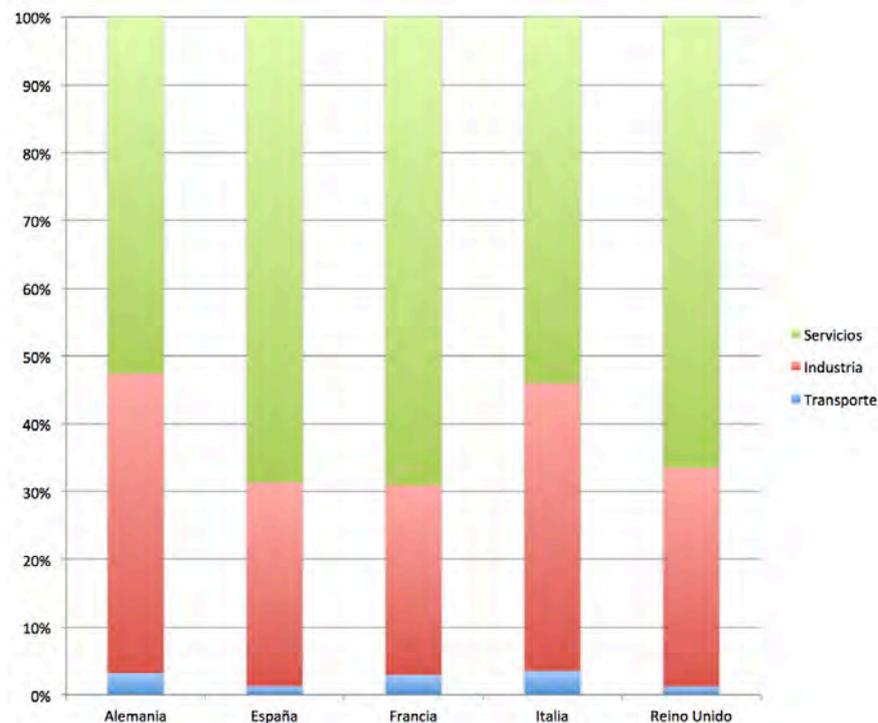


Figura 66. Participación del consumo final de electricidad en los diferentes sectores (%) en 2011. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

## 2.1 Estrategias energéticas de la Unión Europea: hacia un mercado interior de la electricidad

El planteamiento en la Unión Europea sobre los objetivos (Comisión Europea, 2014) de clima y energía para las próximas décadas son ya conocidos: para 2020, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero al menos en un 20%, respecto a los niveles de 1990; obtener un 20% de la energía a partir de fuentes renovables y mejorar la eficiencia energética en un 20%. Los objetivos para 2030: reducir en un 40% las emisiones de gases efecto invernadero, obtener al menos un 27% de energía a partir de fuentes renovables; aumentar la eficiencia energética en un 27-30% y se añade que un 15% de la electricidad generada en la UE debe poder transportarse a otros estados miembros con el fin de mejorar las interconexiones eléctricas entre los diferentes países. Por último, para 2050 reducir las emisiones de gases efecto invernadero un 80-95% respecto a los niveles de 1990.

Paralelamente, las políticas de UE (Comisión Europea, 2016) se dirigen hacia una reducción de la dependencia de los combustibles fósiles (componente culpable de la todavía persistente dependencia energética exterior: petróleo, carbón, gas...), lo que impulsa a una huida hacia delante apostando por políticas de sustitución de tecnologías tradicionales por renovables y un impulso de la eficiencia energética que permita un desacoplamiento entre PIB y consumo de energía primaria. Respecto al sector eléctrico se espera un aumento significativo de la demanda final de energía, pasando de un 20% de media de la participación de esa fuente en 2005 al 28% de previsión para 2050 (Figura 67 y Figura 68).

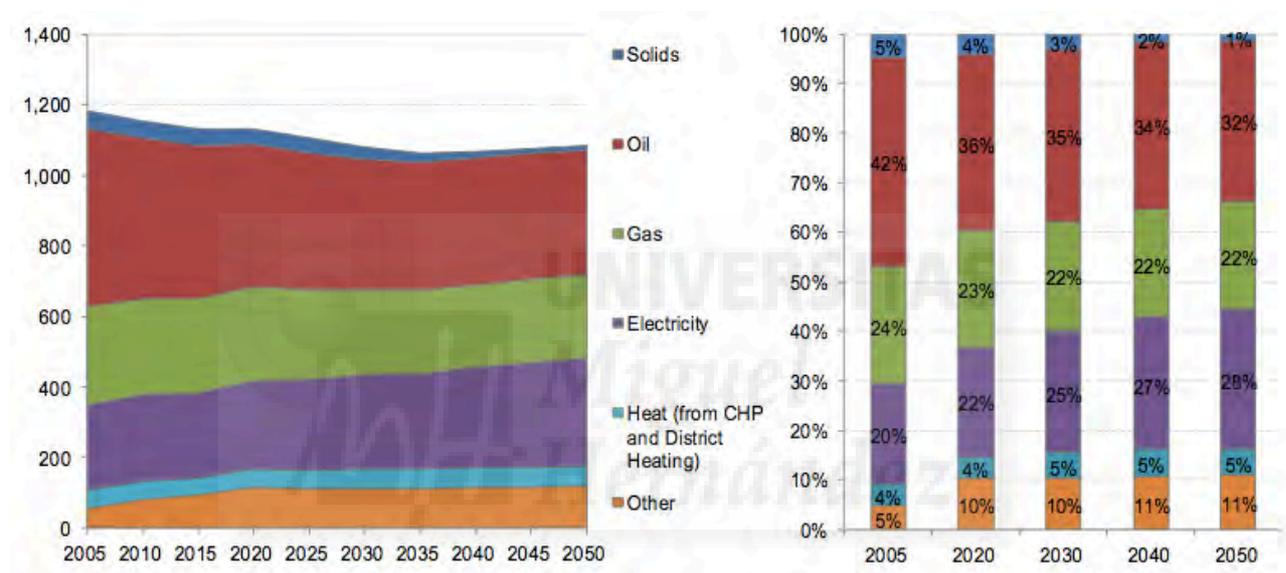


Figura 67. Evolución de la demanda final de energía según la naturaleza de la fuente (Mtep - izquierda, contribución - derecha). Fuente: (Comisión Europea, 2016)

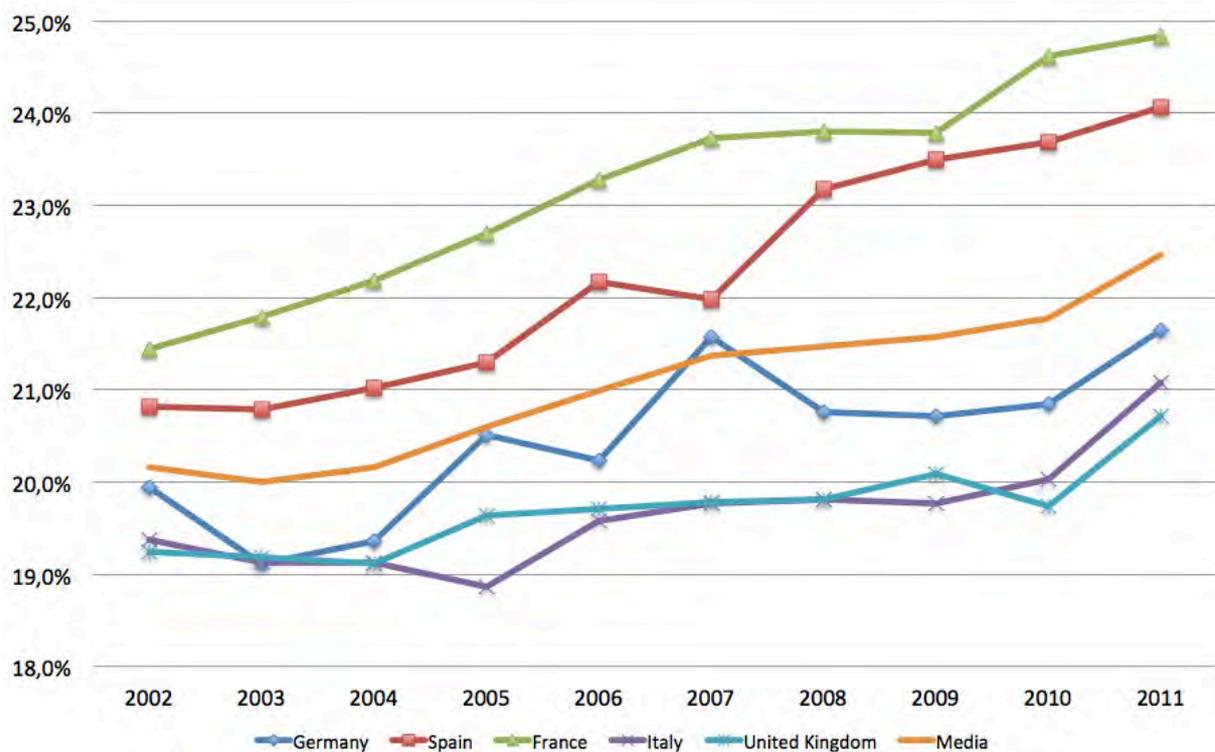


Figura 68. Participación del sector eléctrico en el Consumo Final de Energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Atendiendo a la participación del sector eléctrico en el consumo final de energía, destaca la situación de Francia, cuya participación del sector eléctrico es de casi el 25% del consumo final de energía, seguido muy de cerca por España con un 24%, y estableciendo una distancia con los otros tres, que por este orden: Alemania, Italia y Reino Unido se ubican alrededor del 21% de la participación del sector eléctrico en el consumo final de energía. Este dato agregado en comparación a la Intensidad Técnica del sistema energético (como se pudo observar en la Figura 51), se establece un cambio en el orden de los países: en esta ocasión, Italia es la que más eficiencia del sistema presenta con un 75% (mix dependiente casi exclusivamente de los combustibles fósiles y sin tecnología nuclear) y Francia la que peor sistema energético, con un 57%.

En la siguiente comparativa sobre el sector transporte (participación de los derivados del petróleo en un 28-38% del consumo final de energía en el sector-Figura 69) y realizando la simplificación de que el rendimiento de las cadenas de suministro son similares, ya que se puede asumir que no existen grandes diferencias en las tecnologías utilizadas, se encuentra una similitud en España, Reino Unido y Alemania: muestran un mix de generación similar

(Figura 70), y también demuestran un comportamiento de la Intensidad Técnica similar, agrupándose en torno al 67% de intensidad técnica (Figura 51). Por tanto solo resta la explicación de Italia y Francia, con mixes de generación muy diferentes, polarizándose Francia en la tecnología nuclear e Italia en las plantas de combustibles fósiles, teniendo Italia un buen comportamiento de su intensidad técnica con la menor participación del sector eléctrico en el consumo final de energía y una buena diversificación de las fuentes en su sector transporte. Francia demuestra el peor comportamiento de la Intensidad técnica con la mayor participación del sector eléctrico en el sistema.

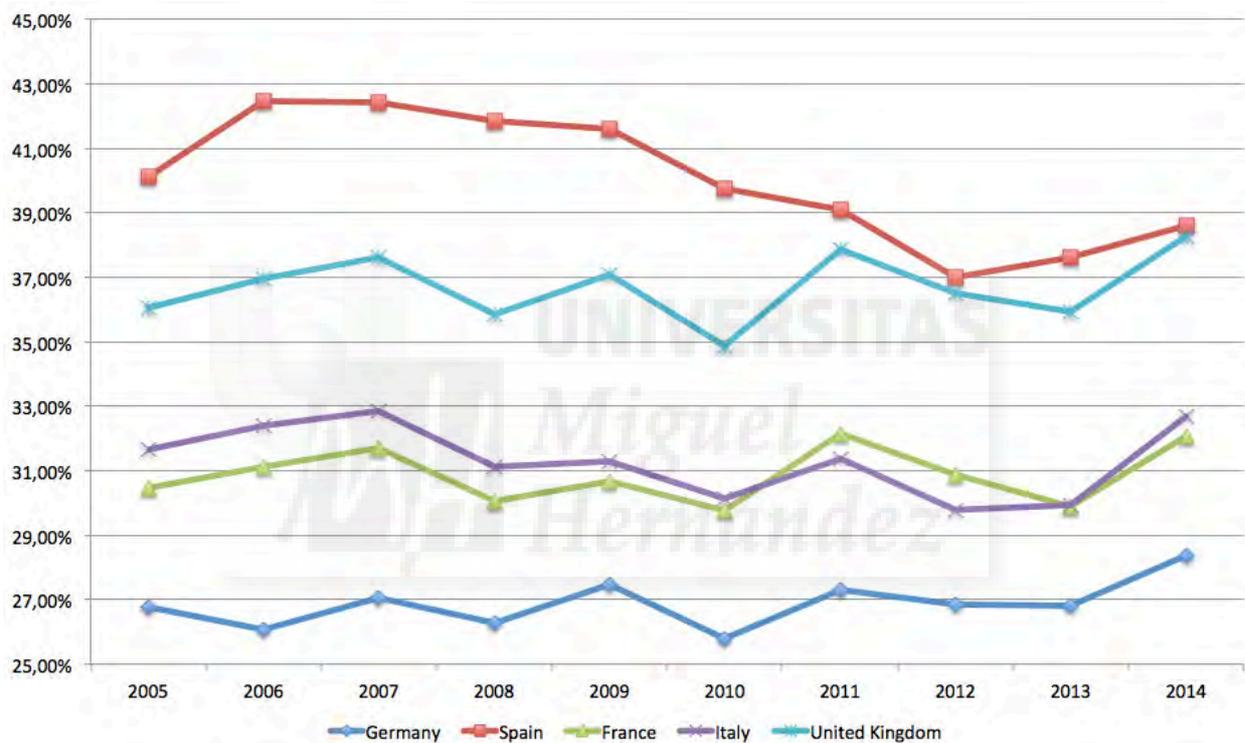


Figura 69. Contribución del consumo de energía final disponible en el sector transporte (derivados del petróleo) en el Consumo Final de Energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

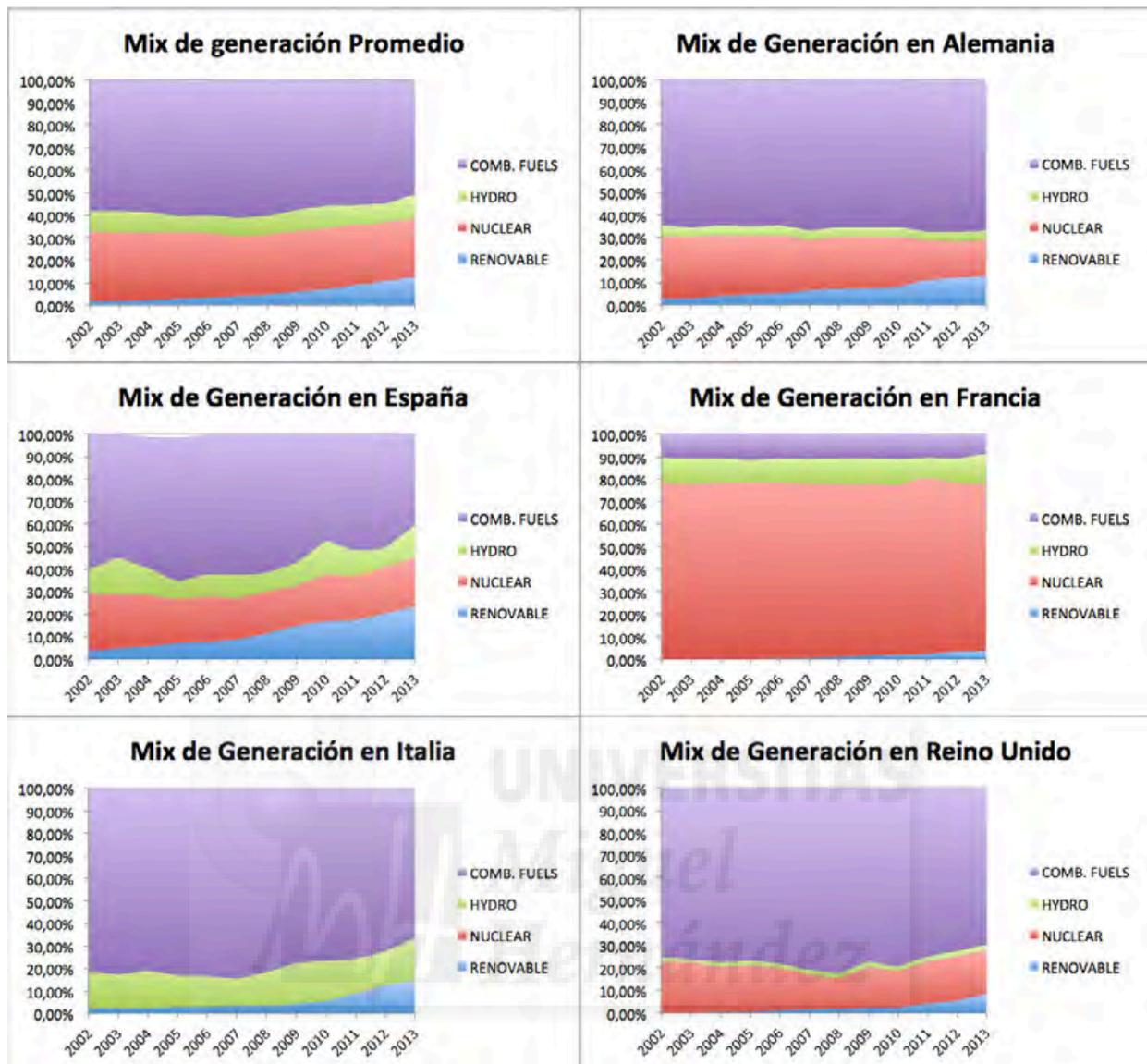


Figura 70 Contribución de las diferentes Tecnologías de generación de electricidad en el mix de generación de los países en estudio (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por último, la consecución de un mercado interior de la electricidad tendría efectos beneficiosos en la competitividad de los países por las siguientes razones: el volumen de mercado se ampliaría a unas cifras muy relevantes, lo que indirectamente debería acompañarse de un aumento en el número de participantes y la generación de una mayor competencia entre agentes. La irrupción de las nuevas tecnologías permitiría nuevas oportunidades de negocio para generadores y consumidores, así como una diversificación del abastecimiento y la seguridad de suministro, lo que fomentaría un uso más eficiente de los recursos.

## 2.2 Análisis de indicadores en el sector eléctrico

Alcanzado este punto, resta por abordar el papel de las renovables en el mix de generación. El indicador mostrado en la Figura 71 mide la intensidad en el uso de energía de naturaleza renovable y de manera indirecta, el grado de sustitución de tecnologías nuclear y proveniente de combustibles fósiles. Aunque existe bibliografía (EUROSTAT - European Commission, 2016) que expone el axioma de que el crecimiento de este indicador contribuye a la mejora de la seguridad de suministro reduciendo la dependencia del exterior, como se verá más adelante, se discute en este trabajo tal afirmación cuando son las fuentes renovables sustitutivas de fuentes propias de energía. Por último, el despliegue de infraestructuras de tecnología renovable contribuye a reducir las emisiones de gases efecto invernadero.

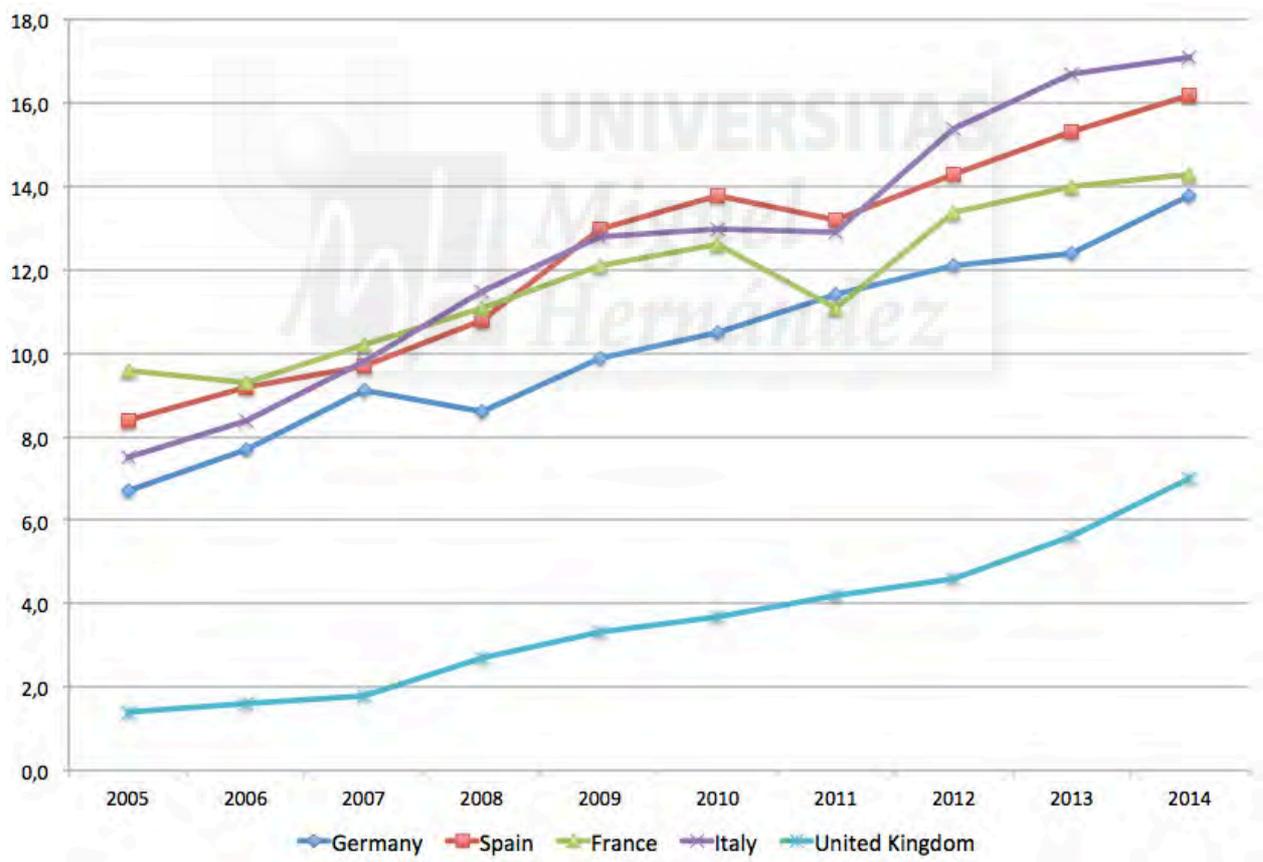


Figura 71. Contribución de energía renovable en el consumo final de energía (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Como se muestra en la Figura 71 se ha producido de manera desigual el despliegue de las tecnologías renovables modernas en los países analizados. Todavía lejos del objetivo del 20% sobretodo en Reino Unido.

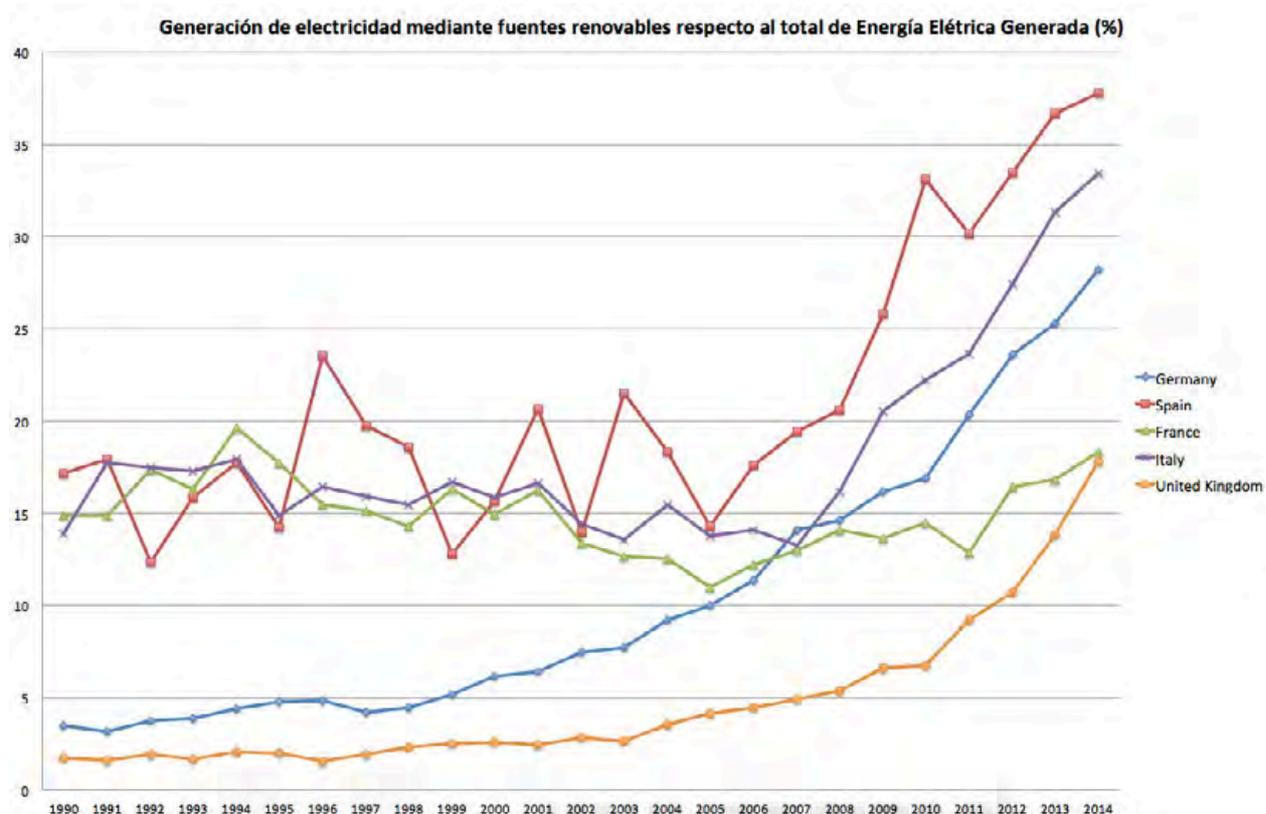


Figura 72. Electricidad generada de naturaleza renovable (% de la generación bruta de electricidad). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

La Figura 72 muestra la generación de electricidad proveniente de tecnologías renovables (hidráulica, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica y otras – sin incluir la generación por bombeo) respecto a la generación bruta de electricidad (de todas las fuentes, incluida la autoproducción, más importaciones y menos exportaciones) que sitúa en cabeza a España con un 37% e Italia con un 33% por la contribución importante de hidráulicas, seguidos de Alemania por la fuerte apuesta en los últimos años en las políticas de transición. En cola aparecen Reino Unido y Francia alrededor de un modesto 17%.

Afirmaciones como que el aumento de la contribución de renovables en el mix de generación o la reducción de las tecnologías nucleares mejora la dependencia energética exterior, son interesantes de analizar. Efectivamente esas variables tienen una elevada correlación, como se verá a continuación, pero no se evidencia un comportamiento que pueda aplicarse a todos los países analizados. Analizando la Figura 73, se puede observar que la correlación entre la variable Generación de origen renovable y la Dependencia energética exterior es positiva solo en Alemania y Reino Unido (además en Reino Unido con una elevada correlación), lo que significa que a incrementos de la generación de electricidad

proveniente de fuentes renovables se acompaña de incrementos de la dependencia energética exterior. Caso contrario ocurre en España, Francia e Italia (además en Italia con la mayor correlación del grupo -  $R=0,93081$ ) en la que se puede evidenciar que a incrementos de generación de origen renovable han acompañado reducciones de la dependencia energética exterior. Trasladando el análisis a la correlación de generación de origen renovable con generación nuclear, efectivamente es negativa en Alemania, Francia y Reino Unido, es decir, se puede afirmar que está siendo sustituida una tecnología por la otra en estos países, y a demás con una elevada correlación ( $R=0,98244$ ), no siendo así en España ya que la correlación es positiva, es decir, incrementan la contribución de las dos tecnologías en el mix. Por último, la afirmación que la reducción de la tecnología nuclear mejora la dependencia energética exterior sólo puede evidenciarse en el caso de Francia, cuya contribución de nuclear es muy elevada en el mix, pero en el resto de países no se puede demostrar. Por último, será muy interesante monitorizar el comportamiento en Alemania en los próximos años por su política de cierre de la totalidad de sus centrales nucleares para 2022, además, como se verá seguidamente, el precio del mercado de electricidad minorista se ha incrementado de forma significativa en ese país durante los últimos 5 años, cuando el mercado mayorista se ha reducido de 50 a 30 €/MWh desde 2011 a 2015 en ese país (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016) & (Fraunhofer ISE - Institute for Solar Energy Systems, 2014). El origen de esa reducción en los mercados mayoristas, que no se traslada al precio minorista, puede deberse a diversas circunstancias, aunque ninguna de ellas está contrastada: por un lado las políticas de subvención para el impulso de las renovables, los costes del plan de desmantelamiento del parque de centrales, y el mantenimiento de elevadas inversiones en redes de transporte e interconexiones con los países vecinos, cuyo montante es necesario trasladarlo a través de la tarifa de acceso e impuestos. Por otro lado, se mantendrán operativas las centrales térmicas para garantizar al seguridad de suministro, lo que no ayudará a la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub>. En definitiva, la transformación del modelo energético en Alemania deberá acompañarse del impulso de la inversión en tecnologías de almacenamiento y gestión inteligente de la red para resolver de forma eficiente la intermitencia, variabilidad y no predictibilidad de las tecnologías renovables en los próximos años, no obstante, deberá monitorizarse.



Figura 73. Correlación entre Generación de electricidad proveniente de fuentes renovables y Dependencia energética exterior (izquierda), Generación de origen renovable y origen nuclear (centro), Generación de origen nuclear y dependencia energética exterior (izquierda). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Tabla 11. Resumen de la correlación existente entre Generación de electricidad proveniente de fuentes renovables y Dependencia energética exterior (arriba), Generación de origen renovable y origen nuclear (centro), Generación de origen nuclear y dependencia energética exterior (abajo). Fuente: elaboración propia

País	Coefficiente Determinación (Electricidad de origen renovable y DEE)	Coefficiente Correlación (Electricidad de origen renovable y DEE)	Ecuación de regresión
Alemania	0,58713	0,76624	$y_{i1} = 59,7 + 0,0832x_{i1}$
España	0,55893	0,74762	$y_{i2} = 84,2 - 0,2967x_{i2}$
Francia	0,52896	0,72730	$y_{i3} = 58,4 - 0,5914x_{i3}$
Italia	0,8664	0,93081	$y_{i4} = 92,4 - 0,4695x_{i4}$
UK	0,79776	0,89317	$y_{i5} = 7,4 + 2,6338x_{i5}$

País	Coefficiente Determinación (Electricidad de origen renovable y Generación nuclear)	Coefficiente Correlación (Electricidad de origen renovable y Generación nuclear)	Ecuación de regresión
Alemania	0,96519	0,98244	$y_{i1} = 0,3363 - 0,0073x_{i1}$
España	0,51024	0,71431	$y_{i2} = 0,1747 + 0,0009x_{i2}$
Francia	0,83055	0,91135	$y_{i3} = 0,8786 - 0,008x_{i3}$
Italia	-	-	-
UK	0,56462	0,75141	$y_{i5} = 0,2587 - 0,0155x_{i5}$

País	Coefficiente Determinación (Generación Nuclear y DEE)	Coefficiente Correlación (Generación Nuclear y DEE)	Ecuación de regresión
Alemania	0,24884	0,49884	$y_{i1} = 1,5493 - 0,0217x_{i1}$
España	0,50465	0,71039	$y_{i2} = 0,3731 - 0,0023x_{i2}$
Francia	0,85038	0,92216	$y_{i3} = 0,2576 + 0,0102x_{i3}$
Italia	-	-	-
UK	0,55583	0,74554	$y_{i5} = 0,2113 - 0,0013x_{i5}$

La contribución de los sectores económicos en el consumo final de energía resulta una variable de importante monitorización, ya que indica el comportamiento a nivel de demanda de electricidad de las economías productivas de los países. Como se muestra en la parte superior de la Figura 74, aparecen patrones de comportamiento diferentes. Se puede observar que existe una participación desigual del sector industrial en el consumo final de electricidad con un 25,2% en Francia y hasta el 43,7% de Alemania, porcentajes que se invierten, cuando trasladamos la observación al sector terciario (residencial, comercio y servicios) Francia demanda un 72,4% de su electricidad en el sector terciario y Alemania un 54,1%. Por tanto nos encontramos ante un comportamiento sectorial completamente diferente entre países. Respecto al sector transporte es de destacar el estancamiento de Alemania y Francia en los últimos diez años en el consumo de electricidad, así como una tendencia de crecimiento sostenido en Italia y Reino Unido. España, con esa misma tendencia de crecimiento, experimenta dos fuertes escalones en 2011 y 2015, lo que produce un crecimiento total del 110% en la demanda de energía eléctrica en ese sector entre 2007 y 2015, comportamiento muy diferente al de los otros países analizados (Figura 74 abajo-izquierda).

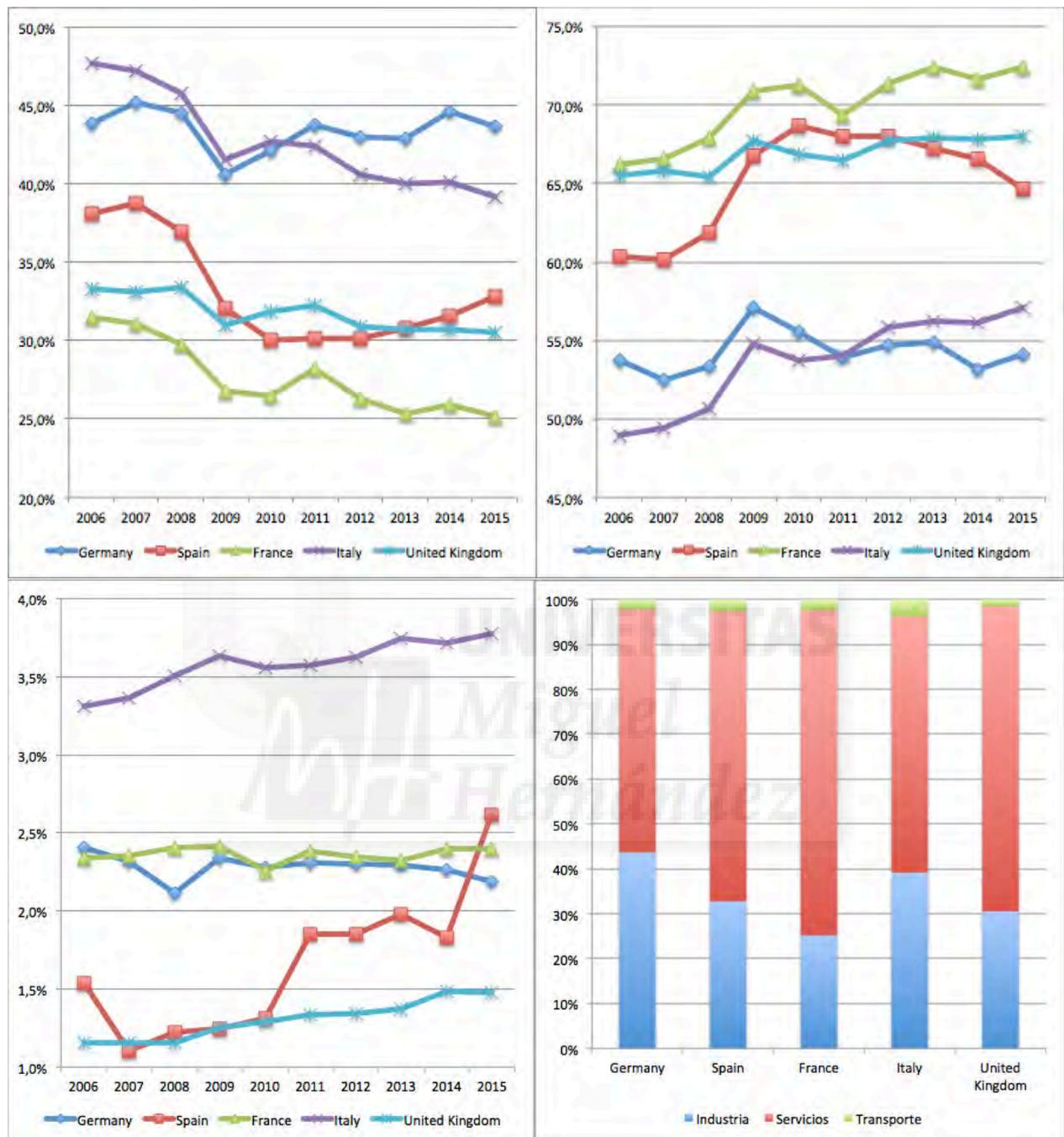


Figura 74. Contribución de consumo final total de energía eléctrica en el sector industrial (arriba-izquierda), en el sector terciario-comercial-residencial-servicios (arriba-derecha) y en el sector transporte (abajo-izquierda) (%). Se representa también las contribuciones por sectores en el año 2015 (abajo derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

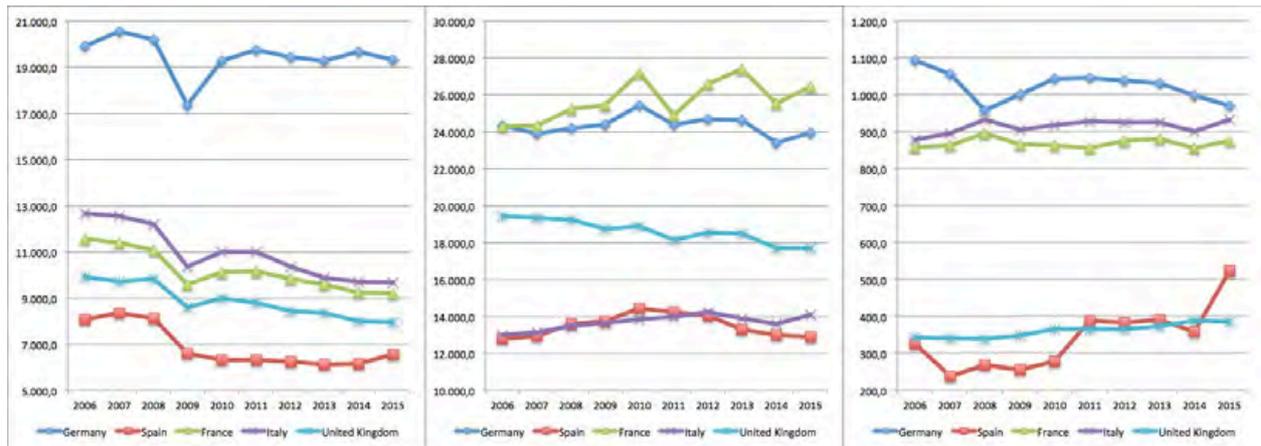


Figura 75. Consumo Final de Electricidad en el sector industrial (izquierda), en el sector terciario: comercial-residencial-servicios (centro) y en el sector transporte (derecha) (miles de Tep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

La evolución en términos absolutos de la demanda de electricidad (consumo final de energía) por sectores agregados (industria, servicios y transporte) mostrado en la Figura 75 muestra una serie de comportamientos que añaden alguna otra información. El año 2009 significa en términos absolutos una reducción muy significativa del consumo de electricidad en el sector industrial, donde se observa que no se han recuperado todavía los valores anteriores a la crisis financiera, ni tan siquiera en Alemania, ya que en el año 2015 consume el 97% de lo consumido en 2007. Así, España, Francia y Reino Unido se colocan en el 80% de lo consumido en 2007 e Italia en el 76,5%. Observando el sector industrial y comparándolo con la evolución de precios en el mercado minorista, se puede evidenciar que no obedece a las reglas de un mercado liberalizado en el cual una reducción de la demanda viene acompañada normalmente de una reducción de los precios, por tanto, si realmente se quiere impulsar una liberalización real en el mercado minorista de la electricidad, sin lugar a dudas debe evolucionar enfocándose hacia una mayor participación de los usuarios en el sector, que irremediamente debe pasar por el impulso a la generación distribuida y el autoconsumo acompañada de una mayor transparencia e información hacia el usuario, que le permita un ámbito de decisión mayor. Por último, en el sector servicios, que no se observa una reducción de la demanda (Figura 74-derecha), será precisamente el sector donde, aún siendo mayor la demanda de electricidad en términos absolutos (Figura 75), el mercado minorista de electricidad no obedece tampoco a las reglas de un mercado liberalizado, como se verá en el siguiente punto.

Se puede observar en la Figura 76 la desagregación por sub-sectores identificando aquellos que son más intensivos en consumo de electricidad: metalúrgico, petroquímico, alimentación y tabaco, imprenta y por último maquinaria. Los datos son referidos a la anualidad 2015.

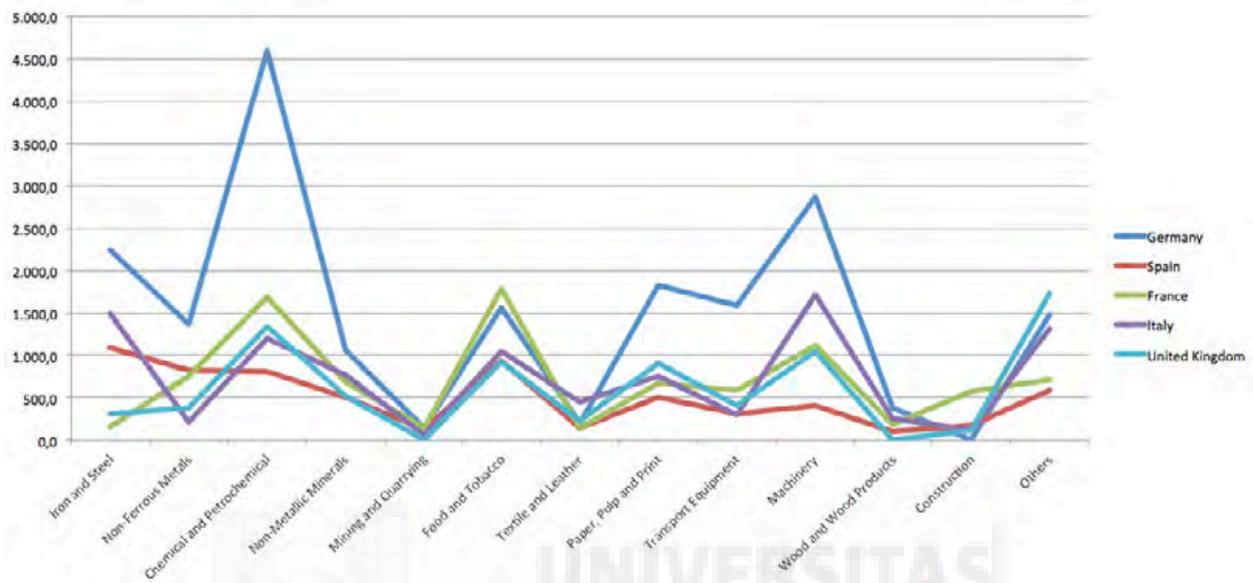


Figura 76. Consumo Final de Electricidad de los diferentes sub-sectores industriales en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por tanto, aunque los valores que se muestran en la Figura 75 ofrecen una reducción en el consumo de energía del sector industrial en todos los países y por tanto significa un dato positivo, será necesario correlacionarlos con el valor añadido en ese sector, para precisamente confirmar que el consumo de energía se debe, o no, a una reducción de la actividad económica, según se muestra en la Figura 77. Como se puede observar, se producen varias pautas de comportamiento. Por un lado, solo Reino Unido y Francia muestran una reducción clara del gasto de electricidad en el sector industrial con un aumento del Valor Añadido en ese sector, por tanto, son los únicos países que obedecen a un comportamiento sostenible en ese sector. Por otro lado Italia y España muestran también una clara correlación en una reducción del gasto de electricidad pero acompañado de también una reducción de su valor añadido en el sector industrial. Por último, en Alemania se identifica un comportamiento no sostenible de crecimiento económico con incremento del consumo de electricidad. El resumen de los coeficientes de correlación y ecuaciones de regresión se muestra en la Tabla 12.

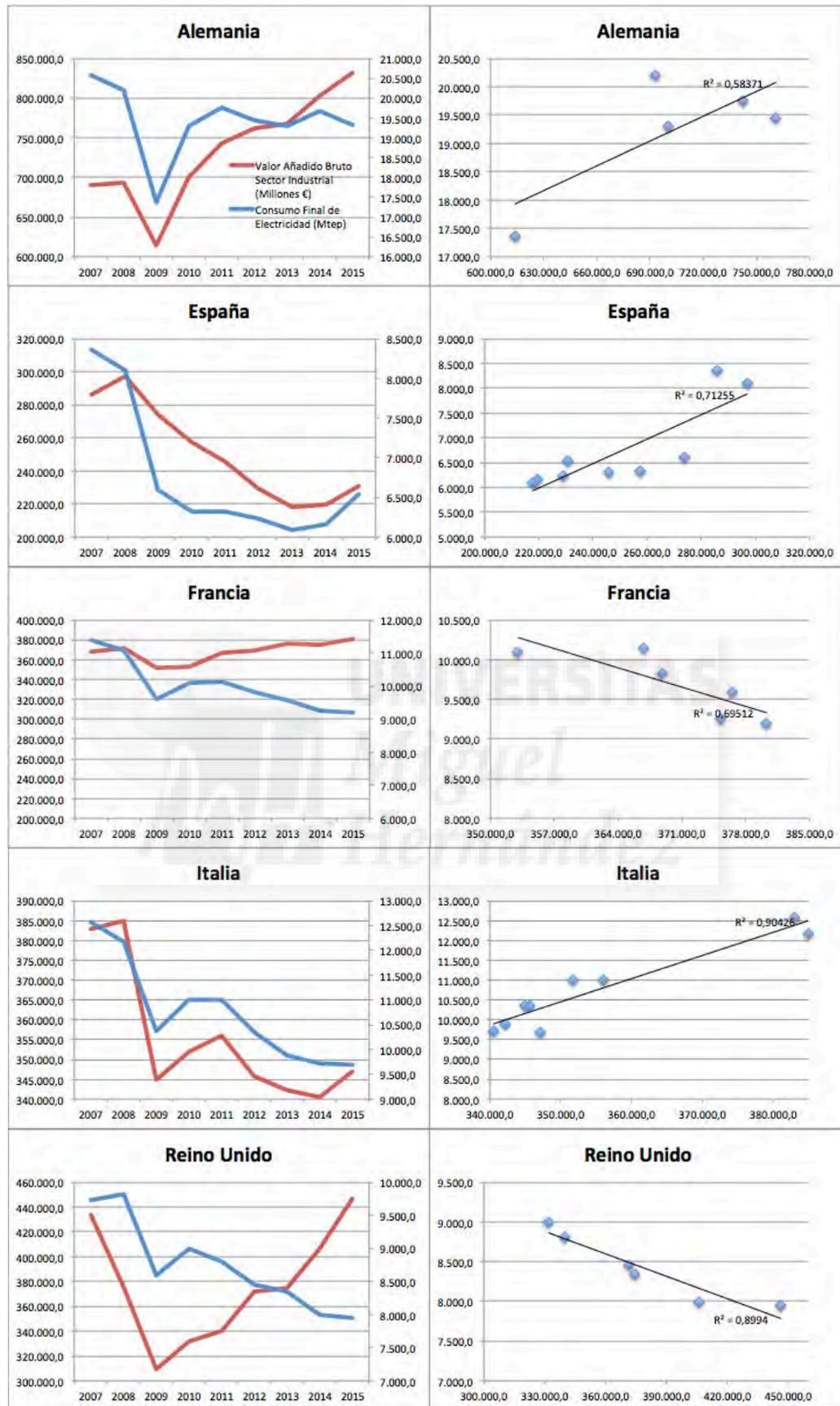


Figura 77. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Industrial (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Industrial (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

**Tabla 12. Correlación entre el Valor Añadido Bruto en el Sector Industrial (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad en el Sector Industrial (Megatep). Fuente: Elaboración propia**

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
Alemania	0,58371	<b>0,76401*</b>	<b>NO</b>	$y_{i1} = 8966,4 + 0,0146x_{i1}$
España	0,71255	<b>0,84413</b>	<b>N/C</b>	$y_{i2} = 559,79 + 0,0247x_{i2}$
Francia	0,69512	<b>0,83374</b>	<b>SI</b>	$y_{i3} = 22565 - 0,0348x_{i3}$
Italia	0,90426	<b>0,95093</b>	<b>N/C</b>	$y_{i4} = -10014 + 0,0585x_{i3}$
UK	0,8994	<b>0,94837</b>	<b>SI</b>	$y_{i5} = 11993 - 0,0094x_i$

*\*Nota: la serie presenta correlación aunque con eliminación de valores anómalos, por tanto se requerirá de un volumen de datos mayor para poder confirmar la tendencia.*

Por otro lado, atendiendo a la evolución del sector servicios, se puede observar en el centro de la Figura 75 una clara tendencia de crecimiento del gasto de electricidad en Italia y una clara tendencia de la reducción del consumo en Reino Unido. Respecto a España crece hasta 2010 y decrece a partir de ese año. Siendo Francia y Alemania, países que muestran una simetría en su consumo situado en la banda entre 24.000 y 26.000 Mtep. Pero entrando más en detalle en la desagregación, como se observa en la Figura 78, se puede observar que el consumo se reparte prácticamente a partes iguales entre el sub-sector residencial y el sub-sector comercio-servicios. Por tanto, para obtener una análisis algo más desagregado con respecto a la actividad económica, será necesario establecer un análisis de correlación en este caso entre consumo de electricidad y valor añadido bruto sólo del sub-sector servicios, que es el que produce valor añadido. Esta información viene recogida en la Figura 79. Como se podía predecir, cambian los comportamientos de los países, manteniéndose sólo Reino Unido en una situación de sostenibilidad. Es de destacar por tanto en el sector servicios un claro comportamiento de insostenibilidad del resto de países, ya que muestran un aumento del valor añadido aumentando también el gasto de electricidad. Se muestra el resumen de correlaciones y ecuaciones de regresión en la Tabla 13.

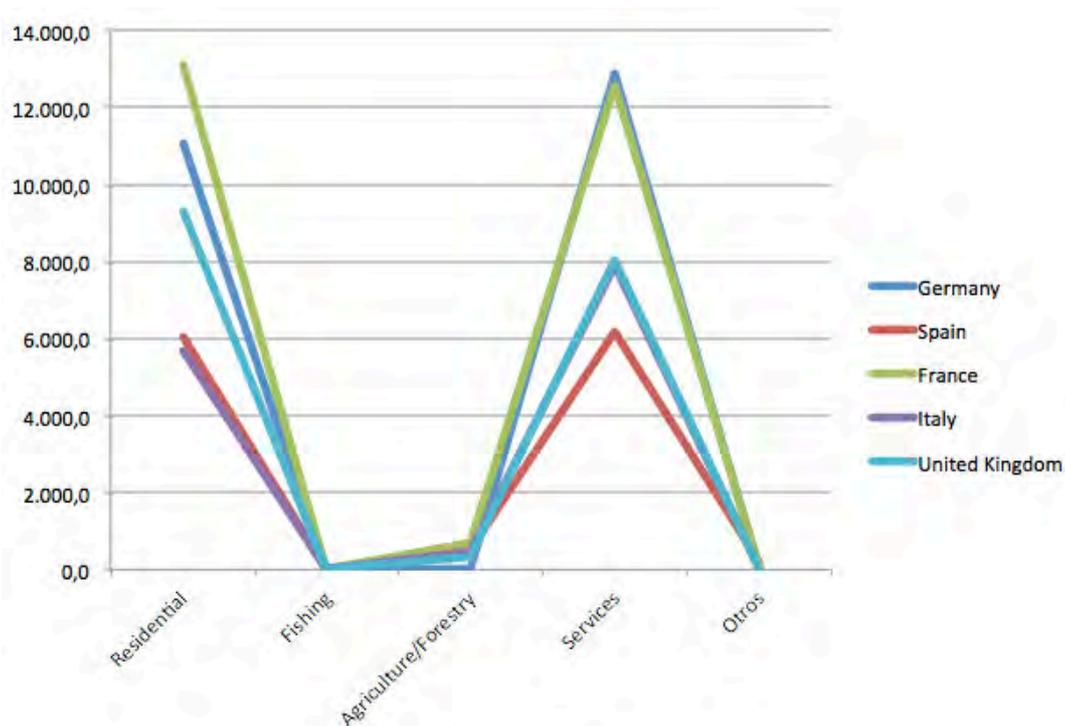


Figura 78. Consumo Final de Electricidad en los sub-sectores terciarios en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Tabla 13. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Servicios (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Servicios (Megatep). Fuente: elaboración propia

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
Alemania	0,42456	<b>0,65158</b>	<b>NO</b>	$y_{i1} = 5346,6 + 0,0048x_{i1}$
España	0,72623	<b>0,85219</b>	<b>NO</b>	$y_{i2} = -2889,4 + 0,0148x_{i2}$
Francia	0,85229	<b>0,92320</b>	<b>NO</b>	$y_{i3} = -196,26 + 0,0088x_{i3}$
Italia	0,77588	<b>0,88084</b>	<b>NO</b>	$y_{i4} = -8548,6 + 0,0162x_{i4}$
UK	0,65374	<b>0,80854*</b>	<b>SI</b>	$y_{i5} = 9539,4 - 0,0009x_{i5}$

\*Nota: la serie presenta correlación aunque con eliminación de valores anómalos, por tanto se requerirá de un volumen de datos mayor para poder confirmar la tendencia

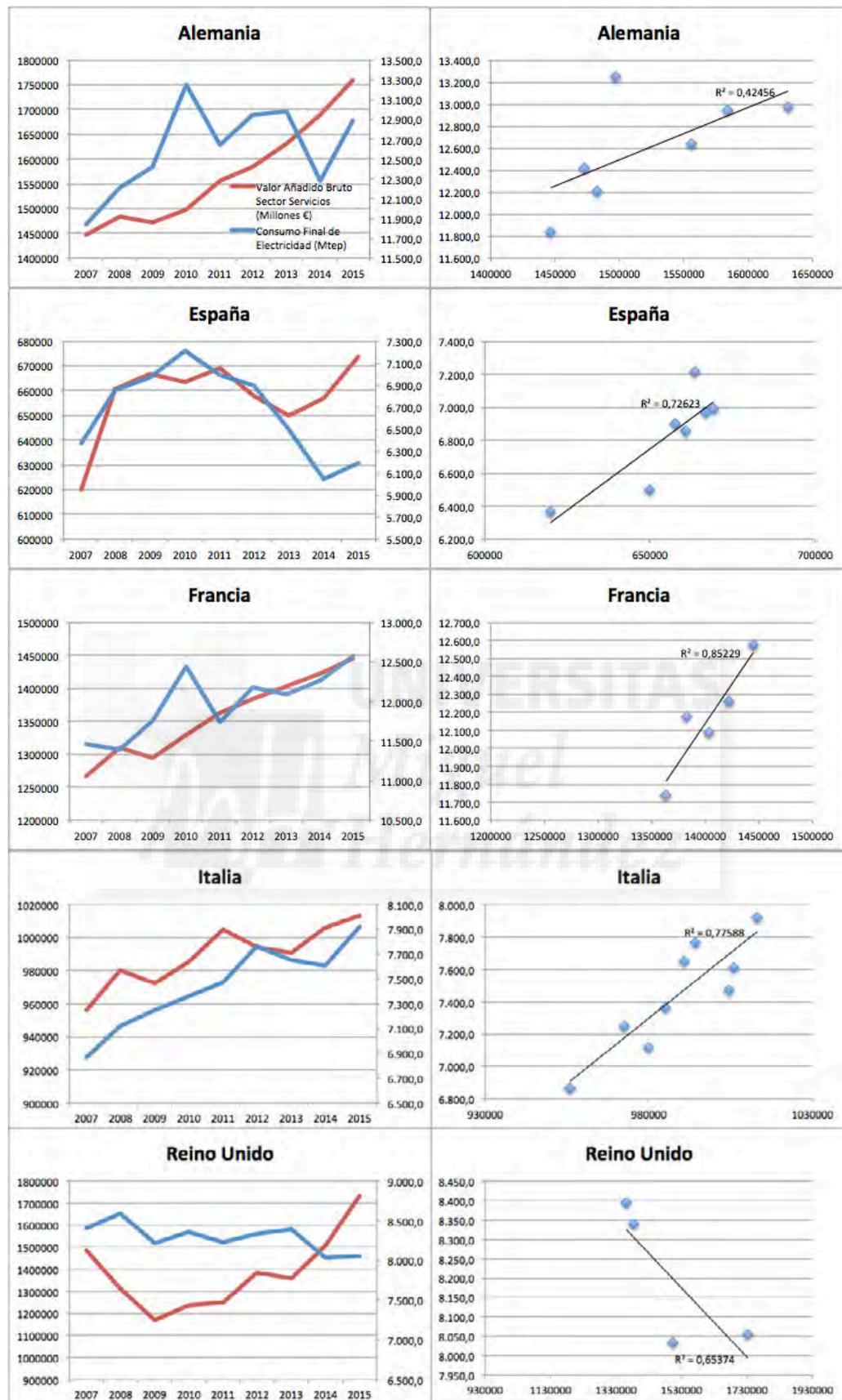


Figura 79. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Servicios (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Servicios (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por último, atendiendo al sector transporte (Figura 75-derecha), importante destacar la situación de consumo de electricidad en la que se encuentran Alemania, Italia y Francia en la banda entre 800 y 1000 Mtep, muy alejada de la situación de España y Reino Unido, que se enmarcan en la banda de entre 400 y 500 Mtep, ciertamente la mitad que los otros 3 países. Entrando en la desagregación del sector transporte (Figura 80), se puede observar que la mayor parte del gasto se presenta en el ferrocarril, siendo el transporte por carretera en España y Francia la mitad y un tercio de los consumos de electricidad en el ferrocarril respectivamente.

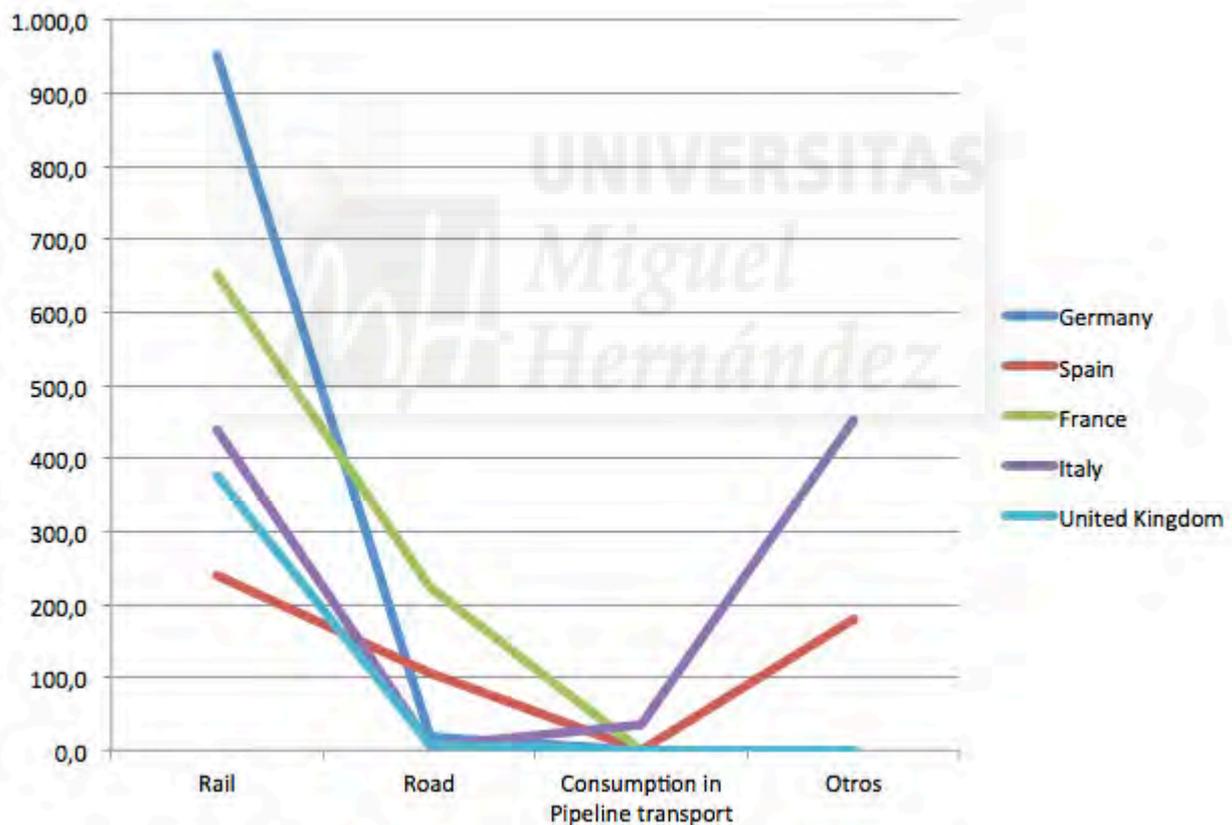


Figura 80. Consumo Final de Electricidad en los sub-sectores del transporte en países de la UE (Mtep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

No se ha podido evidenciar la estructura de desagregación en este sector, donde será muy necesario establecerla de forma que permita conocer el comportamiento de los consumos finales de electricidad por sub-sectores, sobretodo ante la irrupción de las diversas formas de consumo de electricidad en el transporte por carretera en los próximos años a través de puntos de recarga, calzadas de recarga, o vehículos de naturaleza híbrida o híbrida-enchufable (Figura 81).

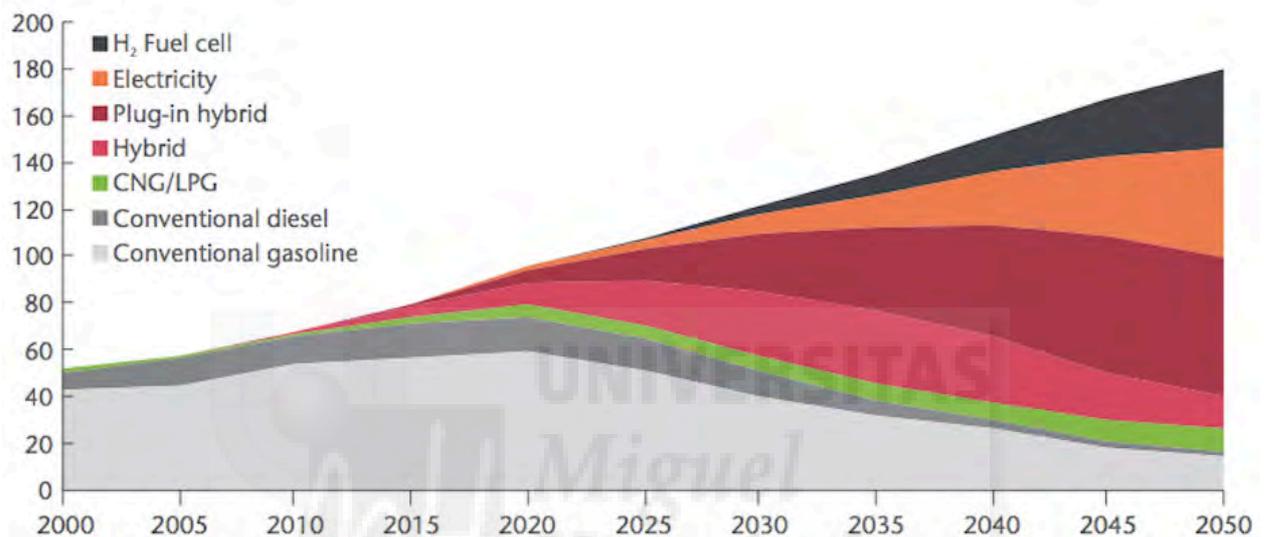


Figura 81. Evolución esperada de ventas de vehículos ligeros por tipo de combustible (Millones de unidades).  
Fuente: (OECD/IEA Technology Roadmap, 2011)

Por tanto, la correlación analizada obedece a valores de consumo total de electricidad en el sector del transporte de forma agregada y el valor añadido bruto en ese sector (Figura 82), ya que respecto a la desagregación de la fuente de datos (EUROSTAT - European Commission, 2016) se desconocen los criterios utilizados por los países para contabilizar lo referido al consumo de electricidad: por ejemplo en el apartado “otros” se contabilizan consumos de la misma magnitud que en el ferrocarril en España e Italia, o consumos de electricidad en carretera sólo contabilizados en Francia y España.

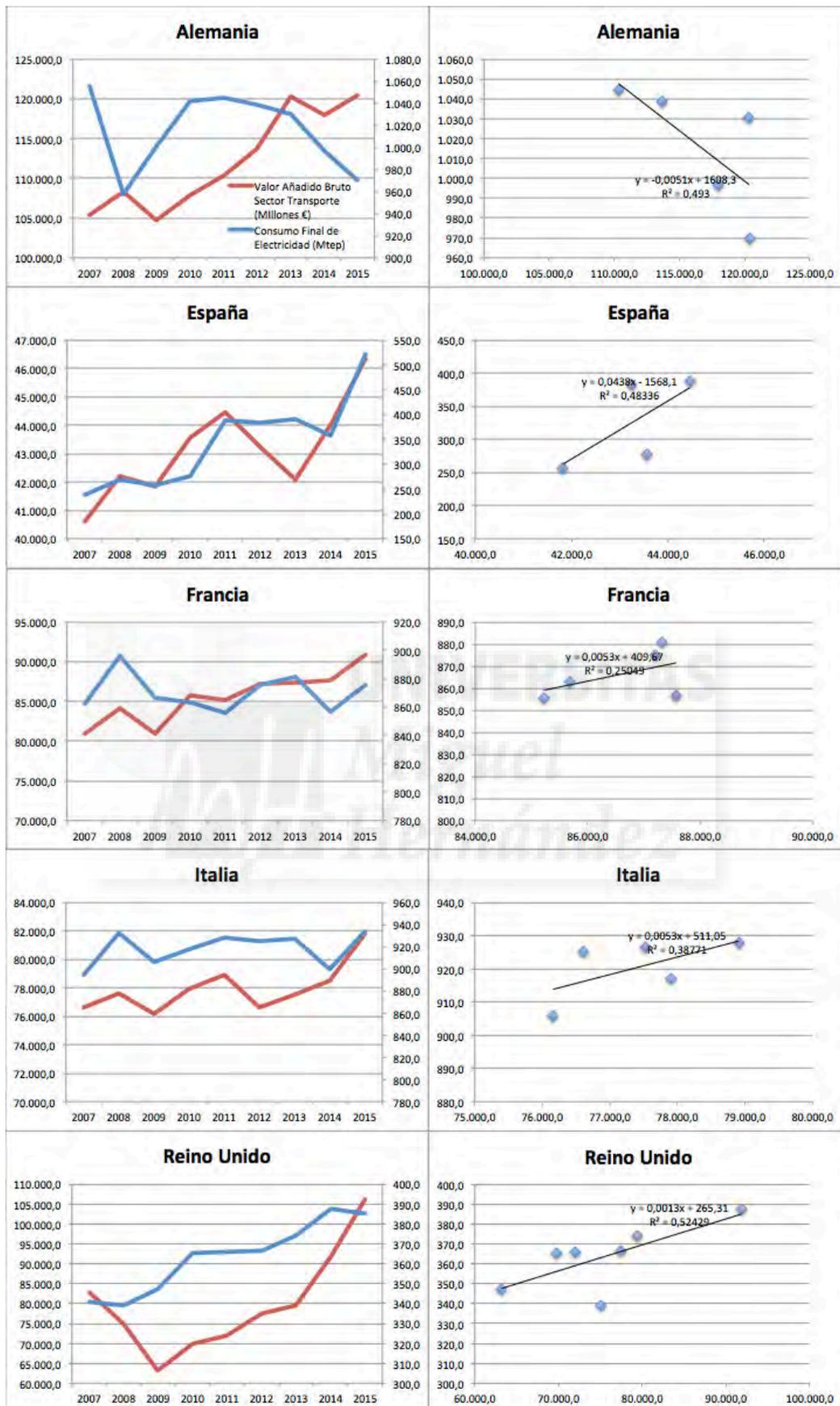


Figura 82. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Transporte (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

**Tabla 14. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Electricidad Sector Transporte (Megatep). Fuente: Elaboración propia**

País	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
Alemania	0,493	<b>0,70214*</b>	<b>SI</b>	$y_{i1} = 1608,3 - 0,0051x_{i1}$
España	0,48336	<b>0,69524*</b>	<b>NO</b>	$y_{i2} = -1568,1 + 0,0438x_{i2}$
Francia	0,25049	<b>0,50049*</b>	<b>NO</b>	$y_{i3} = 409,67 + 0,0053x_{i3}$
Italia	0,38771	<b>0,62266*</b>	<b>NO</b>	$y_{i4} = 511,05 + 0,0053x_{i4}$
UK	0,52429	<b>0,72408</b>	<b>NO</b>	$y_{i5} = 265,31 + 0,0013x_{i5}$

*\*Nota: la serie presenta correlación aunque con eliminación de valores anómalos, por tanto se requerirá de un volumen de datos mayor para poder confirmar la tendencia*

Las correlaciones obtenidas en la Tabla 14 entre el valor añadido bruto en el sector transporte y consumo de electricidad en ese sector, son reducidas en comparación con los anteriores sectores (industria y servicios) además de que las series de datos obtenidas, con un tamaño de muestra final muy reducido, complica aún más la validación de los resultados. No obstante, Alemania es el único país que presenta un comportamiento sostenible en la evolución del sector transporte, siendo el país con mayor consumo de electricidad en ese sector. No obstante la obtención de esta correlación, carece de un vector importante en la contabilización de energía consumida: en todos los países estudiados (Figura 26 - abajo), el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles (en concreto los combustibles derivados del petróleo y sumando el gas en el caso de Italia) sigue significando un alto porcentaje del consumo final de energía en el sector, por tanto, es lógico que los resultados difieran de forma significativa de los sectores industrial y servicios anteriormente analizados, donde la contribución del consumo de electricidad en el consumo final de energía es mucho mayor (Figura 74), por tanto es necesario establecer una última correlación en el sector transporte, teniendo en cuenta el consumo final de energía de todas las fuentes, tal y como se muestra en la Figura 83.

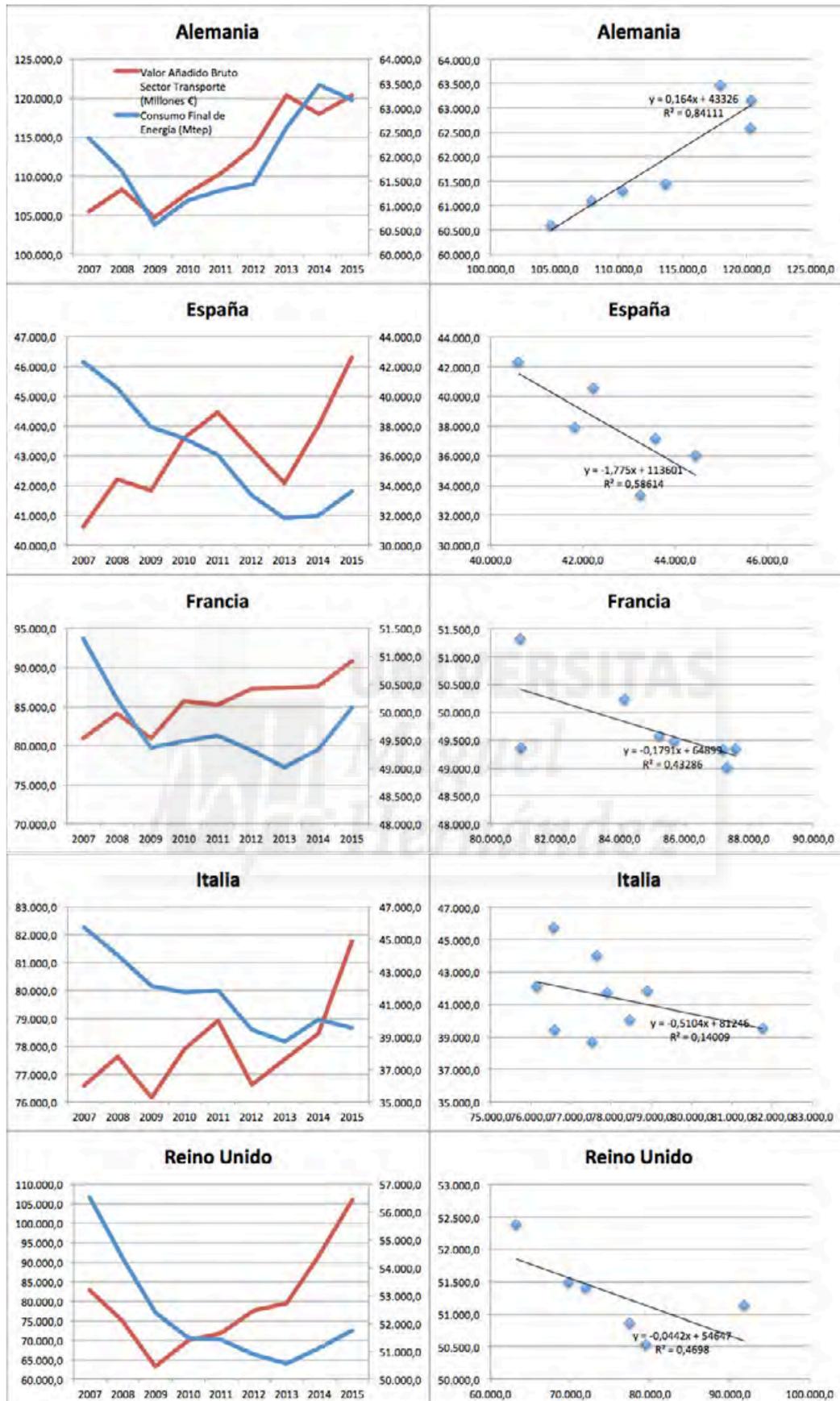
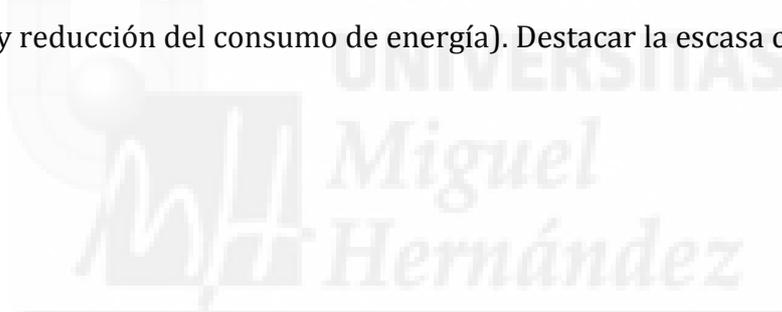


Figura 83. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Energía Sector Transporte (Megatep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

**Tabla 15. Correlación entre el Valor Añadido Bruto Sector Transporte (Millones de €) y el Consumo Final de Energía Sector Transporte (Megatep). Fuente: Elaboración propia**

País	Coficiente Determinación	Coficiente Correlación	Sostenibilidad	Ecuación de regresión
Alemania	0,84111	<b>0,91712</b>	<b>NO</b>	$y_{i1} = 43326 + 0,164x_{i1}$
España	0,58614	<b>0,76560</b>	<b>SI</b>	$y_{i2} = 113601 - 1,775x_{i2}$
Francia	0,43286	<b>0,65792</b>	<b>SI</b>	$y_{i3} = 64899 - 0,1791x_{i3}$
Italia	0,14009	<b>0,37429</b>	<b>SI</b>	$y_{i4} = 81246 - 0,5104x_{i4}$
UK	0,4698	<b>0,68542</b>	<b>SI</b>	$y_{i5} = 54647 - 0,0442x_{i5}$

Como se puede observar en la Tabla 15 las correlaciones obtenidas al comparar el sector transporte en su globalidad (Consumo de Energía Final proveniente de todas las energías y Valor Añadido Bruto del sector) mejoran, pero se invierten los comportamientos: Alemania pasa a ser el único no sostenible del grupo, además con la mayor correlación, mientras que el resto de países se comportan en este sector de una forma sostenible (crecimiento del valor añadido y reducción del consumo de energía). Destacar la escasa correlación existente en Italia.



### 3 Aproximación al comportamiento de los mercados mayorista y minorista

#### 3.1 Introducción

La Unión Europea está emergiendo de una profunda crisis financiera y varias autoridades europeas han reconocido en diferentes informes económicos que la competitividad es la clave para el crecimiento económico y la creación de empleo. En relación a eso, también es un aspecto clave alcanzar los objetivos en materia medioambiental, así como lograr una mayor armonización en materia energética para Europa, garantizando una estabilidad de los precios de la energía para las empresas. Las políticas energéticas, por tanto, pueden tensionar en gran medida esos precios, generando distorsiones notables si además se vinculan a indicadores socioeconómicos como pueden ser la renta per cápita, la productividad o la anteriormente indicada intensidad energética de la economía.

En el sector eléctrico, las previsiones indican de un futuro incremento de los costes de generación, debido a las inversiones necesarias para revertir la dependencia de combustibles fósiles en el mix, así como el aumento de los precios de esos combustibles y los costes de inversión para reforzar la red y las interconexiones, junto a las políticas de eficiencia que se impulsen y que permitirán reducir la demanda de electricidad y por tanto, el denominador para repercutir los costes de ese sector. Como resultado se prevé un aumento del precio promedio de la electricidad en el periodo 2010-2020 de un 31% (Comisión Europea, 2014). Además, la excesiva regulación y jerarquización de agentes existente en el sector eléctrico limita la posibilidad de un comportamiento que obedezca a reglas de libre mercado, por otro lado comprensible, ya que se trata de un bien muy tecnificado que requiere unas reglas y una estratificación de agentes para que el flujo físico de electricidad y el flujo económico puedan producirse de una forma adecuada (Figura 84).

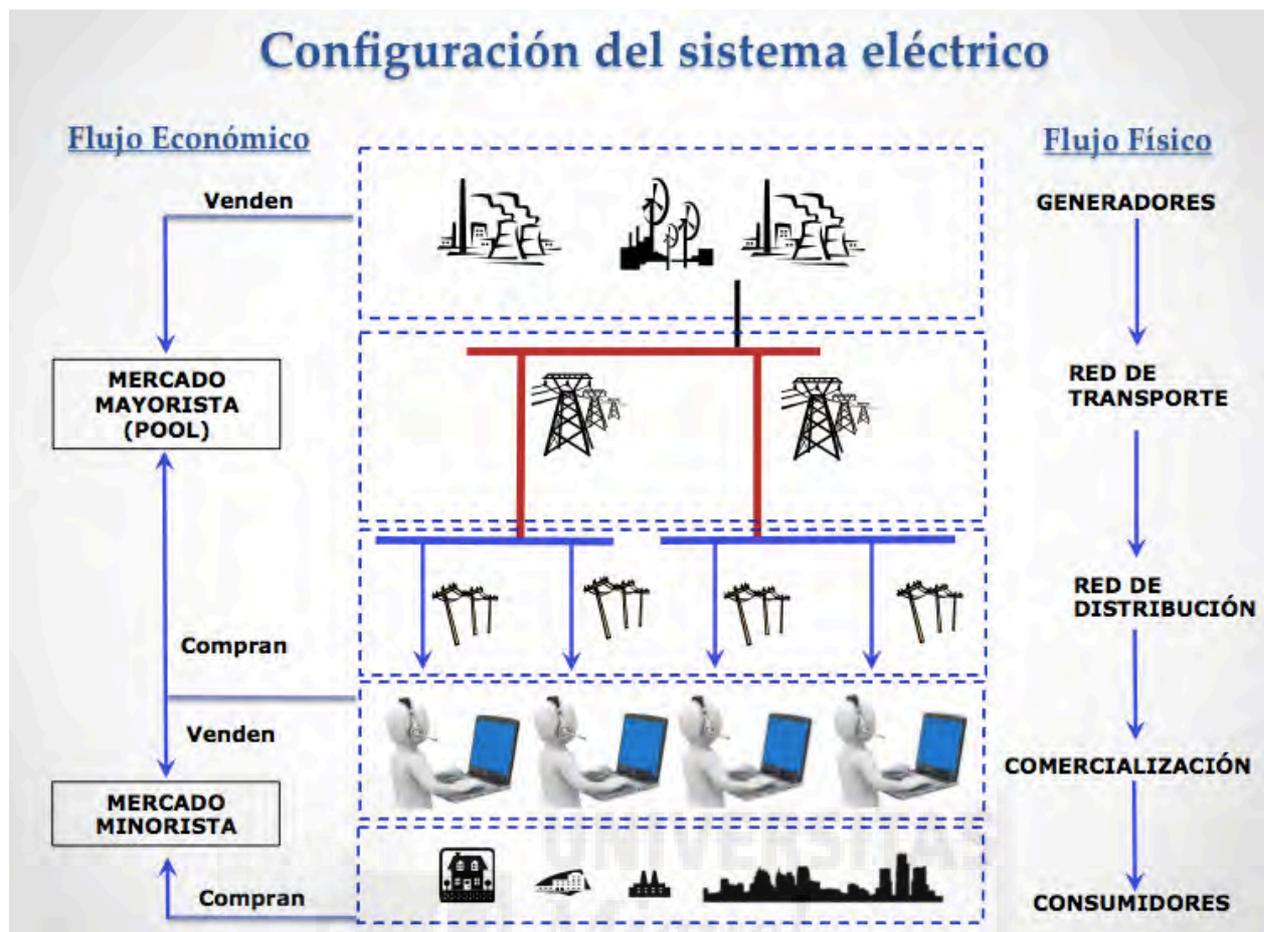


Figura 84. Configuración del sistema eléctrico. Flujos físico y económico. Fuente: elaboración propia

Además, la infraestructura de generación se encuentra sobredimensionada en varios países de la Unión Europea (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016) ante la falta de previsión y la crisis económica que sin lugar a dudas ha afectado a la oferta. Por tanto existe una infraestructura de generación con una sobrecapacidad para atender esa demanda dos o tres veces superior a lo dictado en normas internacionales, en España monitorizado a través del índice de cobertura (la sobrecapacidad en España ha crecido de 2007 a 2014 casi en un 20% (REE - Red Eléctrica de España, 2016) llegando a un índice de cobertura mínimo de 1,45 en octubre de 2014 (Figura 85) y aproximadamente una sobrecapacidad de casi el 40% en Gran Bretaña (Figura 86), lo que en teoría es un factor que distorsionará el mercado mayorista y se deberá trasladar al minorista. En un mercado en perfecta competencia este efecto simplemente reduciría los precios dado que desplazaría la oferta más allá de la demanda, pero en un mercado muy tecnificado y regulado como el sector eléctrico, puede producir efectos adversos junto a las restricciones técnicas, las inversiones realizadas en base a la previsión de demanda, la retribución a los

agentes y la tarifa de acceso, que son instrumentos que es necesario financiar, entre otros, y regulan en gran medida el sector por lo que no puede otorgársele un comportamiento de mercado en libre competencia (Martínez A. &, 2014) (García Álvarez & Moreno, 2016). Además, en la mayoría de los estados miembros de la UE, el efecto liberalizador en los mercados mayoristas no se traslada a los mercados minoristas, debido a los anteriores instrumentos regulatorios, sin citar los impuestos y tasas, que se observarán en este apartado (Comisión Europea. Market Observatory & Statistics, 2014).

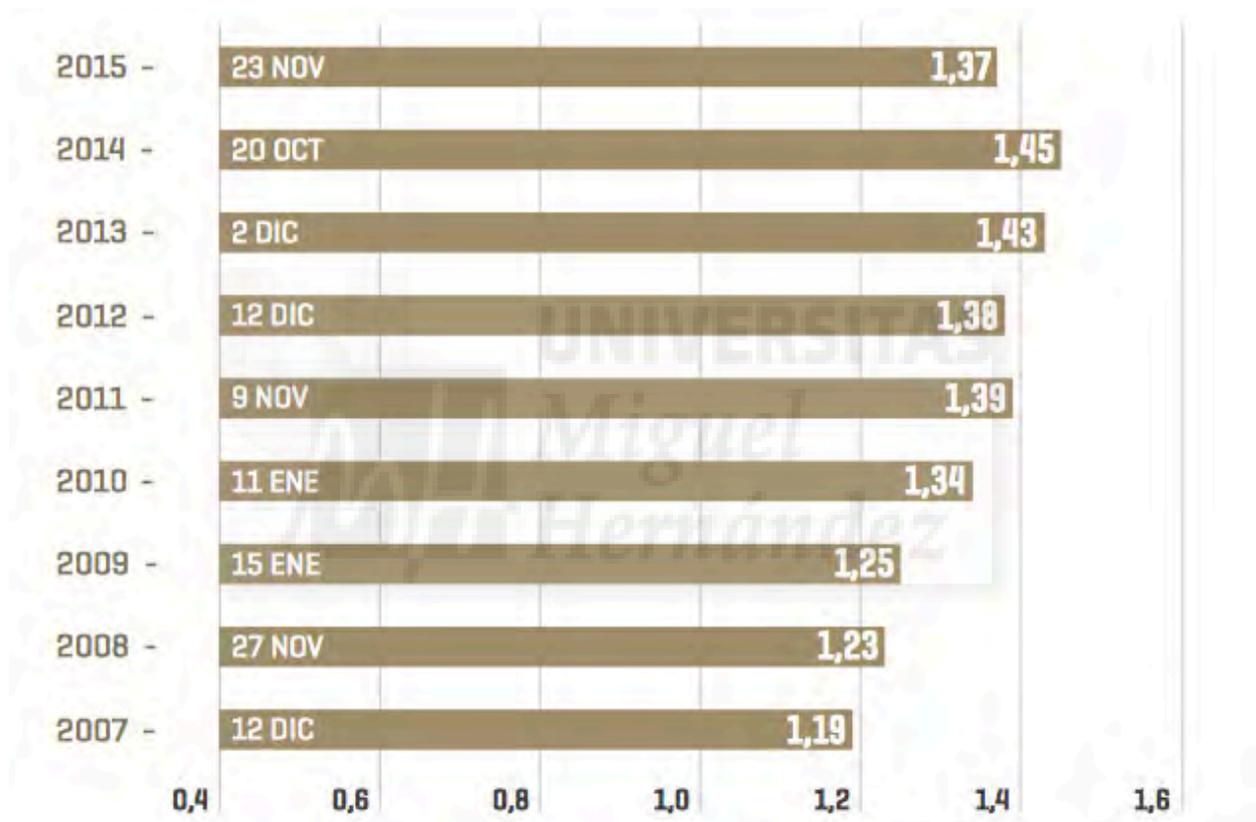


Figura 85. Índice de cobertura mínimo peninsular en España  $I_{Cmin} = \text{Min}[P_d/P_s]$   $P_d$ =Potencia disponible en el sistema y  $P_s$ =Punta de potencia demandada al sistema. Fuente: (REE - Red Eléctrica de España, 2016)

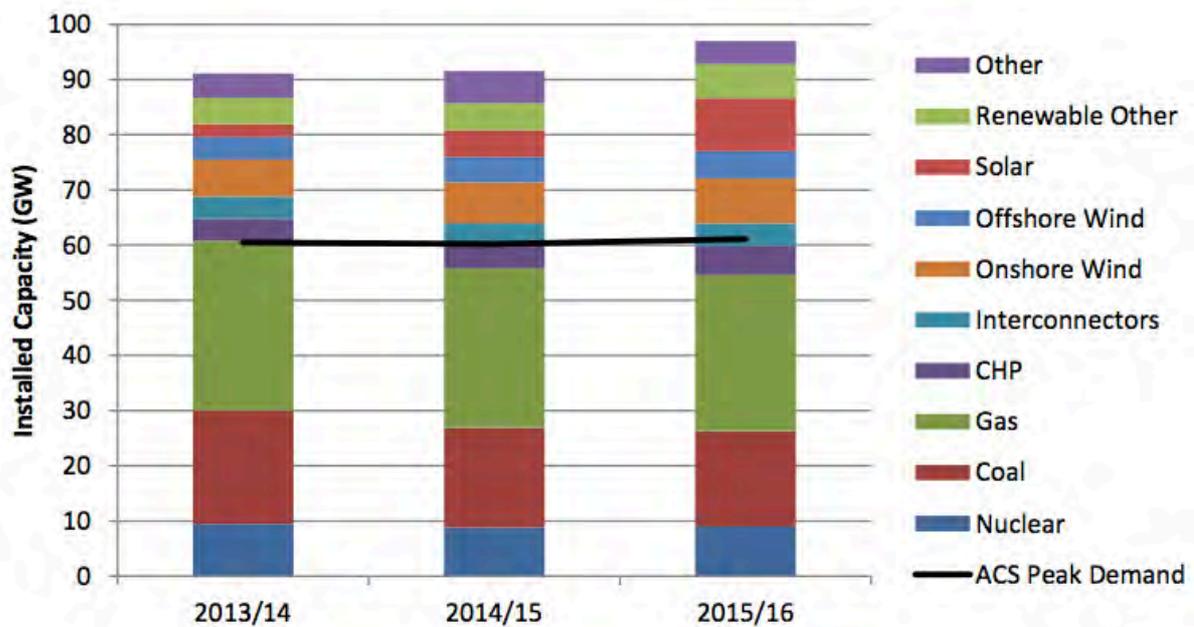
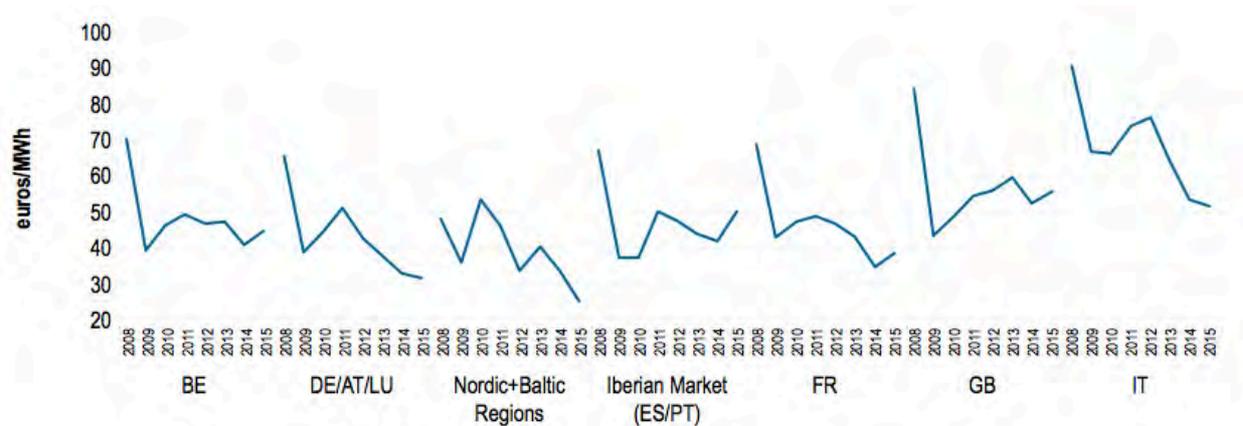


Figura 86. Capacidad total instalada (GW) en Gran Bretaña. Fuente: (OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority, 2016)

### 3.2 Mercado mayorista de electricidad

Es evidente que la configuración del mix eléctrico y la gestión operacional y de infraestructura de la red afectará directa a los precios de la electricidad en el mercado mayorista, además de los aspectos geopolíticos, socioeconómicos y en general coyunturales. Como se puede observar en la Figura 87, en 2015 los precios del mercado mayorista de electricidad en muchos mercados europeos, han prolongado su descenso iniciado en 2011. La caída de precios en las regiones Báltica y Nórdica han sido más pronunciadas que en cualquier otra región debido a unas reservas de agua por encima de lo habitual, sobretodo en Noruega y Suecia. Otros mercados han sufrido incrementos de precios ya en 2015, como por ejemplo en España por la reducción de su capacidad de generación hidráulica o como en Bélgica debido a que el 24% de su capacidad nuclear se ha visto mermada por paradas técnicas durante casi todo el año. Se observa también un ligero aumento de los precios al por mayor en Francia y Gran Bretaña (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016).



**Figura 87. Precios en el mercado mayorista de la electricidad en algunos países de la Unión Europea durante los años 2008 a 2015 (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016)**

Hasta hace pocos años, las previsiones de los precios en los mercados mayoristas de electricidad, vaticinaban un irremediable crecimiento de la Volatilidad<sup>32</sup> de los mismos debido a la penetración de la generación intermitente debido a la naturaleza de las fuentes renovables: un incremento en la frecuencia de periodos de precios bajos de las renovables reducirían los factores de carga de las plantas de generación convencional y con ello sus ingresos. Esta falta de ingresos se compensaría con un incremento en la frecuencia de periodos de precios pico. Sin embargo, como se puede observar en las siguientes figuras, estas previsiones no se han producido y la Volatilidad ha sido significativamente baja en 2014 y 2015, y ese patrón de comportamiento ha podido observarse en muchos mercados mayoristas de electricidad de países europeos Figura 90. Por otro lado, el número de horas con precios cero o negativos en el mercado mayorista, correlaciona con un aumento sostenido de la generación de origen renovable como se puede observar en la Figura 91 (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016).

<sup>32</sup> La volatilidad se define como la variación de unas observaciones respecto a su media en un periodo de tiempo determinado. Se mide obteniendo la desviación estándar de las observaciones que se han producido en el periodo.

Para analizar la dispersión de los precios en el mercado mayorista de electricidad se utilizará la siguiente expresión general de cálculo de la desviación típica de una muestra de observaciones:

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

**Ecuación 13. Expresión general de la Desviación típica de una muestra de observaciones**

Partiendo de esa expresión, el análisis se fundamenta en cuatro vectores. Por un lado el cálculo de la desviación típica correspondiente a los rangos de precios diarios en el mercado mayorista de electricidad (diferencia entre el precio máximo diario y precio mínimo diario), que se denominará Volatilidad. Por otro lado la desviación típica correspondiente a los precios mínimos diarios en el mercado mayorista, que se denominará Frecuencia de Precios Bajos. Como tercer vector se analizará la desviación típica correspondiente a los precios máximos diarios en el mercado mayorista, que se denominará Frecuencia de Precios Pico en un periodo de tiempo correspondiente a una anualidad. Y por último, se analizará la desviación típica correspondiente a los precios medios aritméticos diarios, que se denominará Frecuencia de Precios Medios.

Por tanto la expresión de la Volatilidad de los rangos de precio diarios en el mercado mayorista de electricidad analizada es la siguiente:

$$V_a^p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(P_{max} - P_{min})_i - \overline{(P_{max} - P_{min})}]^2}{n - 1}}$$

**Ecuación 14. Expresión de la Volatilidad de los rangos de precio diarios en el mercado mayorista de electricidad**

Donde:

$V_a^p$ , Volatilidad de los rangos de precios diarios del país "p" en el año "a" (€/MWh)

$P_{max} - P_{min}$ , Rango de precios máximo-mínimo diario (€/MWh)

Por otro lado, la expresión de Frecuencia de Precios Bajos es la siguiente:

$$FPB_a^p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(P_{min})_i - \overline{(P_{min})}]^2}{n - 1}}$$

**Ecuación 15. Expresión de la Frecuencia de Precios Bajos diarios en el mercado mayorista de electricidad**

Donde:

$FPB_a^p$ , Frecuencia de Precios Bajos del país "p" en el año "a" (€/MWh)

$P_{min}$ , Precio mínimo diario (€/MWh)

La expresión de Frecuencia de Precios Pico es la siguiente:

$$FPP_a^p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(P_{max})_i - \overline{(P_{max})}]^2}{n - 1}}$$

**Ecuación 16. Expresión de la Frecuencia de Precios Pico diarios en el mercado mayorista de electricidad**

Donde:

$FPP_a^p$ , Frecuencia de Precios Pico del país "p" en el año "a" (€/MWh)

$P_{max}$ , Precio máximo diario (€/MWh)

Para finalizar, la expresión de Frecuencia de Precios Medios es la siguiente:

$$FPM_a^p = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(P_{med})_i - \overline{(P_{med})}]^2}{n - 1}}$$

**Ecuación 17. Expresión de la Frecuencia de Precios Medios diarios en el mercado mayorista de electricidad**

Donde:

$FPM_a^p$ , Frecuencia de Precios Medios del país "p" en el año "a" (€/MWh)

$P_{med}$ , Precio medio aritmético diario (€/MWh)

En la siguiente figura se muestran los vectores indicados para varios años en España y se puede observar la reducción de las Frecuencias de Precios Pico, y también de la Volatilidad. También se puede observar un incremento en la Frecuencia de los precios medios y bajos.

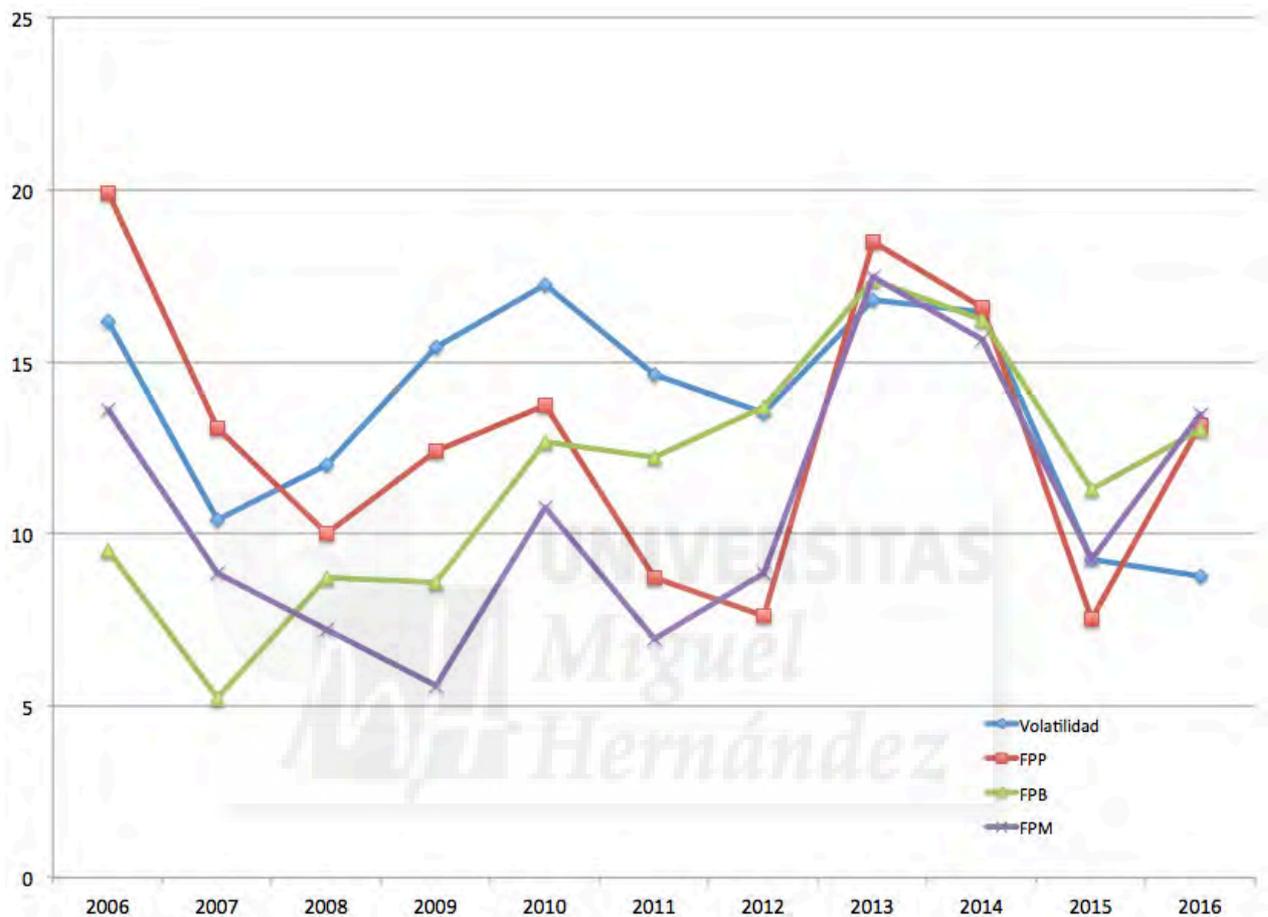


Figura 88. Representación de las desviaciones típicas correspondientes a precios diarios de la electricidad. Fuente: (OMIE, 2017)

Para poder confirmar las tendencias, se resumen en la Tabla 16 las correlaciones de los vectores que aparecen en la Figura 88 correlacionados en la Figura 89: Volatilidad, Frecuencia de Precios Pico, Frecuencia de Precios Bajos y Frecuencia de Precios Medios en España.

Tabla 16. Resumen de las correlaciones realizadas de Volatilidad, FPP, FPB y FPM en España. Fuente: (OMIE, 2017) y elaboración propia

	Coefficiente Determinación	Coefficiente Correlación	Ecuación de regresión
<b>Volatilidad</b>	0,46931	<b>0,68506</b>	$y_{i1} = 1878,4 - 0,9278x_{i1}$
<b>FPP</b>	0,62348	<b>0,78961</b>	$y_{i2} = 3018,4 - 1,4964x_{i2}$
<b>FPB</b>	0,92067	<b>0,95952</b>	$y_{i3} = -3224,3 + 1,6104x_{i3}$
<b>FPM</b>	0,65551	<b>0,80964</b>	$y_{i4} = -4140,6 + 2,0669x_{i4}$

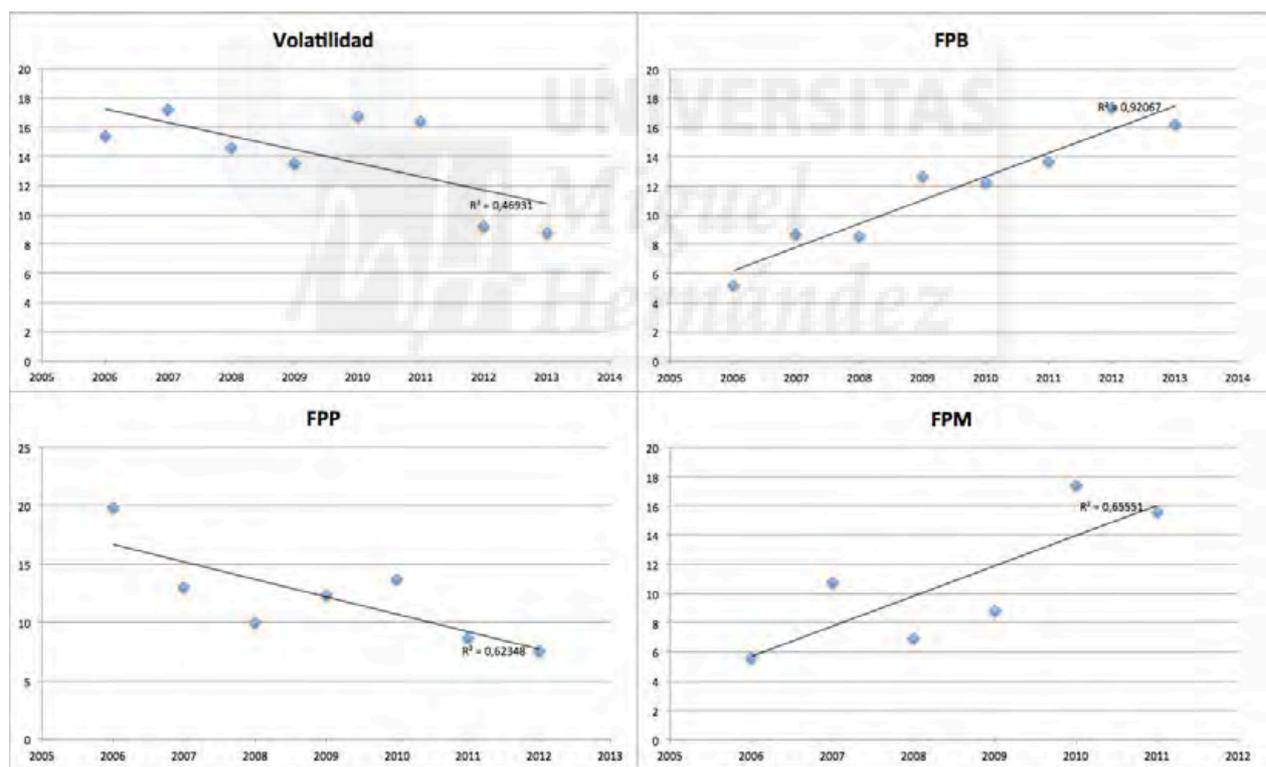


Figura 89. Correlaciones de Volatilidad, FPP, FPB, FPM en España. Fuente: (OMIE, 2017) y elaboración propia

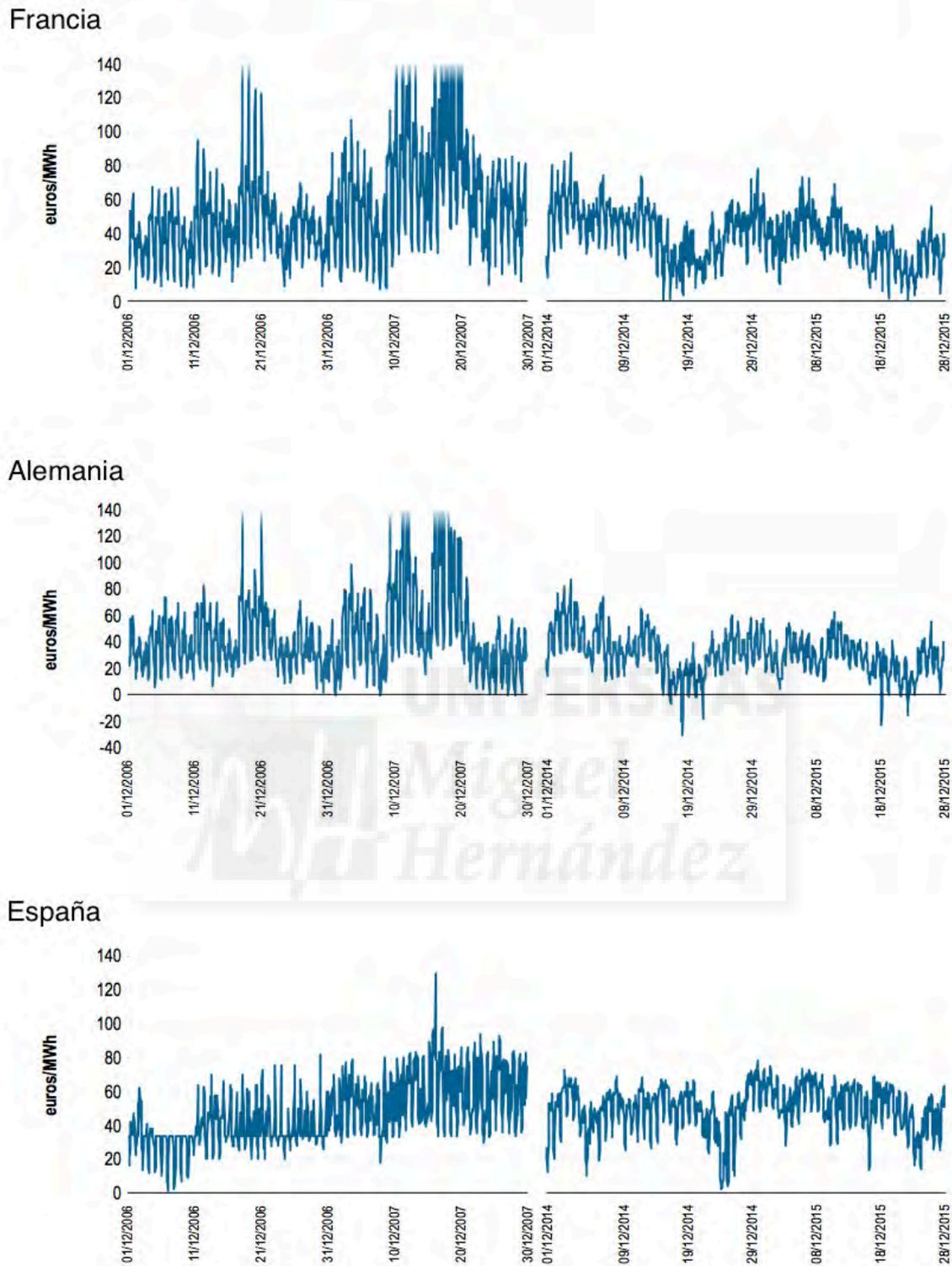


Figura 90. Precios horarios del mercado mayorista de electricidad (Day-Ahead) en varios países de la UE en los meses de Diciembre de 2006, 2007, 2014 y 2015 (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016)

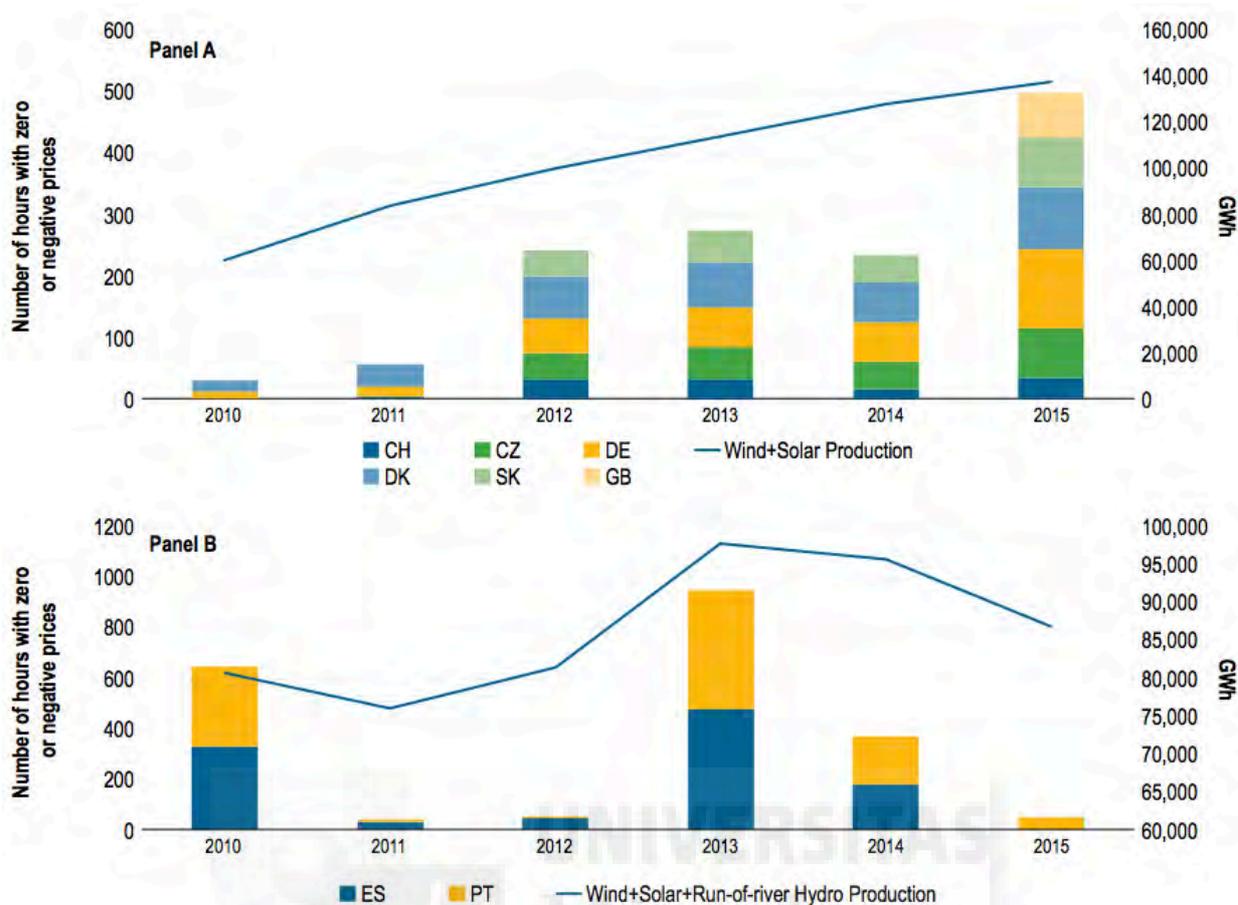


Figura 91. Correlación en la frecuencia de precios cero o negativos en el mercado mayorista de electricidad en varios países europeos respecto a la generación de electricidad de naturaleza renovable en GWh. Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016)

Por último, el número de horas con precios pico de electricidad en el mercado mayorista se han reducido de forma significativa durante la última década. Esta situación se puede observar también representando curvas monótonas de los niveles de precios y su frecuencia en horas tal y como se muestra en la Figura 92. No obstante, no se debe perder de vista el aspecto de la sobrecapacidad en los mercados europeos, que también han contribuido a esa reducción de los precios pico y de la Volatilidad (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016).

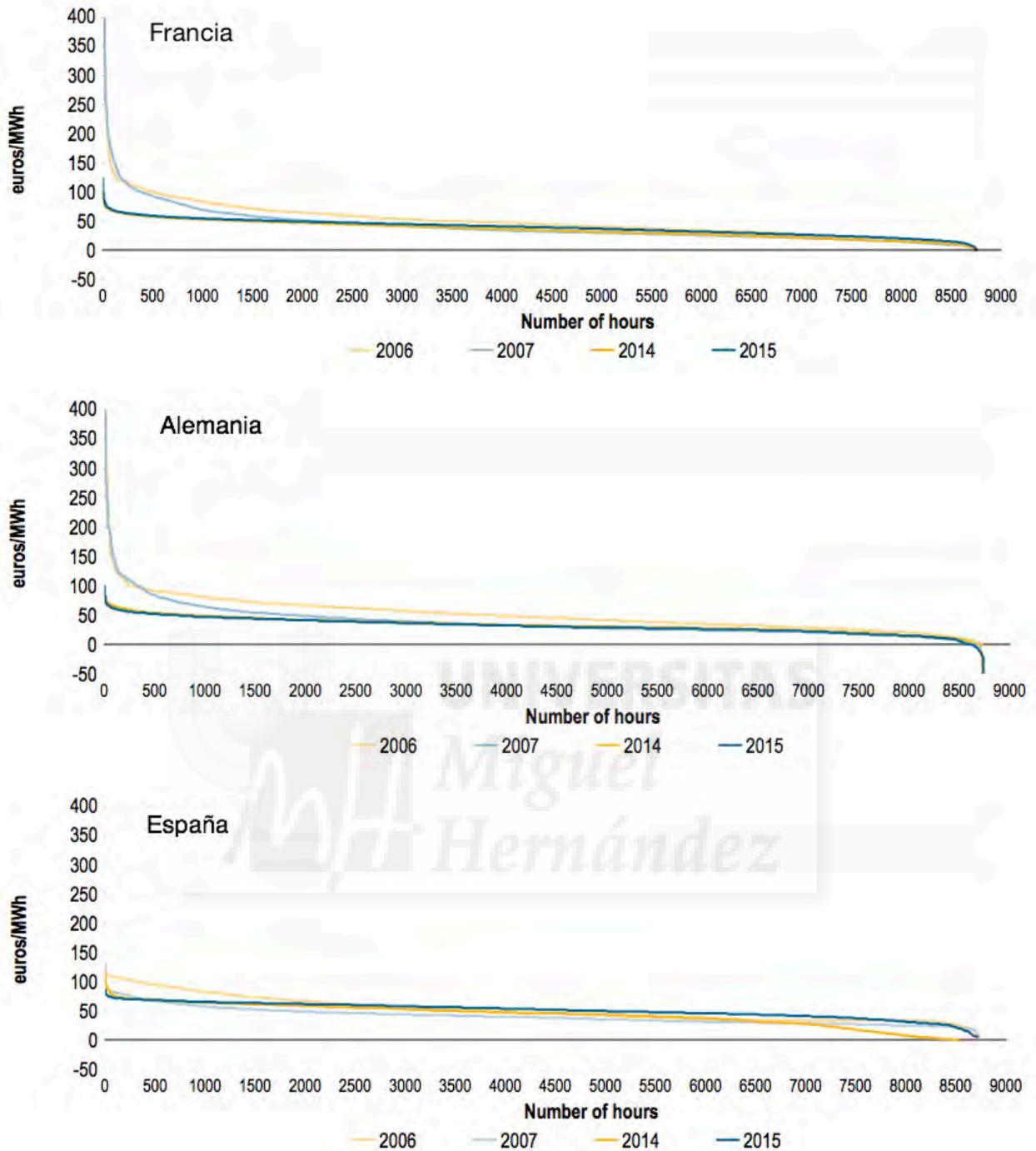


Figura 92. Curva monótona de precios mayoristas de electricidad por frecuencia horaria en algunos países europeos (€/MWh). Fuente: (ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators, 2016)

### 3.3 Mercado minorista de electricidad

En la Figura 93 (izquierda) se representa la distribución de costes en el mercado minorista para el consumidor doméstico y el industrial (derecha) en tres ámbitos de la actividad: en primer lugar los costes que derivan del suministro y la generación de energía eléctrica, por otro lado el coste del transporte y la distribución, y por último los costes asociados a impuestos y tasas aplicados. Se puede observar que en aquellos países periféricos o con una configuración geográfica aislada, los costes de generación de energía adquieren un mayor peso específico, como en España, Reino Unido o Italia. Los costes relacionados con las redes de transporte y distribución, adquieren un peso específico importante en los países centroeuropeos. En relación con Alemania es de destacar los elevados impuestos que significan casi el 50% de los costes. Por último, destacar el reducido peso específico de impuestos que paga el consumidor doméstico en Reino Unido. Es interesante comparar esta situación con el perfil de consumidor industrial, en el que las características de distribución de costes varían significativamente. Es de destacar el esfuerzo de los gobiernos, en general, por minimizar la penalización de los impuestos en el gravamen en el consumidor industrial, como es el caso de España, reduciendo el coste de la electricidad en el ámbito industrial y fomentando ratios de productividad elevados. En general las bandas de impuestos y costes de las redes se reducen, dejando un peso mayor al coste de la energía en generación.

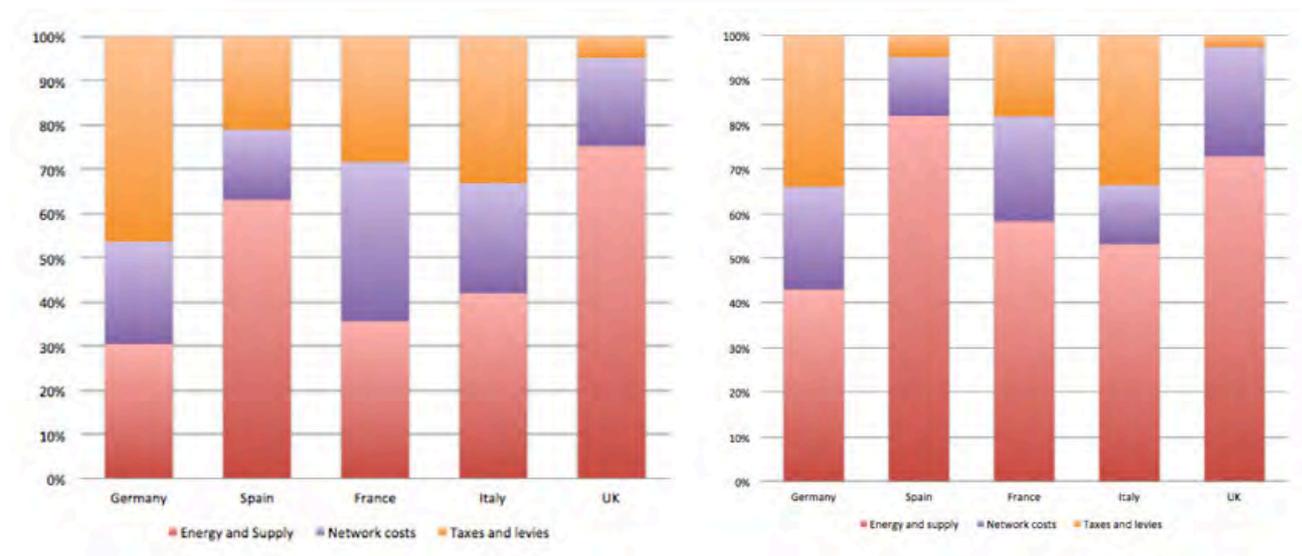


Figura 93. Distribución de los precios de la electricidad para el sector doméstico (izquierda) y sector industrial (derecha) en 2013 filtrado por: generación, redes (transporte y distribución), e Impuestos (IVA, i.e. y otros). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Se plantea en este momento una cuestión importante, como es la de caracterizar la población de suministros eléctricos. Según el boletín mensual de indicadores eléctricos en España (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2017), la estructura del consumo en ese país por tarifa de acceso indica que el 99,61% de los consumidores adquieren la electricidad en Baja Tensión, consumiendo el 46,15% del total de la energía eléctrica del país. El resto de los suministros (0,39%) adquieren el 53,85% de la energía. Estos datos indican que 27,6 millones de clientes atomizan casi la mitad del consumo energético del país, consumiéndose la otra mitad por poco más de 100.000 usuarios (Figura 94) lo que resulta de un total de 27,7 millones de suministros en España.

Peaje	Número de consumidores (Número)		Energía Consumida (GWh)		Tamaño medio (MWh/cliente)	
	2015	oct 2015- sep 2016	2015	oct 2015- sep 2016	2015	oct 2015- sep 2016
<b>BT (&lt; 1 kV)</b>	<b>27.664.379</b>	<b>27.672.484</b>	<b>106.290</b>	<b>105.801</b>	<b>3,84</b>	<b>3,82</b>
<b>Pc ≤ 10 kW</b>	<b>26.129.956</b>	<b>26.154.700</b>	<b>64.052</b>	<b>63.647</b>	<b>2,45</b>	<b>2,43</b>
2.0 A	24.656.693	24.332.085	56.143	54.766	2,28	2,25
2.0 DHA	1.470.035	1.818.708	7.880	8.850	5,36	4,87
2.0 DHS	3.228	3.908	29	32	8,95	8,12
<b>Pc &gt; 10 kW</b>	<b>1.534.423</b>	<b>1.517.784</b>	<b>42.238</b>	<b>42.153</b>	<b>27,53</b>	<b>27,77</b>
2.1 A	663.964	647.675	5.654	5.487	8,52	8,47
2.1 DHA	160.787	159.866	2.797	2.770	17,40	17,33
2.1 DHS	572	618	8	9	14,24	14,27
3.0	709.101	709.625	33.779	33.888	47,64	47,75
<b>AT 1 (≥ 1 kV y &lt; 36 kV)</b>	<b>104.663</b>	<b>104.763</b>	<b>71.907</b>	<b>72.743</b>	<b>687</b>	<b>694</b>
3.1.A	84.781	84.757	15.496	15.535	183	183
6.1	19.882	20.006	56.411	57.208	2.837	2.860
<b>AT 2 (≥ 36 kV y &lt; 72,5 kV)</b>	<b>1.610</b>	<b>1.606</b>	<b>17.424</b>	<b>17.904</b>	<b>10.825</b>	<b>11.149</b>
<b>AT 3 (≥ 72,5 kV y &lt; 145 kV)</b>	<b>426</b>	<b>423</b>	<b>10.472</b>	<b>10.468</b>	<b>24.562</b>	<b>24.731</b>
<b>AT 4 (≥ 145 kV)</b>	<b>593</b>	<b>606</b>	<b>24.211</b>	<b>23.706</b>	<b>40.834</b>	<b>39.114</b>
<b>Total</b>	<b>27.771.671</b>	<b>27.779.882</b>	<b>230.304</b>	<b>230.622</b>	<b>8,29</b>	<b>8,30</b>

Figura 94. Número de consumidores, energía consumida y tamaño medio por tarifa de acceso en España (no se incluye la información sobre suministros conectados a distribuidores de menos de 100.000 clientes). Fuente:

(CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2017)

En Italia (Figura 95 y Figura 96), partiendo de una población de suministros de 36,8 millones de usuarios y 268.000 GWh de energía total consumida (es decir, un 25% más de clientes para solo un 15% más de consumo de energía), 36,7 millones de usuarios consumen el 49,78% de la energía, siendo los restantes 110.000 usuarios de Media, Alta y Muy Alta tensión los encargados de la demanda de la otra mitad de energía (50,22%) lo que resulta una caracterización del mercado muy similar a la situación en España y equivalente en el resto de estados analizados.

**Tabla 17. Análisis de la concentración de usuarios en el mercado minorista de electricidad en algunos países de la UE. Fuente: (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014), (CRE - Commission de Régulation de L'Energie, 2015) y (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016)**

		Usuarios (nº)		Energía (GWh)	
<b>Italia</b>	Baja Tensión	36.698.000,00	99,70%	133.401,00	49,78%
	Alta y Muy Alta Tensión	110.116,00	0,30%	134.603,00	50,22%
<b>España</b>	Baja Tensión	27.664.379,00	99,61%	106.290,00	46,15%
	Alta y Muy Alta Tensión	107.292,00	0,39%	124.014,00	53,85%
<b>Francia</b>	Baja Tensión	36.420.300,00	98,70%	196.967,00	45,70%
	Alta y Muy Alta Tensión	479.700,00	1,30%	234.033,00	54,30%

Se puede evidenciar por tanto, que la concentración de usuarios de electricidad en el mercado minorista obedece a un comportamiento muy parecido entre los países analizados, en el que la mitad de la energía se concentra en menos del 1% de los consumidores y la otra mitad en el 99% restante, lo que devuelve un nivel negociador de precios muy alto a un reducido grupo de consumidores.

Por tanto, para poder avanzar más en el análisis y dada la dificultad de analizar datos de los precios de la energía desagregados por las diferentes tarifas existentes en los diferentes países, se ha optado por reorientar el análisis de precios por sector económico Figura 97. Más adelante, no obstante se dará uso a datos singulares sectoriales (como por ejemplo el dato del consumo medio por hogar para el sector doméstico de 3487 kWh (IDAE - Instituto para la Deversificación y el Ahorro Energético, 2011) como referencia puntual para establecer los rangos de análisis).

<b>DISTRIBUTORI PER NUMEROSITÀ DEI CLIENTI SERVITI</b>	<b>2009</b>	<b>2010</b>	<b>2011</b>	<b>2012</b>	<b>2013</b>	<b>2014</b>	<b>2015</b>
<b>NUMERO</b>	140	141	135	133	136	136	137
Oltre 500.000	4	4	4	4	4	4	4
Tra 100.000 e 500.000	7	6	6	6	6	6	6
Tra 50.000 e 100.000	2	2	3	3	3	3	3
Tra 20.000 e 50.000	8	9	9	9	8	8	8
Tra 5.000 e 20.000	22	23	20	21	22	21	21
Tra 1.000 e 5.000	41	42	39	41	43	41	43
Fino a 1.000	56	55	54	49	50	53	52
<b>VOLUME DISTRIBUITO (GWh)</b>	279.846	285.997	286.908	279.073	269.122	262.418	268.004
Oltre 500.000	265.276	271.677	270.826	263.739	254.593	247.734	252.708
Tra 100.000 e 500.000	9.544	9.032	9.372	8.590	7.957	8.347	8.425
Tra 50.000 e 100.000	1.315	1.436	3.281	3.084	2.946	2.874	3.253
Tra 20.000 e 50.000	1.642	1.836	1.613	1.727	1.624	1.517	1.577
Tra 5.000 e 20.000	1.444	1.392	1.201	1.354	1.364	1.313	1.403
Tra 1.000 e 5.000	523	526	495	471	513	504	529
Fino a 1.000	103	100	120	108	126	129	111
<b>NUMERO PUNTI DI PRELIEVO (migliaia)</b>	36.493	36.582	36.727	37.079	37.099	36.839	36.808
Oltre 500.000	34.553	34.718	34.810	35.121	35.158	35.158	34.867
Tra 100.000 e 500.000	1.229	1.128	1.140	1.141	1.143	1.143	1.168
Tra 50.000 e 100.000	136	137	225	228	229	229	234
Tra 20.000 e 50.000	236	259	252	265	235	235	243
Tra 5.000 e 20.000	227	226	191	213	219	219	215
Tra 1.000 e 5.000	92	93	88	90	94	94	91
Fino a 1.000	21	22	21	21	21	21	23

Figura 95. Caracterización de suministros en Italia 2009-2015 por volumen de energía (GWh) y número de puntos de suministro (número puntos di prelievo 10<sup>3</sup>). Fuente: (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016)

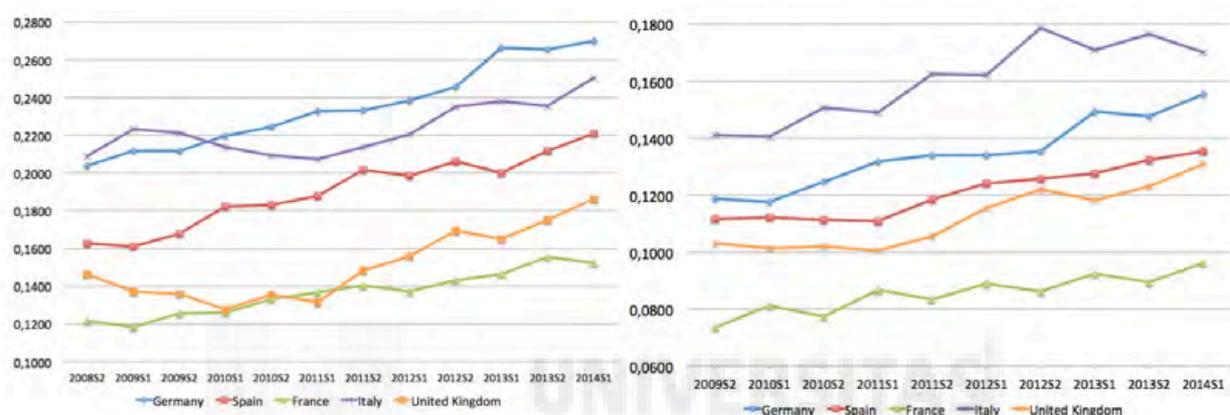
CLASSE DI POTENZA E DI CONSUMO	VOLUMI	PUNTI DI PRELIEVO	PRELIEVO MEDIO
Fino a 1,5 kW	256	572	447
Fino a 1.800 kWh	190	546	348
1.800-2.640 kWh	35	16	2.223
2.641-4.440 kWh	25	8	3.300
Oltre 4.400 kWh	5	1	5.757
Punti di prelievo serviti per frazioni d'anno	1	2	516
Da 1,5 kW a 3 kW	49.654	26.283	1.889
Fino a 1.800 kWh	13.427	13614	986
1.800-2.640 kWh	13.961	6204	2.251
2.641-4.440 kWh	17.956	5401	3.325
Oltre 4.440 kWh	3.872	730	5.308
Punti di prelievo serviti per frazioni d'anno	437	336	1.300
Oltre 3 kW	9.202	2.500	3.680
Fino a 1.800 kWh	703	622	1.130
1.800-2.640 kWh	874	364	2.398
2.641-4.440 kWh	2.951	820	3.601
Oltre 4.440 kWh	4.576	658	6.949
Punti di prelievo serviti per frazioni d'anno	98	36	2.759
<b>TOTALE CLIENTI DOMESTICI</b>	<b>59.111</b>	<b>29.355</b>	<b>2.014</b>

LIVELLO DI TENSIONE E CLASSE DI POTENZA	VOLUMI	PUNTI DI PRELIEVO
Bassa tensione	74.290	7.343.000
Punti di emergenza	2	1
Utenze soggette a regimi tariffari speciali	1	30
Illuminazione pubblica	5.644	269.607
Altri usi	68.644	7.073.362
di cui:		
- fino a 1,5kW	825	1.437.734
- da 1,5 kW a 3 kW	3.045	1.898.619
- da 3 kW a 4,5 kW	1.256	360.285
- da 4,5 kW a 6 kW	5.545	1.250.050
- da 6 kW a 10 kW	8.129	900.423
- da 10 kW a 15 kW	10.422	649.194
- da 15 kW a 30 kW	13.340	375.272
- da 30 kW a 42 kW	5.562	75.735
- da 42 kW a 50 kW	3.148	34.219
- oltre 50 kW	17.371	91.831
Media tensione	95.211	108.427
Utenze soggette a regimi tariffari speciali	114	22
Illuminazione pubblica	345	1.042
Punti di emergenza	432	237
Altri usi	94.320	107.126
Alta e altissima tensione	39.392	1.689
Utenze soggette a regimi tariffari speciali	4.529	299
Punti di emergenza	69	18
Altri usi	34.794	1.372
<b>TOTALE CLIENTI NON DOMESTICI</b>	<b>208.860</b>	<b>7.450.490</b>

Figura 96. Caracterización de energía eléctrica para cliente doméstico por tipo de potencia y consumo (arriba - puntos de prelievo 10<sup>3</sup>) y no doméstico por nivel de tensión y tipo de potencia (abajo) en 2015 (volumi - GWh, prelievo medio - kWh). Fuente: (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016)

Como se observa en la Figura 97-izquierda, los precios de la energía en el consumidor doméstico de los principales países europeos en estudio se encuentra en claro crecimiento fundamentalmente por los motivos indicados en la introducción del presente capítulo. Analizando los precios de la electricidad en el sector industrial, siguen una evolución al alza similar, aunque algo más contenidos en su crecimiento, tal y como se muestra en la Figura 97-derecha. A destacar, la primera posición de los precios en Italia en el ámbito industrial, que pasa a tener los precios más caros por encima de Alemania, que como recordaremos, es el país con mayores cargas impositivas a la energía también junto a Italia.



**Figura 97. Precios medios de la electricidad en consumidor doméstico (izquierda) y consumidor industrial (derecha) incluido los costes de las redes e impuestos excepto IVA (€/kWh). Promedio de todas las bandas de consumo. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia**

Por tanto, las políticas fiscales de los estados ejercen una presión en crecimiento sostenido sobre el consumidor (Comisión Europea. Market Observatory & Statistics, 2014), además, difieren en alcance e intensidad: el peso específico de los impuestos en la Unión Europea de los 15 (España, Francia, Portugal, Reino Unido, Irlanda, Italia, Bélgica, Luxemburgo, Países Bajos, Dinamarca, Suecia, Finlandia, Alemania, Austria y Grecia) varía entre el 5% del Reino Unido hasta el 50% en Dinamarca y se destinan desde programas para el apoyo de ciertas tecnologías en particular hasta incrementos del presupuesto nacional para otras partidas. En cualquier caso, es constatable que la proporción de los impuestos está aumentando gradualmente: en los Países de la UE-15 los impuestos representaron el 28% de media del precio final de los consumidores nacionales en 2010, frente al 22% de 1998. En cifras pertenecientes al sector industrial, los usuarios pagaron un 19% en 1998 frente al 27% de 2010. Es indicativo representar los precios en el ámbito industrial (Figura 98). El resultado demuestra que los precios en España y Reino Unido son los más altos junto a Italia. En Italia se produce un fuerte descenso desde 2012. Es necesario recalcar que el descenso en los

precios en Italia y Alemania desde 2012, contrasta con el aumento generalizado en todos los países considerando los impuestos, por lo que se puede concluir que en la UE, se penaliza con impuestos los posibles descensos que se puedan producir en los precios de algunos países en generación, transporte, distribución y suministro de la energía eléctrica, al menos, en el ámbito industrial, donde ha existido una reducción del consumo generalizada más constatable (Figura 75-izquierda).

Por último, la afirmación sobre que la evolución de los precios va a permitir sólo la reducción del coste de electricidad para las familias y empresas exclusivamente desde el ámbito de la demanda, está completamente justificada, ya que sólo a través de medidas de eficiencia energética que promuevan una reducción del consumo y en un futuro, la participación real de la demanda en el mercado, podrá reducirse el gasto de las empresas y las familias, ya que los precios del mercado minorista, como se ha podido observar, obedece a otras reglas y no precisamente las de libre mercado. No obstante, como se ha indicado ya anteriormente, existe todavía recorrido para otras fuentes como el gas como fuente sustitutiva en países como España y Francia y, en menor medida, también en Alemania (Figura 26), lo que previsiblemente amortigüe el crecimiento de la demanda de electricidad en ese sector.

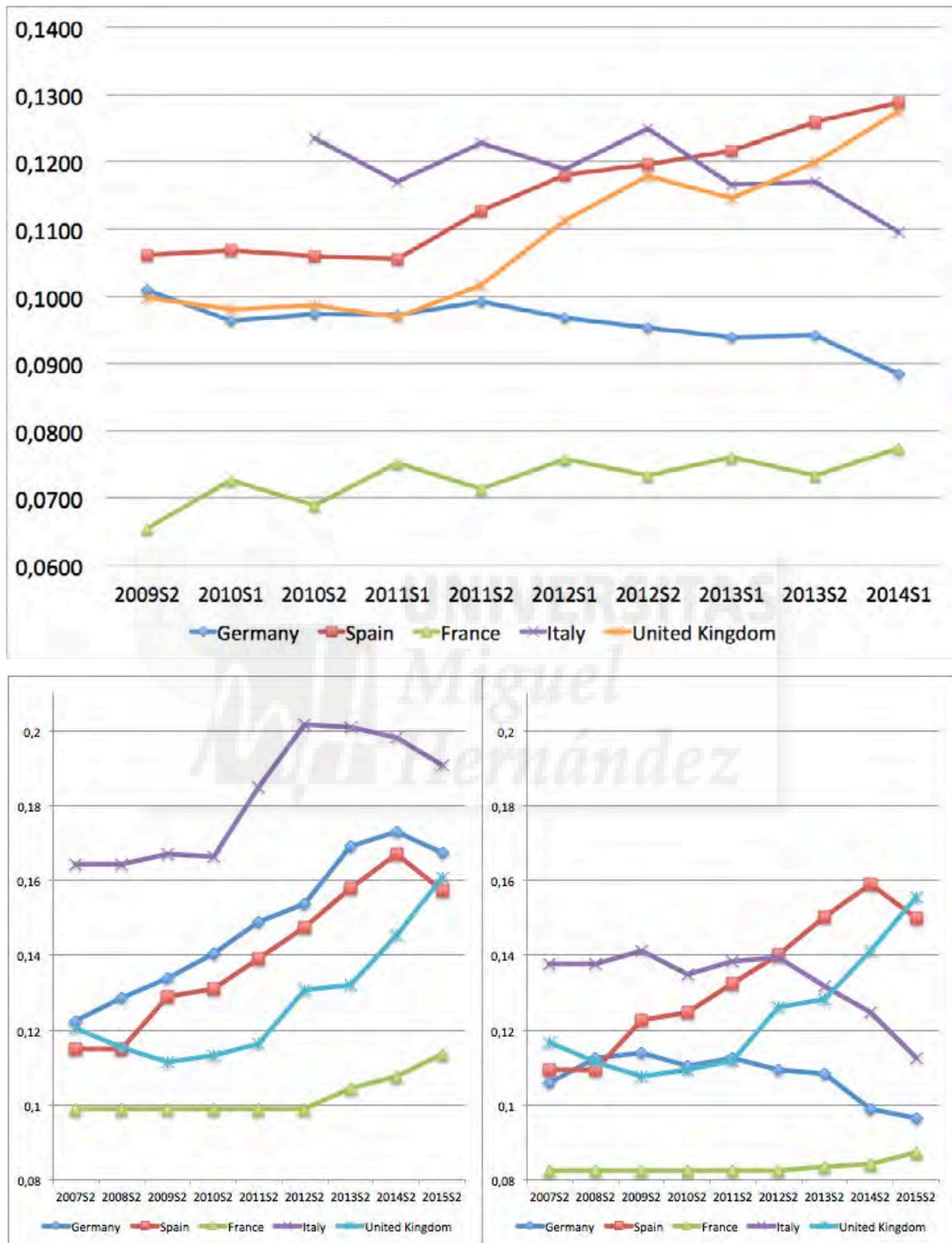


Figura 98. Precios de la electricidad en Sector Industrial relativo a costes de generación, suministro y redes (incluidas tasas, impuestos - izquierda abajo) (excluidas tasas, impuestos - derecha abajo) (Promedio de consumidores hasta 20.000 MWh/año - abajo) (excluido tasas, impuestos e IVA en promedio para todas las bandas de consumo - arriba) en €/kWh. Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Como se explicaba en el apartado anterior, en un mercado saneado y en perfecta competencia, debe trasladarse a los precios cualquier variación en la demanda de los productos o servicios existentes. Por tanto el efecto en el mercado minorista de la electricidad, no se ha producido en todos los países ni con la misma intensidad. Para ello se han utilizado los precios de la electricidad promedio en la banda de consumidores hasta 20.000 MWh/año para establecer las comparaciones, ya que como se ha podido evidenciar en la Figura 98, dar cabida en el promedio a los precios de bandas superiores, produce una reducción constante de los precios sin afectar al comportamiento de la evolución de los mismos. Por tanto, se puede establecer la correlación con los precios de la electricidad en el sector industrial desde una doble vertiente: por un lado en términos relativos analizando la evolución de la contribución del sector industrial en el consumo final de electricidad (izquierda de la Figura 98) y por otro lado en términos absolutos, la evolución del total de energía final demandada por el sector industrial (derecha de la Figura 98).

Pero analizando la correlación entre variables, se puede observar que comparando los precios de la electricidad excluyendo tasas, impuestos e IVA (sólo Alemania e Italia reducen sus precios de electricidad en el sector industrial, los demás suben) es decir los precios incluyen los costes de suministro netos (generación, coste de redes de transporte y distribución y comercialización), se pueden dar los siguientes supuestos: pendiente positiva indica que los incrementos o reducciones se producen en las dos variables en el mismo sentido, lo que obedece a un comportamiento de libre mercado, ya que ante reducciones en la demanda de un determinado bien, la tendencia sería la de reducción de los precios del bien siempre y cuando exista la misma disponibilidad de producto en ese mercado, o bien, que ante un incremento de la demanda del bien debería corresponder incremento también en el precio del mismo bien, ante la misma cantidad de producto en el mercado. Pendiente negativa por tanto, sería indicativo de que las reducciones en una variable y otra se producen en sentidos contrarios, que sería un comportamiento más alejado a unas condiciones de libre mercado, es decir que ante aumentos de demanda, debería corresponderse una reducción de precio y viceversa, lo que no obedecería a unas condiciones de mercado libre.

Como se puede observar en la Figura 99, solo en Italia puede evidenciarse un comportamiento a priori que obedece a las reglas de mercado, en España no es concluyente ya que se comporta de manera diferente en términos relativos y absolutos. Respecto a Francia, debido a la reducida muestra ya que no existen datos anteriores, no existe un periodo suficientemente amplio, pero se evidencia una clara tendencia negativa, es decir alejada de comportarse como un mercado libre. En Reino Unido, además, con una elevada correlación tanto en términos relativos como en absolutos, es decir, la reducción de demanda viene acompañada de aumentos significativos de precio, por tanto muy alejada de un comportamiento de libre mercado. Alemania, con una pendiente negativa, devuelve una correlación muy baja para establecer conclusiones. Por tanto, se puede afirmar que el mercado minorista de la electricidad no obedece al comportamiento de un mercado en libre competencia (García Alvarez & Moreno, 2016), (Federico & Vives, 2008), (Ocaña & Romero, 1997).

**Tabla 18. Resumen de la correlación existente entre Precio de la electricidad (promedio de €/kWh) en el sector industrial en consumidores hasta 20.000 MWh con el Consumo Final de electricidad en ese sector (Tep) en términos de participación del sector industrial en el consumo total de electricidad (%-arriba) y de consumo absoluto del sector industrial (Tep-abajo). Fuente: elaboración propia**

País	Coefficiente Determinación (Precio y Consumo de electricidad relativo)	Coefficiente Correlación (Precio y Consumo de electricidad relativo)	Ecuación de regresión
Alemania	0,37231	<b>0,61017</b>	$y_{i1} = 0,5161 - 0,7798x_{i1}$
España	0,50309	<b>0,70929</b>	$y_{i2} = 0,2225 + 0,6072x_{i2}$
Francia	0,52722	<b>0,72610</b>	$y_{i3} = 0,4201 - 1,9353x_{i3}$
Italia	0,51257	<b>0,71594</b>	$y_{i4} = 0,2854 + 0,9411x_{i4}$
UK	0,72333	<b>0,85049</b>	$y_{i5} = 0,3559 - 0,3461x_{i5}$

País	Coefficiente Determinación (Precio y Consumo de electricidad absoluto)	Coefficiente Correlación (Precio y Consumo de electricidad absoluto)	Ecuación de regresión
Alemania	0,18054	0,42490	$y_{i1} = 24639 - 51070x_{i1}$
España	0,26682	<b>0,51655</b>	$y_{i2} = 7312,2 - 7074,8x_{i2}$
Francia	0,69051	<b>0,83097</b>	$y_{i3} = 19590 - 120051x_{i3}$
Italia	0,48505	<b>0,69646</b>	$y_{i4} = 5186,5 + 38692x_{i4}$
UK	0,84315	<b>0,91823</b>	$y_{i5} = 10992 - 20246x_{i5}$

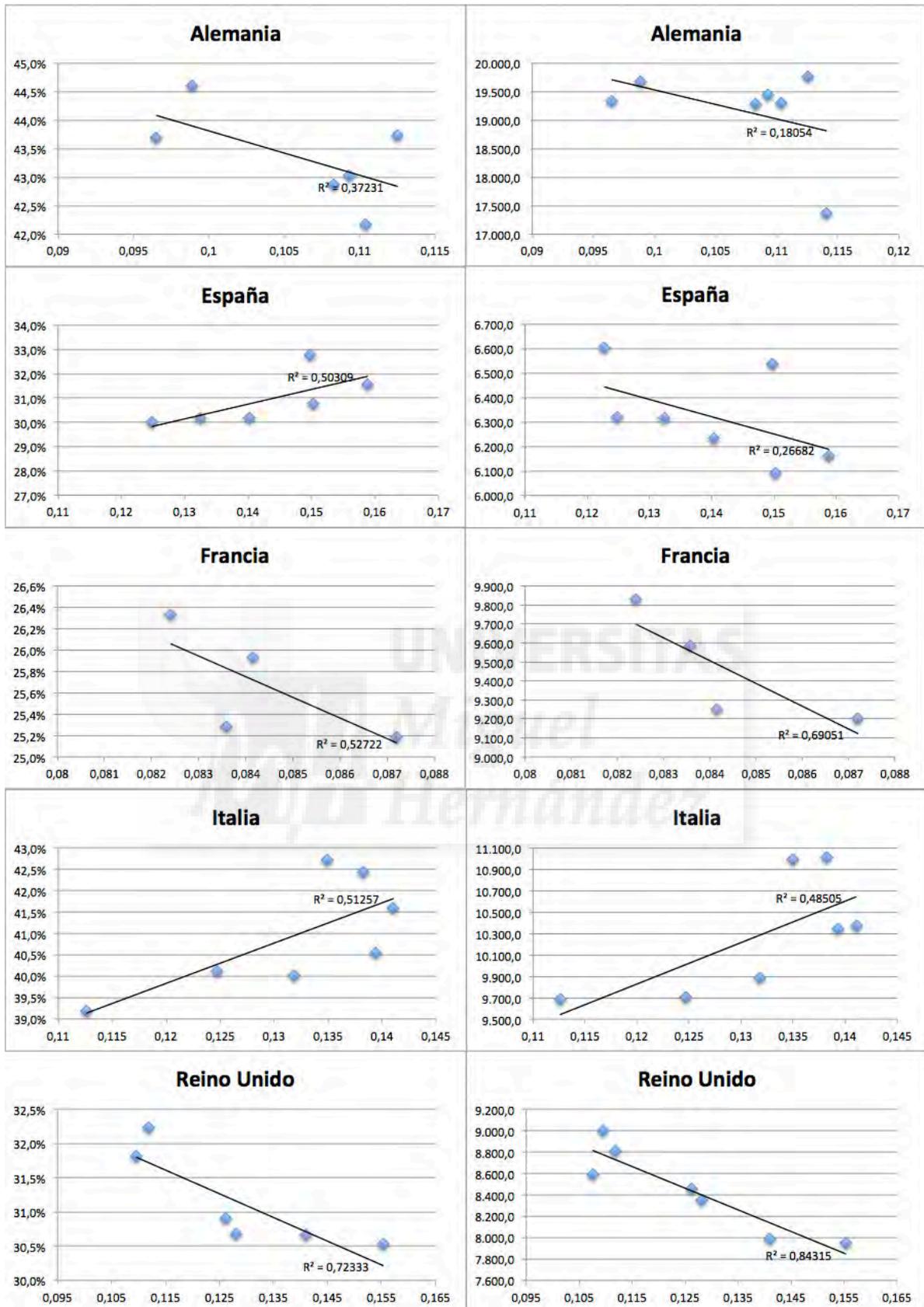


Figura 99. Correlación entre Precio de la electricidad (promedio €/kWh) en el sector industrial en consumidores hasta 20.000 MWh con el Consumo Final de electricidad en ese sector (Tep) en términos relativos de contribución de electricidad (izquierda) y de consumo absoluto (derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

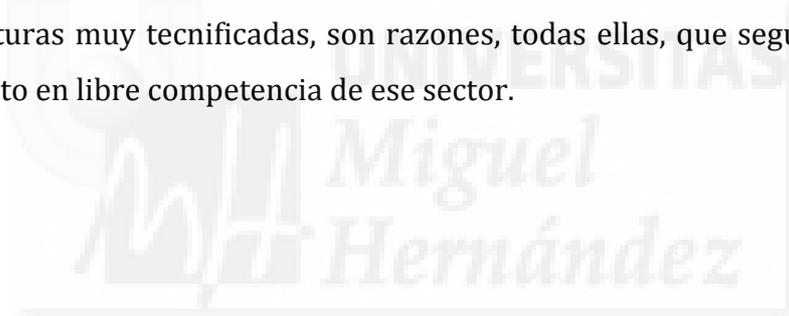
Comparando la situación en el mercado minorista de algunos países obtenemos los resultados que se muestran en la Tabla 19 en el ámbito industrial. Por tanto, es significativo que donde mayor volumen de operadores existe (Italia) se produce una reducción del precio de la electricidad en los últimos 5 años en el mercado minorista (sector industrial) tal y como se muestra en la Figura 98 lo que también puede explicar parcialmente la reducción de los precios en ese sector. Además en Italia hay que destacar que el sector del transporte de electricidad se encuentra repartido en 11 operadores de sistema. Por tanto, es claro que el aumento en el número de agentes en el mercado influye de forma notable en la competitividad del mismo, dotándole de una mayor dinamización y de una reducción de precios (ante un mismo nivel regulatorio y de tecnología), propio de mercados en libre competencia.

**Tabla 19. Datos de interés sobre el número de agentes en el mercado minorista en algunos países de la UE.**  
 Fuente: (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014), (OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority, 2016), (Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico, 2016) y (CRE - Commission de Régulation de L'Energie, 2015) y elaboración propia

Anualidad 2015 (*2014)	España*	Reino Unido	Francia	Italia
Nº Comercializadoras en industria (no doméstico) en mercado libre	146	65	21	210 (Lombardia mayor consumo)
Cuota en volumen de energía en mercado libre de las (X) mayores comercializadoras	57% (3)	64% (6)	79% (1)	57% (10)

Por último, respecto a la armonización de regulaciones en los diferentes países, se presentan serias dificultades en el diseño y regulación nacionales de los mercados que dificultarán en gran medida la transición hacia un mercado interior unificado en la UE. Por un lado, las reglas del mercado en general, afectantes sobretudo a los requisitos de acceso para los agentes a su participación en las diferentes estratificaciones del sector (generación, transporte, distribución y las persistentes barreras en la comercialización), a la ordenación de las tarifas, así como a las tipologías de producto. Por otro lado, los mecanismos para la remuneración a la capacidad de generación y de apoyo a las renovables, así como los peajes para los generadores, y por último, y no por ello menos importantes, las distorsiones en aplicación de impuestos de unos países a otros.

Por tanto, y para finalizar, recordar que existen varios factores adicionales que explican un comportamiento alejado de las reglas de libre mercado en el sector eléctrico: por un lado, la excesiva integración vertical de su cadena de valor, es decir, la existencia de una elevada estratificación de agentes participantes en la cadena de suministro desde la generación hasta el usuario final, y lo que es más importante, no se permite una participación del usuario en la elección del bien. Por otro lado, la existencia del concepto de externalidades de red, es decir, se producen situaciones a lo largo de la cadena de suministro en el que el consumo del bien por parte de un usuario afecta directamente al resto de consumidores del bien, que puede producirse tanto en la dirección positiva como negativa en términos de afectación al mercado. Además, el todavía riesgo de colación en los diferentes mercados como el minorista, con el 67% del volumen de energía suministrado en el mercado “libre” (excluidos mercado PVPC-COR) en manos de los tres mayores grupos comercializadores en España en 2014 (CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia, 2014) unido a que es un sector con una fuerte vinculación a costes hundidos y costes fijos incrementales de infraestructuras muy tecnificadas, son razones, todas ellas, que seguirán impidiendo el comportamiento en libre competencia de ese sector.





#### 4 Eficiencia, productividad y competitividad de las naciones

Se ha determinado el criterio de utilizar el ratio de la Intensidad Energética en la Economía considerando el consumo de energía primaria, ya que esta energía se obtiene como resultado de sumar al consumo de energía final, los consumos en los sectores energéticos (consumos propios y consumos en transformación, especialmente en generación eléctrica y refinerías de petróleo) y las pérdidas, lo que incluye el concepto del rendimiento de la infraestructura energética del país, que ha sido fuente de estudio mediante la Intensidad Técnica (Capítulo 33.5 .

Según la Figura 33 que representa la evolución de la Intensidad Energética en los países analizados, es prácticamente inexistente la mejora en la Intensidad Energética de la Economía de España entre 2009 y 2012, muy alejada de la evolución positiva del resto de países. Influye la reducción en el consumo energético durante esos años que según recopila el Ministerio de Industria y Energía (Secretaría de Estado de Energía - Ministerio de Industria. Gobierno de España, 2012) el consumo de energía primaria en España en 2011 sufrió una contracción del -0,6% que unido al descenso de 2012 del -0,4% y a una muy ralentizada subida del PIB en esos años devuelve un ratio de Intensidad Energética de la Economía en 2012 incluso mayor al año 2011, muy lejos de las mejoras producidas en el resto de países europeos en consideración. Pero como se ha podido evidenciar en el Capítulo 3 no es fuente de sostenibilidad y desacoplamiento entre las dimensiones, sino una simple reducción de demanda al tiempo que también del PIB y por tanto de las emisiones de CO<sub>2</sub>. Es destacable la evolución de Reino Unido, que exceptuando los años de crisis financiera en el que se ha mostrado tan estable como el resto, ha demostrado su liderazgo en 2015 partiendo en 1995 de la última posición.

Los esfuerzos de los estados para conseguir aumentar su competitividad son importantes, pero no en todos se está consiguiendo. Según los datos de (EUROSTAT - European Commission, 2016) se puede evidenciar que España seguía una línea de eficiencia en la economía muy positiva, en general como en todos los países considerados (Figura 33), pero en 2012 existe un importante cambio de tendencia probablemente vinculada a las políticas y los cambios regulatorios aplicados fundamentalmente en el ámbito laboral. En el mes de agosto de 2011 se aprueba en España la nueva Ley 27/2011 sobre actualización,

adecuación y modernización del sistema de seguridad social. Posteriormente, en el mes de julio de 2012, se aprueba también la Ley 3/2012, de medidas urgentes para la reforma del mercado laboral. Se pueden observar en la Figura 100 el efecto de estas políticas y un aumento de la productividad laboral en dos años se avanza casi lo mismo que en el periodo 2005-2010. En cambio, es prácticamente inexistente la mejora en la intensidad energética de la economía de España, de hecho se reduce, muy alejado de la evolución positiva del resto de países.

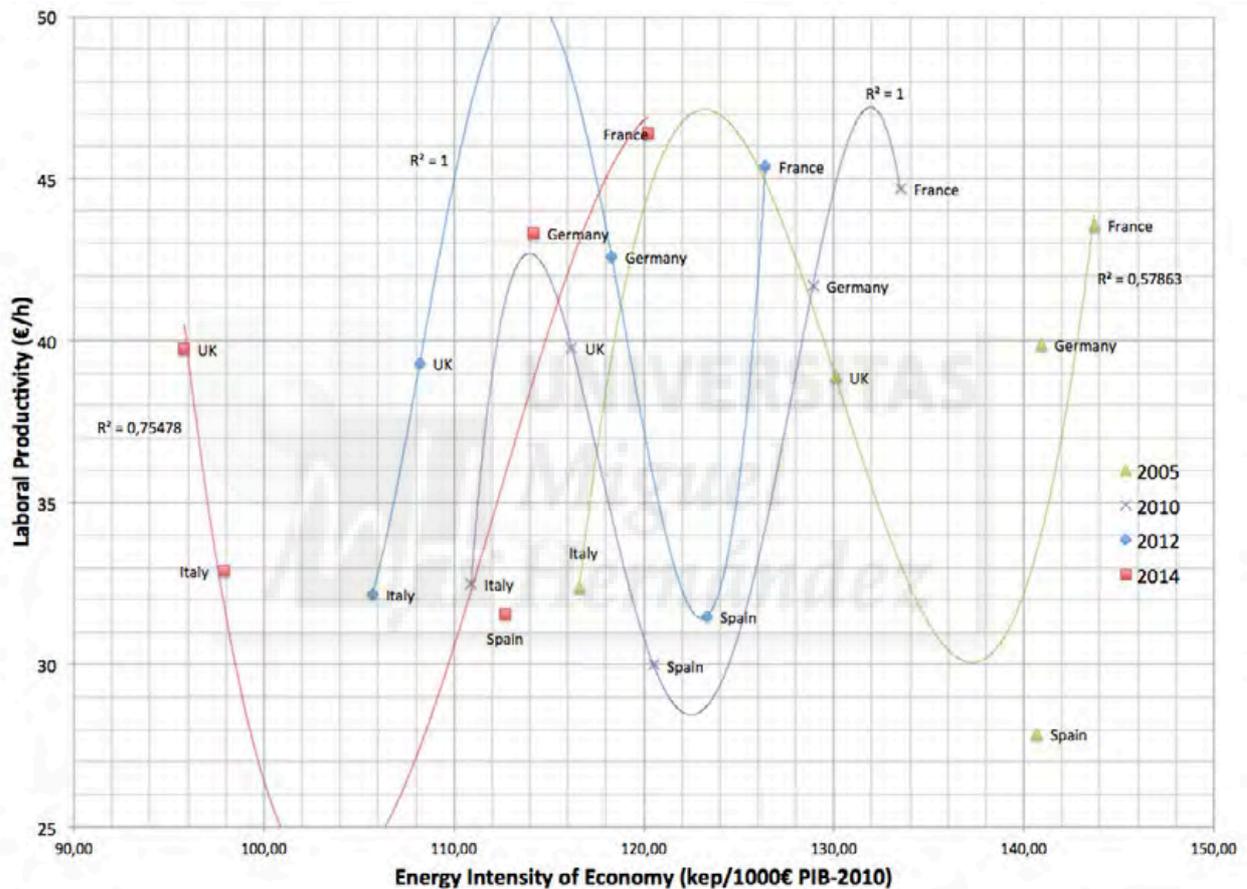


Figura 100. Productividad Laboral (€/h ref 2005) comparada con la Intensidad Energética de la Economía (kep/1000€ PIB ref 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia

No ayuda en absoluto la escalada de precios de la energía, y su repercusión sobre el ciudadano. Como se puede observar en la Figura 101, la situación de España en 2012 existe una desviación importante, en comparación con los otros países del estudio, tanto en la desviación de los precios de la electricidad (escalada similar en Reino Unido), como en la paralización de la mejora en su intensidad energética, apartándose de la normal evolución de los países en estudio. Además, se puede observar que la comparación de precios de la

energía correspondiente a la banda de entre 2500 y 5000 kWh (en la que se encuentra la media del consumidor doméstico (IDAE - Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético, 2011)) existe una reducción en la dispersión de los precios, en comparación con las otras bandas. Este efecto, puede explicarse debido al concepto de las economías de escala trasladado al mercado minorista y exclusivamente en la parte de comercialización de la energía.

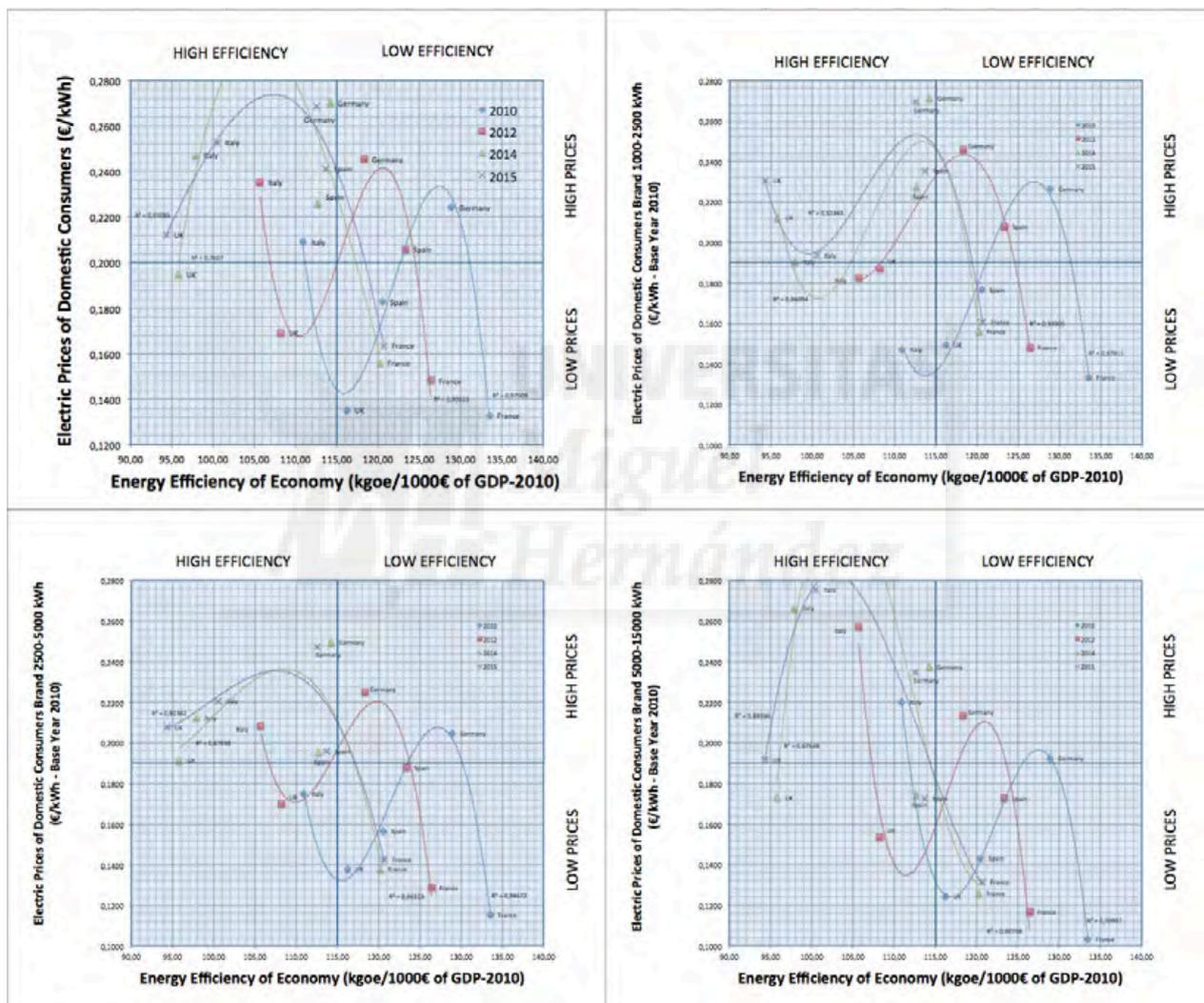


Figura 101. Comparativa entre los precios medios de la electricidad para el consumidor doméstico (excluidos tasas, impuestos e IVA) en €/kWh y la Intensidad energética de la economía (kgoe/1000 € PIB ref 2010). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Es necesario evaluar también por último variables referidas a la competitividad, como es la que relaciona el PIB per cápita con respecto al precio de la electricidad en el sector doméstico-servicios e industrial. La monitorización de estas variables permite por un lado medir la productividad del país, al tiempo que al estar relacionada con el precio de la electricidad, analiza la competitividad del sector industrial, o visto de un modo más social en el ámbito residencial o doméstico: el grado de acceso en equidad a este tipo de energía. Es importante destacar, que los países con mayor PIB, al estar relacionado con la población a través de la renta per cápita, amortiguarán la distorsión poblacional existente entre los países en estudio.

Tal y como se muestra en la Figura 102 se pueden establecer cuatro zonas de competitividad en el gráfico entre las que se encuentran los países en estudio. Lógicamente la situación a la que deben tender las políticas es hacia la ubicación de precios bajos de la electricidad y alta productividad de las economías, donde se encuentran Francia y UK. La zona más complicada desde el punto de vista de la competitividad, será aquella de baja productividad y elevados precios de la electricidad, ubicación donde se encuentran España e Italia, cuya tendencia en el último año 2015 ha sido de reducción de los precios sólo en el ámbito industrial, lo que ha supuesto ligeras mejoras de productividad. La tendencia también se puede apreciar en el gráfico que debería ser de izquierda a derecha, de la zona de menos productividad a la de mayor. Significativa situación la de España e Italia que se mantienen evolucionando en un sentido hacia la baja productividad en el sector servicios. Particularmente en España, insistir en la mejora todavía posible a través de la transformación del sistema energético del sector servicios evolucionando hacia otras fuentes con todavía recorrido como el gas, que permitiría reducir los costes energéticos en ese sector (Figura 26). El gráfico anterior nos devuelve el umbral de PIB per cápita a partir del cual podemos establecer el rango de comparación: a partir de 28000€ de renta per cápita se establecerá el umbral en 2014. Lógicamente estos límites pueden sufrir variaciones en años posteriores y tener que definir rangos móviles.

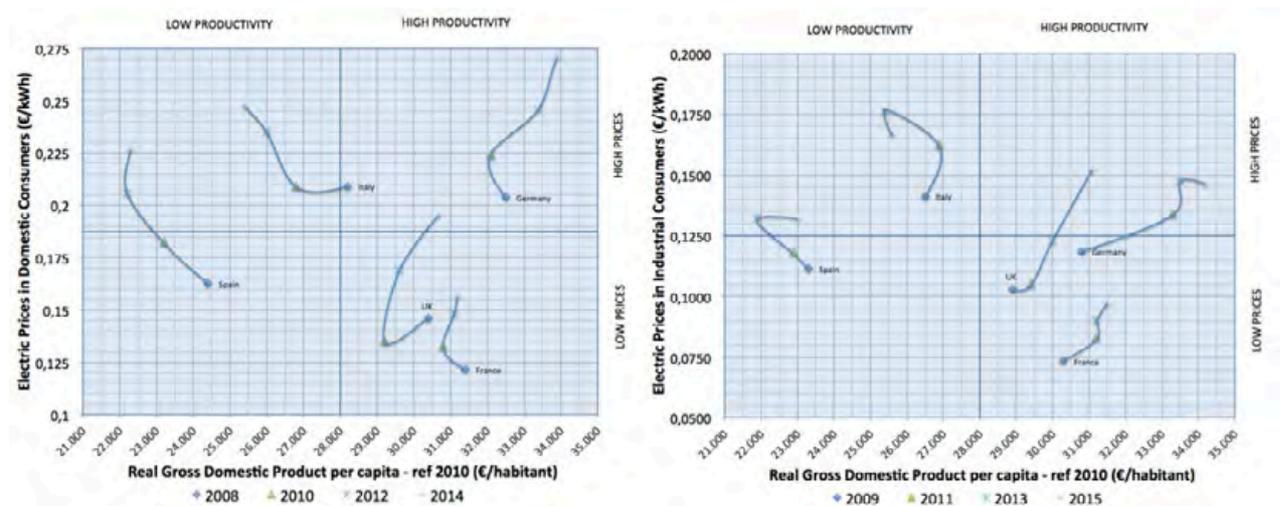


Figura 102. Precios de la electricidad en consumidor doméstico (izquierda) y consumidor industrial (derecha) (€/kWh) y PIB per cápita ref 2010 (€/habitante). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Analizando la participación del sector eléctrico en el consumo final de energía de los países en estudio, tal y como se muestra en la Figura 103, teniendo en cuenta los precios medios del sector doméstico (residencial y servicios) que se establecen en cada país (excluido el IVA), se pueden definir un nuevo rango: el más deseable es en el que se encuentra UK, de bajos precios de la electricidad y también un consumo reducido de energía. No obstante, en este sector (residencial, doméstico, servicios) debe tenerse en cuenta también el consumo demandado proveniente de otras fuentes como los productos derivados del petróleo o como por ejemplo el gas natural (Figura 26), que como se indicaba en el Capítulo 3, pueden existir oportunidades para España, Francia y Alemania, con un recorrido aún posible en la utilización de esa fuente como alternativa a la electricidad debido a su bajo precio por kWh y a su todavía baja participación en el consumo final de energía de esos países.

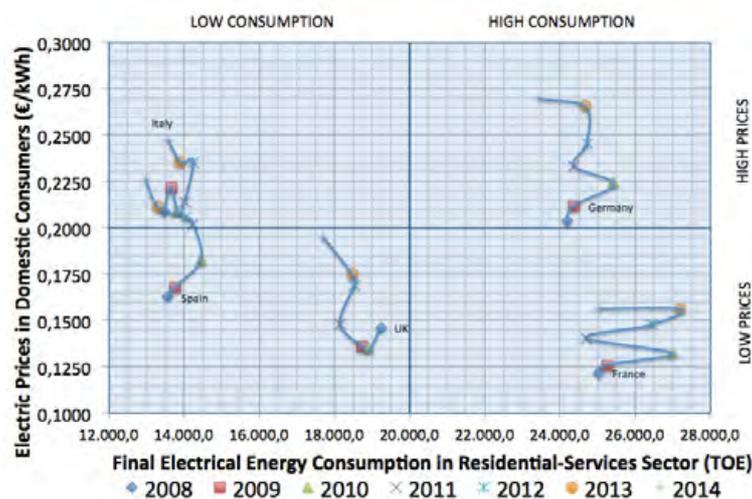


Figura 103. Precios de la electricidad en el consumidor doméstico (excluido IVA) (€/kWh) en comparación con el Consumo Final de Energía Eléctrica en el sector servicios (tep). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Por otro lado, realizando una aproximación a los precios de la energía del sector industrial con respecto a la contribución de dicho sector en el PIB, se puede establecer una métrica de la situación tal y como se ilustra en la Figura 104. Se pueden extraer interesantes conclusiones, que no aparecían en el sector doméstico anteriormente analizado. Por primera vez existe una tendencia en el último año 2015 de reducción de precios en España, Italia y Alemania. Pero se producen aumentos muy importantes en UK y algo menos en Francia, si bien es cierto que en estos dos últimos países son los que menor participación tienen del sector Industrial en el PIB, precisamente los únicos que sufren un aumento del precio de la electricidad, posiblemente vinculados a la tarifa de acceso.

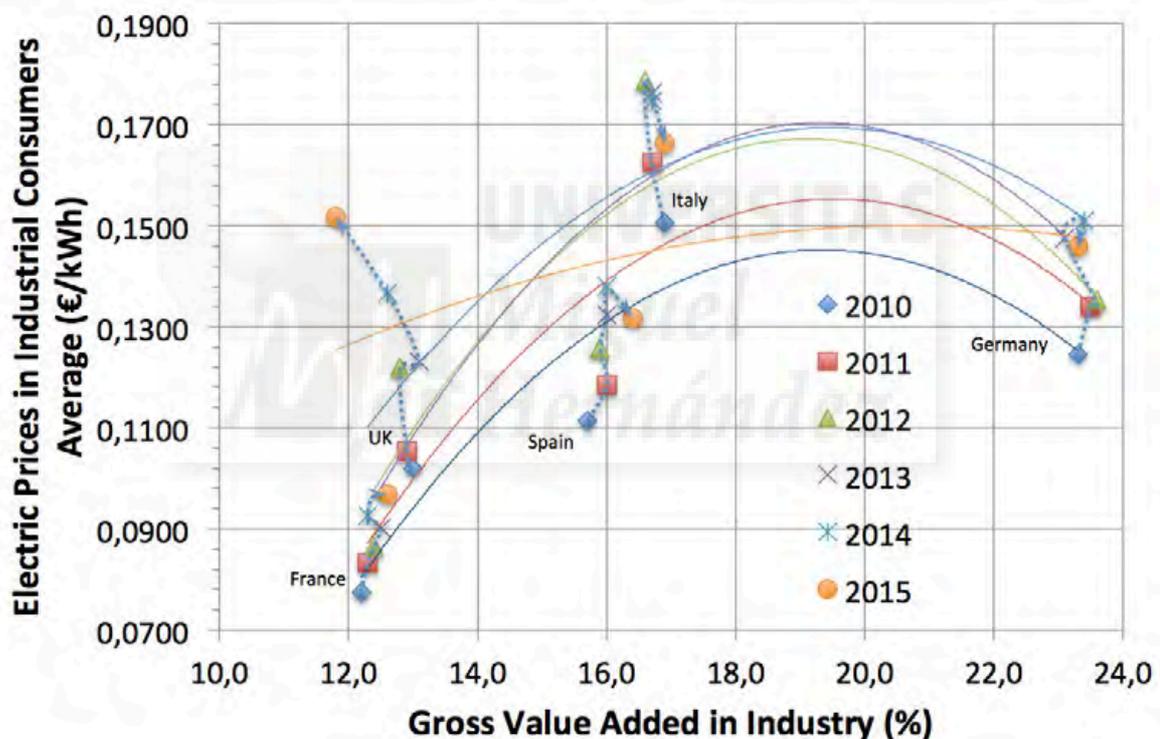


Figura 104. Comparativa entre los precios de la electricidad en el consumidor Industrial (excluido IVA) (€/kWh) y la contribución del sector industrial en el Valor Añadido Bruto (%). Fuente: (EUROSTAT - European Commission, 2016) y elaboración propia

Destacar el acercamiento de los precios medios del sector industrial entre los países en estudio en 2015. Este hecho deberá llevar un seguimiento en los próximos años, ya que deberá analizarse un periodo de tiempo mayor para evidenciar la tendencia.

Como se muestra en la Figura 105, que representa la evolución que experimenta el consumo final de energía proveniente de una y otra fuente, se pueden extraer conclusiones interesantes para el sector industrial. Es necesario aclarar que la comparación esta realizada a niveles de precios de la electricidad como variable de competitividad. Ante aumentos del precio de la electricidad se producen incrementos en el consumo de gas en España y Francia fundamentalmente, donde la contribución del gas en el sector industrial como fuente de energía, es mayor. En primer lugar y en general, existe mucha más variabilidad en los consumos de gas que en los de electricidad, sobretudo en Francia que se mueve en la banda desde los 9000 hasta los 12500 tep de consumo final de energía de este combustible, cuando los otros países oscilan en una banda de 1000 tep. Por tanto se evidencia una alta estabilidad de demanda de electricidad de todos los países en comparación con la variabilidad de consumo de gas. Por otro lado Italia es el único país que reduce su consumo final de energía en ambas fuentes, lo que explica en parte un buen comportamiento en su intensidad energética de la economía.

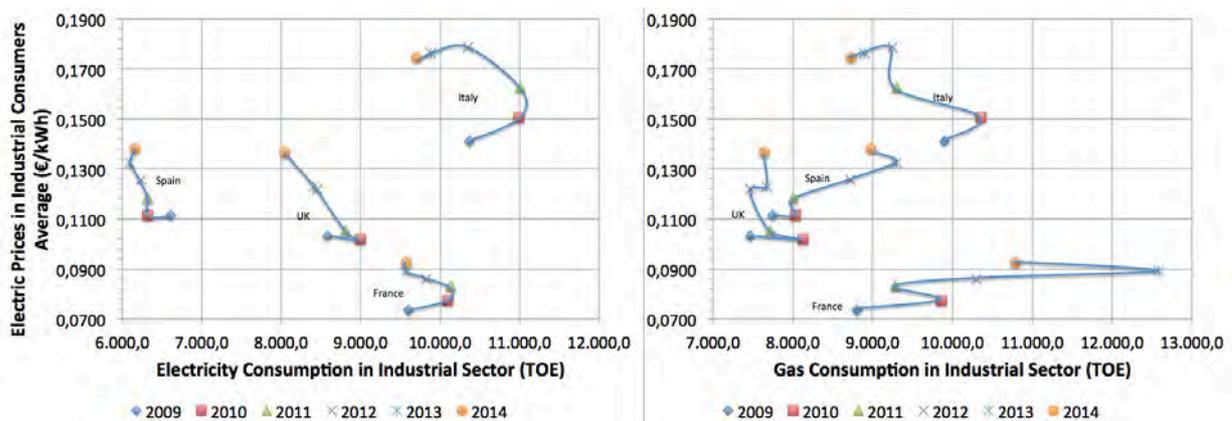


Figura 105. Evolución de los precios de la electricidad en el consumidor Industrial (media €/kWh) en Electricidad (tep)(izquierda) y Gas (tep) (derecha). Fuente: (EUROSTAT - European Commision, 2016) y elaboración propia



## Capítulo 5 Conclusiones y nuevas líneas de trabajo

### 1 Conclusiones

#### 1.1 Sobre la conceptualización de la sostenibilidad energética

En el modelo de indicadores propuesto en este trabajo se ha establecido a partir de una definición previa del concepto de sostenibilidad energética a través del cual se ha establecido todo el desarrollo de la tesis. El mismo consiste en establecer tres premisas fundamentales: la primera, establecer el origen del modelo en el paradigma de la sostenibilidad débil, permitiendo ampliar los límites de la naturaleza y hacerlo ilimitado al tiempo que sustituible, a lo largo del tiempo, mediante la tecnología y la política.

En la segunda premisa, se explica el establecimiento de una nueva capa en la que se define la sostenibilidad energética, que subyace al desarrollo sostenible y donde se definen tres nuevas dimensiones equivalentes: demanda de energía, emisiones y seguridad de suministro (homónimas a economía, naturaleza y sociedad). Además, se definen tres subsistemas adicionales a la sostenibilidad energética y en su misma capa: la sostenibilidad territorial y urbanística, la sostenibilidad de los recursos hídricos o la sostenibilidad en la atmósfera. El presente trabajo únicamente se centra en el estudio de la gestión de la energía como subsistema del desarrollo sostenible, pero es necesario matizar que está íntimamente relacionado con el resto de subsistemas y que en algunas ocasiones habrá variables que se puedan considerar compartidas por aquellos, por lo tanto, para que exista desarrollo sostenible, deberán de ser sostenibles todos los subsistemas: energía, gestión hídrica, desarrollo territorial y protección de la atmósfera.

La tercera premisa establece el concepto de idoneidad de indicadores a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, es decir, no todos los indicadores serán los más idóneos para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones. Por tanto, ya no se debe afirmar que exista un modelo único de indicadores de sostenibilidad energética, sino de diferentes modelos de indicadores de sostenibilidad que serán adecuados a diferentes coyunturas de los países. Desde la definición y análisis de esos indicadores, se podrán plantear las políticas más adecuadas para el desarrollo de la sostenibilidad energética en las diferentes naciones.

El papel de las fuerzas transversales en el modelo se plantea desde el concepto de “apropiadas” como el referido al ámbito de la suficiencia, proporcionalidad y adaptabilidad a los diferentes contrastes coyunturales de las naciones, y serán las que promuevan una disociación de las dimensiones de la sostenibilidad energética: medioambiente (emisiones y contaminación), economía (crecimiento) y sociedad (demanda de energía), y sólo demostrando esa disociación, podrá afirmarse que existe sostenibilidad energética.

Pero además, para el análisis del subsector de la sostenibilidad energética se deberá tener en consideración dos nuevos ámbitos en la toma de decisiones para la gobernanza: por un lado el concepto de seguridad de suministro de importancia estratégica para el sector de la energía y del que parten grandes áreas como el tránsito de energía, la logística de aprovisionamiento, la gestión técnica de las redes e infraestructuras, los parámetros de calidad establecidos para cada una de las diferentes formas de energía, y lo que es más importante, como indicador y preocupación fundamental de las políticas energéticas de muchos países: el **grado de autoabastecimiento o la dependencia energética exterior**. Por otro lado, todos los aspectos que conciernen a la regulación de los mercados adquieren mucha relevancia como instrumentos de gestión sostenible, desde su origen hasta su consumo final, estableciendo las reglas de funcionamiento en los diferentes sectores intensivos en consumo de energía. Por tanto como indicador fundamental de agregación se define la **Intensidad Técnica** del sistema energético. Como tercer gran ámbito dentro de la gobernanza para la sostenibilidad energética, la protección del medioambiente y el clima agrega todas aquellas acciones que deben hacer sostenible nuestra biodiversidad: supervisando las consecuencias del cambio climático, potenciando la reducción de las emisiones y la contaminación, impulsando la descarbonización del mix, desarrollando las

energías provenientes de fuentes renovables, definiendo nuevas políticas de reciclado de residuos, e implantando y desarrollando instrumentos de gestión ambiental como la Huella Ecológica. Por ello debe existir un indicador agregado para discernir las familias de indicadores, que en este caso se tendrá en cuenta por su diversificación y por su reconocimiento internacional: las **emisiones de CO<sub>2</sub>**. Respecto al cuarto gran ámbito, la economía sostenible, recoge las acciones de impulso a la inversión, política territorial e hídrica (pertenecientes estos dos últimos a otros subsistemas del desarrollo sostenible, pero relacionados íntimamente con la sostenibilidad energética), políticas de eficiencia, fiscalidad, financiera y de mejora de la competitividad de las empresas que permitan un marco estable para promover inversiones sobretodo desde el sector privado. Para monitorizar este importante ámbito, el parámetro que determinará la desagregación es la **Intensidad Energética de la Economía**. Por último, en el ámbito de la sociedad y el acceso en equidad a la energía, el núcleo del desarrollo sostenible, ya que sin un acceso a la energía no puede existir progreso humano y mucho menos si se produce en condiciones de insostenibilidad, que como indicador principal sobre el que establecer desagregación resulta muy acertado determinar el **Índice de Progreso Social** corregido, como representante de este ámbito.

No obstante, para abordar la problemática de toma de decisiones en política energética e inversión, es necesario partir de una metodología de análisis y determinación de variables que valore la interrelación entre los cuatro subsistemas, así como la relación de ellos con las tres dimensiones del desarrollo sostenible, por lo que cualquier estrategia de política energética debe establecerse desde la desagregación observando su vinculación con los demás subsistemas, para evitar que decisiones tomadas en virtud de variables independientes, perjudiquen gravemente la globalidad del modelo y viceversa.



## 1.2 Sobre los indicadores

Partiendo por tanto, del concepto de las tres dimensiones de la sostenibilidad energética (demanda de energía, crecimiento, emisiones), será fuente de insostenibilidad la afirmación de que el crecimiento económico implica un mayor consumo de energía y un aumento en las actividades contaminantes de la acción humana. Por tanto, para que exista sostenibilidad energética, es necesario crear una disociación entre esos tres pilares, o al menos, entre el crecimiento y la demanda de energía, ya que al reducir la intensidad en el uso de la energía aumentando el crecimiento, debe acompañar la reducción del volumen de residuos y emisiones generadas.

Considerar una variable de manera independiente pueden inducir a error, por ejemplo, respecto a la Intensidad Energética de la Economía, países como Nigeria, Kazakstán o Zambia tienen los índices más elevados del mundo, pero en otros ámbitos (derechos humanos, empleo, desarrollo tecnológico, estado del bienestar) se encuentran muy por detrás de otros países desarrollados con índices de intensidad energética mucho menores. Además, si el sector característico de consumo intensivo de energía es el industrial, o el sector transporte por la fuerte dependencia de combustibles fósiles, cuanto menores sean el tamaño de esos sectores, mejor será el comportamiento de la Intensidad Energética de la Economía del país, ante un mismo nivel de desarrollo tecnológico y PIB. Esta evidencia será el principal inconveniente a la hora de realizar comparaciones entre países con grandes contrastes en sus sectores económicos exclusivamente a través de su nivel de Intensidad Energética en la Economía, sobretodo entre países de coyunturas energéticas muy diferentes.

Por tanto, la Intensidad Energética de la Economía, no resulta un indicador que por sí solo pueda evidenciar un comportamiento sostenible o no de los países y de su actividad, ya que una evolución positiva de la intensidad energética, puede no significar una mejora de las condiciones de sostenibilidad energética del país, sino de una simple reducción de la demanda de energía ante un escenario, por ejemplo, de crisis económica.

También es importante observar los indicadores en términos relativos: consumo energético per cápita, intensidad energética de la economía, PIB per cápita, etc..., que resultan muy adecuados para realizar comparaciones entre naciones, pero sin perder la perspectiva de los valores absolutos, ya que en definitiva, la reducción del consumo de energía y por tanto la eficiencia energética, es un objetivo común para alcanzar la sostenibilidad energética y en definitiva, el desarrollo sostenible.

Se ha podido evidenciar mediante un análisis de correlación que considerar valores de precios nominales, distorsiona la correlación, ya que los ratios utilizados (especialmente las correlaciones con precios de la energía y rentas), los reducidos periodos de observación y las escalas utilizadas, permite obtener una mayor precisión utilizando valores reales. No obstante, no se descarta que en periodos de análisis más amplios u otro tipo de economías, debido a que la inflación pudiese ser muy elevada, pudiera aumentar la variabilidad si no se tuviera en consideración.



### 1.3 Sobre los resultados en los países analizados

#### 1.3.1 Respecto a la disociación de las tres dimensiones

Sólo en **Reino Unido** puede apreciarse un desacoplamiento claro entre Dependencia Energética Exterior y Consumo de Energía Primaria, precisamente el país con recursos propios de energía suficientes (fundamentalmente petróleo y gas) como para permitirse el mejor ratio de Dependencia Energética Exterior ( $DEE_{UE}$ ) de los países analizados, aún cuando presenta un aumento sostenido de ese indicador junto al PIB, lo que produce un comportamiento no sostenible en esos vectores. Respecto a **Francia e Italia**, son los dos únicos países que se observa un desacoplamiento entre el PIB y la Dependencia Energética Exterior, aumentando ligeramente su producto interior bruto al tiempo que reducen significativamente la demanda exterior de energía. En general es destacable que la dependencia energética de combustibles fósiles lastra de manera muy significativa la dependencia energética exterior de los países en estudio, ya que su modelo energético exige todavía una gran dependencia de ellos.

**España** es el único país que disminuye su demanda de energía al tiempo que reduce su PIB con una correlación muy alta de variables y un comportamiento muy homogéneo, es decir: con una muy alta probabilidad, la reducción de la demanda de energía en España y también por tanto la reducción en su dependencia energética exterior, ha sido producida por la reducción en la actividad económica del país (PIB). Además, la elevada correlación de su reducción del PIB con la reducción de emisiones, devuelve el mejor ejemplo de escenario “no sostenible”, propio de economías excesivamente dependientes de los combustibles fósiles, en países industrializados y con un despliegue de medidas de eficiencia energética deficiente. Se observa claramente un patrón de comportamiento insostenible.

El caso de **Francia** es el más espectacular, reduce su dependencia energética del exterior, reduce también su consumo de energía primaria y aumenta su PIB con una fuerte correlación en la reducción de emisiones. Por tanto, es el país que mayor sostenibilidad energética demuestra en la disociación de las tres dimensiones: actividad económica, emisiones y demanda de energía.

Los casos extremos de insostenibilidad de España y sostenibilidad en Francia, contrasta con unos valores de Intensidad Energética de la Economía e Intensidad Técnica del sistema energético excesivamente pobres, lo que induce a concluir que un ratio pobre de IEE no quiere decir que el país no se comporte de manera sostenible (Tabla 20).

**Reino Unido, Alemania e Italia**, aunque con mayor variabilidad en los resultados, demuestran una clara tendencia también a disociar las dimensiones, es decir sus patrones de comportamiento demuestran que logran desacoplar demanda de energía, crecimiento y emisiones, pero no de una manera tan contundente como en Francia.

### *1.3.2 Respecto del modelo*

El modelo sitúa a España en la cola de sostenibilidad, al igual que indica el análisis sobre disociación de las tres dimensiones de la sostenibilidad energética, quedando en primer lugar Reino Unido, seguido muy de cerca por Francia, ocupando la tercera y cuarta posición Italia y Alemania respectivamente.

Desde la perspectiva de los sectores económicos, atendiendo a criterios de eficiencia técnica y de productividad, en el sector servicios es destacable que España e Italia adquieren un lugar destacado de eficiencia (precisamente con las mayores contribuciones de electricidad y gas respectivamente), pero con una reducida productividad. En cambio, Reino Unido y Francia tienen alta eficiencia técnica con elevada productividad. Alemania se sitúa en la peor situación de eficiencia técnica siendo el país con mayor contribución de combustibles fósiles en el sector. En el sector industrial, aunque las contribuciones de fuentes de energía son muy similares en todos los países, destacar el caso de España, que se sitúa en el peor cuadrante con la contribución de combustibles fósiles mayor en su mix sectorial. Alemania, con la mayor eficiencia técnica y productividad, adquiere el mayor peso de la electricidad en el consumo de energía sectorial y el menor en derivados del petróleo. Por último, atendiendo al sector transporte, destacar la polarización del mix de fuentes energéticas de todos los países alrededor de los derivados del petróleo (95-98%) y la situación de España en el peor cuadrante. Ordenando los países en función de criterios de intensidad técnica y

productividad sectorial, obtendríamos en primer lugar a Reino Unido, seguido muy de cerca a Alemania, y posteriormente a Francia, Italia y España.

Atendiendo a criterios de Intensidad Técnica y Económica, es importante destacar, que en el cuadrante óptimo se encuentran los países con menor contribución de los derivados del petróleo en su Consumo de Energía Final del sector servicios de los países analizados (y con mayor contribución del consumo de gas en ese sector, ya que es el sector de mayor peso en el PIB), como son Italia y Reino Unido. Y por último indicar que los países con mayor consumo de petróleo en el sector servicios y menor de gas, son los que peor comportamiento presentan desde el punto de vista de la intensidad técnica y económica.

**Alemania** presenta un comportamiento pobre desde el punto de vista de la sostenibilidad energética, propio de economías intensivas en gasto energético y fuerte dependencia de combustibles fósiles. Aunque no es de los peores en intensidad técnica y energética, se sitúa en cola tanto en el índice de progreso social como en las emisiones. Por tanto las políticas deberían incidir en reducir las emisiones y mejorar las intensidades técnica y energética. Eso se traduce en una reconversión del mix energético del país hacia economías que abandonen los combustibles fósiles y la mejora de la eficiencia en las cadenas de suministro.

**España** se sitúa en el último lugar de sostenibilidad energética de los países en estudio. A la fuerte dependencia energética exterior que lidera junto a Italia y en general también los demás países, hay que añadir que no destaca en ningún indicador. Por tanto queda mucho por hacer. Desde políticas de reducción de emisiones, mejorar la intensidad técnica y energética transformando el mix energético del país. Ayudaría mucho políticas de impulso a la reconversión del sector transporte hacia otras fuentes energéticas y hacia tecnologías híbridas en la movilidad, que abandonen paulatinamente la dependencia de los combustibles fósiles, reduciría en gran medida, la dependencia energética exterior, las emisiones y mejoraría la intensidad energética, aunque habrá que tener en consideración las implicaciones de la penalización de la curva de aprendizaje. El gas presenta una oportunidad importante impulsando su despliegue en el sector doméstico y de servicios ya que se trata de una tecnología madura y eficiente que está infrautilizada en España en comparación con otros países. Por último, su sector eléctrico deberá dinamizarse tanto

desde el mercado minorista como el mayorista, creando un mix más equilibrado en las diferentes tecnologías.

**Francia** lidera el ranking de sostenibilidad energética junto a Reino Unido. Presenta un nivel de emisiones por PIB muy bajo, alejado de España y Alemania, con una fuerte dependencia de la nuclear en su mix, probablemente culpable de su último lugar en el comportamiento de la intensidad técnica del sistema, pero también culpable de su buen valor de emisiones de CO<sub>2</sub> por PIB, sin olvidar que las emisiones totales de GEI por habitante desciende hasta la tercera posición. Aunque se encuentra en último lugar en cuanto a la intensidad energética de la economía, es país que demuestra más claramente el desacoplamiento entre crecimiento y demanda de energía con una correlación muy alta así como el desacoplamiento entre dependencia energética exterior y crecimiento y por último también demuestra un desacoplamiento muy claro entre emisiones y crecimiento económico. Por tanto se demuestra en el modelo su correlación con la premisa de la disociación de los tres pilares. Cualquier mejora en las políticas energéticas se deberían enfocar con contundencia hacia el modelo de transporte y movilidad, que mejoraría la dependencia energética exterior de combustibles fósiles y supondría impulsar la sostenibilidad energética de forma extraordinaria.

**Italia** es el tercero en el ranking y presenta valores muy positivos de intensidad energética y técnica de la economía, pero su modelo de excesiva dependencia de combustibles fósiles en el mix de generación es algo que lastra las emisiones, por tanto, es necesario incidir de manera contundente en diversificar el mix hacia otras tecnologías más limpias. Respecto al gas, es ampliamente utilizado por Italia en su demanda de energía y es posible que le devuelva un buen ratio de intensidad técnica también por este hecho, así como que explique el buen comportamiento de su modelo de transporte y movilidad. Es destacable el peor ratio de progreso social en Italia, ya que difiere en 10 puntos con el primer clasificado.

**Reino Unido** presenta el mejor comportamiento sostenible seguido muy de cerca por Francia que ocupa la segunda posición. Presenta un elevado nivel de emisiones, con la menor contribución de renovables en el consumo final de energía de todos los países en estudio de un 7%, la mitad que el de la siguiente posición en el indicador que es del 14% (Alemania). También presenta una dependencia energética exterior muy favorable y unas

intensidades técnicas y energéticas muy buenas. Tiene una fuerte dependencia de los combustibles fósiles en el mix energético y también eléctrico, lo que le genera un fuerte nivel de emisiones que tan solo por delante tiene a Alemania. Por último, se permite devolver todavía un buen nivel de dependencia energética exterior.





#### 1.4 Sobre el sector eléctrico, la eficiencia de las economías y la competitividad

Afirmaciones como que el aumento de la contribución de renovables en el mix de generación o la reducción de las tecnologías nucleares mejora la dependencia energética exterior, son interesantes de analizar. Efectivamente esas variables tienen una elevada correlación, pero no se evidencia un comportamiento que pueda aplicarse a todos los países analizados. Se puede observar que la correlación entre la variable Generación de origen renovable y la Dependencia energética exterior es positiva solo en Alemania y Reino Unido (además en Reino Unido con una elevada correlación), lo que significa que a incrementos de la generación de electricidad proveniente de fuentes renovables se acompaña de incrementos de la dependencia energética exterior. Caso contrario ocurre en España, Francia e Italia (además en Italia con la mayor correlación del grupo -  $R=0,93081$ ) en la que se puede evidenciar que a incrementos de generación de origen renovable han acompañado reducciones de la dependencia energética exterior. Trasladando el análisis a la correlación de generación de origen renovable con generación nuclear, efectivamente es negativa en Alemania, Francia y Reino Unido, es decir, se puede afirmar que está siendo sustituida una tecnología por la otra en estos países, y a demás con una elevada correlación ( $R=0,98244$ ), no siendo así en España ya que la correlación es positiva, es decir, incrementan la contribución de las dos tecnologías en el mix. Por último, la afirmación que la reducción de la tecnología nuclear mejora la dependencia energética exterior sólo puede evidenciarse en el caso de Francia, cuya contribución de nuclear es muy elevada en el mix, pero en el resto de países no se puede demostrar.

La afirmación sobre que la evolución de los precios va a permitir sólo la reducción del coste de electricidad para las familias y empresas exclusivamente desde el ámbito de la demanda, está completamente justificada, ya que sólo a través de medidas de eficiencia energética, reducción del consumo y en un futuro con la participación real de la demanda en el mercado a través de la generación distribuida y el autoconsumo, podrá reducirse el gasto de las empresas y las familias, ya que los precios del mercado minorista, obedece a otras reglas y no precisamente las de libre mercado.

La irrupción de las tecnologías renovables en el mix de generación de electricidad vaticinaban un crecimiento de la volatilidad de los precios de los mercados mayoristas debido a su naturaleza intermitente y no predecible, pero como se ha podido evidenciar se ha producido una volatilidad significativamente baja durante 2014 y 2015 en varios países europeos con capacidad renovable, aunque posiblemente haya influido el aumento de la sobrecapacidad de generación. Por otro lado, el número de horas con precios pico de electricidad en el mercado mayorista se han reducido de forma significativa durante la última década, no siendo así en los precios medios y bajos, en los que se ha incrementado su frecuencia.

Respecto a los precios en el mercado minorista, hay que destacar que en los países analizados de la UE, se penaliza con impuestos los posibles descensos que se puedan producir en los precios de algunos países en generación, transporte, distribución y suministro de la energía eléctrica, al menos, en el ámbito industrial, donde también se ha producido un acercamiento de los precios en los diferentes países analizados en 2015, lo que deberá monitorizarse en próximos años para evidenciar esa tendencia. Además, en general, el mercado minorista de electricidad en los países analizados se encuentran alejados de un comportamiento de libre mercado, sólo en el caso de Italia con una baja correlación obedecería a esas reglas en las que ante aumentos de demanda de un determinado bien, correspondería aumentos de precio en ese bien y viceversa, ante la misma disponibilidad de producto en ese mercado. Es evidente por tanto, que el aumento en el número de agentes en el mercado influye de forma notable en la competitividad del mismo, dotándole de una mayor dinamización y de una reducción de precios (ante un mismo nivel regulatorio y tecnológico).

Italia obtiene el mejor ratio de Intensidad Técnica del sistema energético seguida de Reino Unido, lo que demuestra la eficiencia en la segunda etapa de las transformaciones energéticas, es decir, el rendimiento de las cadenas de suministro de la energía, la eficiencia en sus redes de distribución y transporte de energía eléctrica, su modelo de transporte y movilidad, su modelo de mix energético y de generación y distribución de gas y electricidad, en definitiva, devuelve un ratio de intensidad técnica muy elevada en comparación con el resto de países. En cambio Francia, presenta el valor mas bajo de intensidad técnica, quedando el resto en un rango intermedio.

Analizando el sector transporte y su situación respecto al consumo final de energía global de cada uno de los países (entre el 28-38% de contribución de los derivados del petróleo que derivan hacia ese sector), aspecto que incide de manera contundente en la dependencia energética exterior de los países analizados, y asumiendo que los rendimientos de las cadenas de suministro son similares en ese sector (no existen grandes diferencias en las tecnologías de transporte utilizadas), se demuestra en España, Reino Unido y Alemania un patrón de comportamiento similar, agrupándose por cierto en torno al 67% de Intensidad Técnica, siendo además sus mixes de generación de electricidad muy similares. Italia y Francia, con mixes de generación de electricidad muy diferentes (polarizándose Francia en la tecnología nuclear e Italia en las plantas de combustibles fósiles), adquiere Italia un buen comportamiento de su Intensidad Técnica con la menor participación del sector eléctrico en el consumo final de energía y una buena diversificación de las fuentes en su sector transporte. Francia demuestra el peor comportamiento de la Intensidad Técnica con la mayor participación del sector eléctrico en el sistema.

En la tabla siguiente se pueden apreciar las correspondencias de cada uno de los países analizados en términos de Eficiencia y Productividad así como correspondencia con la Intensidad Técnica del Sistema e Intensidad Energética de la Economía. Italia y Reino Unido, dos de los países situados en la banda media de productividad de los países estudiados, presentan el mejor resultado en intensidad técnica y económica. Alemania, siendo el más productivo, presenta un resultado mediocre en eficiencia junto con España, el menos productivo. Francia, es el peor parado, con una intensidad técnica muy baja y en caída, junto a una eficiencia económica con tendencia a mejorar pero insuficiente. Además, resulta que es el país que disfruta de los precios más bajos de energía eléctrica y gas.

Tabla 20. Eficiencia, productividad y su relación con la Intensidad Energética de la Economía y la Intensidad Técnica del sistema energético. Fuente: elaboración propia

	EFFICIENCY OF ECONOMY (FECs/GDPs)			PRODUCTIVITY (GDPs/h)		Economical Efficiency EIE (koe/1000€)	Technical Efficiency GIC/FEC
	Services	Industrial	Transport	Services	Industrial		
Germany	High cons.	High cons.					
Spain	Low cons.						
France	High cons.						
Italy	Low cons.						
UK							

Una desagregación hacia el análisis del sector servicios y el industrial en el ámbito de la energía y concretamente en la energía eléctrica, comparándolo con la productividad de un país (renta per cápita), posibilita estrategias de mejora de la productividad a través de las políticas de reducción de precios a través de la tarifa de acceso. Además, existen fuentes alternativas a la electricidad para mejorar la productividad como puede ser en el caso de España, Francia o Alemania, que posibilita también mejoras en la productividad y competitividad de la economía, sobretodo en el sector servicios, con un recorrido aún posible en la utilización del gas natural como alternativa a la electricidad debido a su bajo precio por kWh y a su todavía baja participación en el consumo final de energía de ese país y en ese sector.

No se ha podido evidenciar la estructura adecuada de desagregación en el sector transporte, donde será muy necesario establecerla de forma que permita conocer el comportamiento de los consumos finales de electricidad por sub-sectores, sobretodo ante la irrupción de las diversas formas de consumo de electricidad en el transporte por carretera en los próximos años a través de puntos de recarga, calzadas de recarga, o vehículos de naturaleza híbrida o híbrida-enchufable. Además en todos los países estudiados, el consumo de energía proveniente de combustibles fósiles sigue significando una fuente con elevada contribución en el consumo final de energía en el sector.

La situación de elevada productividad y eficiencia energética en un sector determinado como el industrial, tal y como ocurre en Alemania, no asegura que los ratios de intensidad técnica y económica sean óptimos, ya que es más importante asegurar que todos los sectores guarden un equilibrio en cuanto a eficiencia para obtener buenos ratios. También se cumple la regla que un país con baja productividad en alguno de los sectores o baja eficiencia de su economía en alguno de esos sectores, presumirá de unas eficiencias energética y técnica medias o bajas.

En definitiva, un país con elevada productividad y muy competitivo a nivel de precios de la energía, puede no tener buenos ratios de eficiencia en su economía, ni tan siquiera disfrutar de una buena intensidad técnica, es decir, el problema no se encuentra en mejorar la productividad o la competitividad, sino cómo llegamos a esos resultados: el diseño de las infraestructuras, el rendimiento de las cadenas de suministro de la energía, la eficiencia en redes de distribución y transporte de energía eléctrica, el modelo de transporte y movilidad, el modelo de mix energético y de generación y distribución de gas y electricidad, cómo de eficientes somos en otros sectores en el consumo de energía, que afecta en definitiva a esos parámetros que deben definir las estrategias y políticas energéticas globales de las naciones.



## 2 Nuevas líneas de trabajo

En relación al modelo planteado de indicadores alrededor de la sostenibilidad energética, se definen además tres subsistemas adicionales: la sostenibilidad territorial y urbanística, la sostenibilidad de los recursos hídricos y la sostenibilidad en la atmósfera. El presente trabajo únicamente se centra en el estudio de la gestión de la energía como subsistema del desarrollo sostenible, pero es necesario matizar que está íntimamente relacionado con el resto de subsistemas, por lo tanto, para que exista desarrollo sostenible, deberán de ser sostenibles todos los subsistemas: energía, gestión hídrica, desarrollo territorial y protección de la atmósfera, para los cuales será necesario desarrollar familias de indicadores en ellos.

La correlación realizada para conocer el grado de disociación de las tres dimensiones de la sostenibilidad energética se ha establecido en base a dos variables. El análisis realizado con tres o más variables puede significar impulsar la búsqueda de nuevos patrones de comportamiento, para lo cual se necesitaría un nivel de computación mayor, lo que sería deseable a través de la vinculación de los indicadores cuando se hubieran definido las familias de indicadores en los otros subsistemas.

Trasladar el análisis a agrupaciones de países con diferentes coyunturas energéticas, sin duda ayudará en la definición de otras familias de indicadores, es decir, en aplicación de la tercera premisa sobre la idoneidad de indicadores a las diferentes coyunturas económicas, energéticas, territoriales y sociales de los diferentes países, ya que no todos los indicadores serán los más idóneos para realizar un análisis de la situación energética en las distintas naciones. Así también permitiría obtener patrones de comportamiento medios de agrupaciones de países.

El nivel de desagregación de los datos sin perder homogeneidad en los mismos, así como la obtención, en algunos casos, de una amplitud suficiente de periodicidad, han dificultado especialmente la obtención de información actualizada y fiable. Es presumible que en algunos países no exista esa infraestructura y metodología de obtención de datos para poder realizar el análisis, por lo tanto, en la obtención de otras familias de indicadores apropiados a otras naciones, habrá que valorar, sacrificar el nivel de desagregación simplificando el modelo, lo que puede comprometer los resultados.

A juicio del autor, esta tesis se complementa con los resultados obtenidos de modelos para la identificación y clasificación de segmentos de consumidores de energía eléctrica, ya que en función de esa clasificación, podrían correlacionarse datos con una mayor desagregación en los diferentes sectores económicos: doméstico-terciario e industrial, ya que no existen todavía fuentes fiables de información desagregada sobre los comportamientos de los consumidores, lo que permitiría también establecer clasificaciones de los comportamientos de grupos de consumidores, aún siendo de países diferentes. Todo ello permitirá obtener una mayor información sobre la evolución de la demanda final de energía eléctrica y su correlación con la Intensidad Técnica y el mix de generación.

Respecto a los precios de la electricidad y su comportamiento ante variaciones de la demanda, se abre una línea de trabajo enfocada a estudiar las razones de un comportamiento diferente en los países analizados, especialmente en el caso de Italia, donde además de convertirse en el país con mejor índice de Intensidad Técnica, es el único país que ha evidenciado un comportamiento en el sector eléctrico que más se acerca a las reglas de un mercado libre. Por tanto, estudiando las diferentes regulaciones de los sectores eléctricos en los países analizados, la configuración de los precios en los mercados mayoristas así como la forma en la que se trasladan al minorista, deberán ofrecer algunas claves para explicar ese comportamiento.

## Bibliografía

- [1] ACER/CEER Agency for the Cooperation of Energy Regulators. (2016). *Annual Report on the Results of Monitoring the Internal Electricity Markets in 2015*.
- [2] Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico. (2016). *Relazione Annuale sullo stato dei servizi e sull'attività svolta*. Roma: Autorità per l'energia elettrica il gas e il sistema idrico.
- [3] Banco Mundial. (22 de 01 de 2017). *Grupo Banco Mundial BIRF-AIF-IFC-MIGA-CIADI*. Recuperado el 22 de 01 de 2017, de Datos de libre acceso del Banco Muncial: [www.bancomundial.org](http://www.bancomundial.org)
- [4] Bernardini, O. &. (1993). Dematerialization: Long-term trends in the intensity of use of materials and energy. *Futures* , 431-448.
- [5] Central Intelligence Agency. (1 de 06 de 2015). *The World Factbook - Central Intelligence Agency* . Recuperado el 1 de 06 de 2013, de Central Intelligence Agency: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/fields/2012.html>
- [6] Ciegis, R. (2009). The concept of sustainable development and its use for sustainability scenarios. *Engineering Economics* , 28-37.
- [7] Climate Change. (26 de 01 de 2017). *Climate Action*. Recuperado el 26 de 01 de 2017, de Causes of climate change: [http://ec.europa.eu/clima/change/causes\\_en](http://ec.europa.eu/clima/change/causes_en)
- [8] CNE - Comisión Nacional de Energía. (2013). *Boletín Mensual de Indicadores Eléctricos y Económicos*. Madrid: CNE.
- [9] CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2017). *Boletín de Indicadores Eléctricos*. Madrid: CNMC.

- [10] CNMC - Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia. (2014). *Informe de Supervisión del Mercado Minorista de Electricidad*. Madrid: CNMC.
- [11] Comisión Europea. (2014). *Comprender las políticas de la UE: Energía*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la UE.
- [12] Comisión Europea. (2014). *EU Reference Scenario 2013. EU Energy, Transport and GHG Emissions. Trends to 2050*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
- [13] Comisión Europea. (2016). *EU Reference Scenario. Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la UE.
- [14] Comisión Europea. Market Observatory & Statistics. (2014). *Price Developments on the EU retail markets for electricity and gas 1998-2011*. Bruselas: European Commission.
- [15] CRE - Commission de Régulation de L'Energie. (2015). *Observatoire des marchés de l'électricité et du gaz naturel*. Paris: CRE.
- [16] Deng, S., & Tynan, G. (2011). Implications of Energy Return on Energy Invested on Future Total Energy Demand . *Sustainability* , 2433-2442.
- [17] Department of Energy and Climate Change - UK. (s.f.). *Gov.uk*. Recuperado el 24 de 01 de 2017, de Statistics of the Government of UK:  
<https://www.gov.uk/government/statistics>
- [18] Diaz, P. &. (2011). Análisis comparativo de los índices de desarrollo humano disponibles. Una mejora continua en la imagen de la situación mundial. *XIII Reunión de Economía Mundial*. San Sebastian: <http://xiiiirem.ehu.es/es>.
- [19] Economics for Energy. (2010). *Análisis de la evolución de la Intensidad Energética en España*. Madrid: Economics for Energy.
- [20] ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity. (01 de 06 de 2013). *ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity*. Recuperado el 01 de 06 de 2013, de ENTSO-E European Network of Transmission System Operators for Electricity: <http://www.entsoe.eu/data/data-portal/>
- [21] European Commission. Directorate-General for Economic and Financial Affairs. (2013). *Member States' Energy Dependence: An Indicator-Based Assessment*. Brussels, Belgium: European Union.

- [22] European Union. (2016). *Energy, transport and GHG emissions. Trends to 2050*. European Commission. Luxembourg: Publications Office of the EU.
- [23] EUROSTAT - European Commision. (15 de 09 de 2016). *Eurostat - Your key to european statistics*. Recuperado el 15 de 09 de 2016, de Eurostat: <http://ec.europa.eu/eurostat>
- [24] Expansión - Datos Macro. (12 de 04 de 2017). *Datosmacro.com*. Recuperado el 12 de 04 de 2017, de Expansión/Datosmacro.com: <http://www.datosmacro.com>
- [25] Federico, G., & Vives, X. (2008). *Competencia y regulación en los mercados españoles del gas y la electricidad*. IESE.
- [26] Fernandez-Baldor, A. (2012). Technologies for Freedom: a technological model to a human and sustainable development. *Desafíos de los Estudios del Desarrollo: Actas del I Congreso Internacional de Estudios del Desarrollo*.
- [27] Fraunhofer ISE - Institute for Solar Energy Systems. (2014). *Electricity Production and Spot-Prices in Germany 2014*. Fraunhofer ISE.
- [28] Galli, R. (1998). The Relationship between Energy Intensity and Income Levels: Forecasting Long Term Energy Demand in Asian Emerging Countries. *The Energy Journal* , 85-105.
- [29] García Alvarez, T., & Moreno, B. (2016). La liberalización en la industria eléctrica española. *Gestión y Política Pública* , 551-589.
- [30] Garriga, A. &. (2009). *Introducción al análisis de datos*. UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- [31] Ghosh, N. (2008). The road from economic growth to sustainable development: How was it traversed?
- [32] Grossman, G. M., & Krueger, A. B. (1995). Economic Growth and the Environment. *The Quarterly Journal of Economics* , 110 (2), 353-377.
- [33] Henshaw, P., King, C., & Zarnikau, J. (2011). System Energy Assessment (SEA), Defining a Standard Measure of EROI for Energy Businesses as Whole Systems . *Sustainability* , 1908-1943.
- [34] IAEA. (2005). *Energy Indicators for Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*. IAEA-UNDESA-IEA-EUROSTAT-EEA. Vienna: IAEA.
- [35] IDAE - Instituto para la Deversificación y el Ahorro Energético. (2011). *Analisis del consumo energético del sector residencial en España - Proyecto SECH-SPAHOUSEC*. Madrid: Departamento de Planificacion y Estudios IDAE.

- [36] IEA - International Energy Agency - Statistics. (25 de 04 de 2017). *International Energy Agency - Statistics - Energy Balance Flows*. Recuperado el 25 de 04 de 2017, de International Energy Agency: <http://www.iea.org/Sankey/>
- [37] IMF International Monetary Fund. (01 de 01 de 2016). *World Economic Outlook Databases (WEO)*. Recuperado el 01 de 07 de 2013, de IMF Data: <http://www.imf.org/en/data>
- [38] Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office. (01 de 01 de 2016). *INE*. Recuperado el 01 de 06 de 2015, de INE - Instituto Nacional de Estadística: <http://www.ine.es>
- [39] Instituto Nacional de Estadística - Spanish Statistical Office. (2010). *Índices de Producción Industrial (IPI) - Metodología*. Madrid: INE.
- [40] International Energy Agency (IEA) and the World Bank. (2015). *Sustainable Energy for All 2015—Progress Toward Sustainable Energy*. Washington, DC: World Bank.
- [41] IUCN - The World Conservation Union. (2004). *The IUCN Programme 2005-2008: Many Voices, One Earth*. The World Conservation Congress, Bangkok.
- [42] IVIE - Instituto Valenciano de Investigaciones Económicas. (2010). Desarrollo Humano: más allá del PIB. *Cuadernos de Capital Humano* (114), 8.
- [43] Jänicke, M. &. (1989). Structural Change and Environmental Impact. *Intereconomics* , 24 (1), 24-35.
- [44] Judson, R. &. (1999). Economic Development and the Structure of the Demand for Commercial Energy . *The Energy Journal* , 29-57.
- [45] Keynes, J. (1936). *The General Theory of Employment, Interest and Money*. London: Macmillan Cambridge University Press.
- [46] Lawrence Livermore National Laboratory. (s.f.). *Energy Flow Charts: Charting the complex relationships among Energy, Water, and Carbon*. Recuperado el 01 de 01 de 2017, de LLNL Flow Charts: <https://flowcharts.llnl.gov>
- [47] Leal-Arcas, R. (2013). Conceptualizing EU energy security through EU constitutional law perspective. *Fordham International Law Journal* , 36, 77.
- [48] Leal-Arcas, R. (2015). Designing International Trade in Energy Governance for EU Energy Security. *Legal Studies Research* (197).
- [49] Lior, N. (2010). Sustainable energy development: The present (2009) situation and possible paths to the future. *Energy* , 3976-3994.

- [50] Martínez, A. &. (2014). Energy Intensity of the economy as a variable to measure the energy efficiency of a country: comparison between European member states. *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)* (12), 6.
- [51] Martínez, A. &. (2016). Sustainability as a Paradigm of Energy Policy. *Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)* (14).
- [52] Mayer, A. L. (2008). Strengths and weakness of common sustainability indices for multidimensional systems. *Environment International* (34), 277-291.
- [53] Meadows, D. (1972). *The limits to growth. A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind*. New York: Universe books.
- [54] Medlock, K. &. (2001). Economic Development and End-Use Energy Demand . *The Energy Journal* , 77-105.
- [55] Munasinghe, M. (1992). Environmental economics and sustainable development. *UN Earth Summit* .
- [56] Naredo, J. M. (1996). Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. En T. y. Ministerio de Obras Públicas, *La construcción de la ciudad sostenible*. Madrid.
- [57] Neumayer, E. (2003). *Weak versus strong sustainability* (última edición en 2013 ed.). Northampton, Massachusetts, USA: Edward Elgar Publishing, Inc.
- [58] Nieto, J. &. (2011). *Cambio Global en España 2020-2050. Energía, Economía y Sociedad*. Centro Complutense de Estudios e Información Ambiental - Fundación CONAMA. Asturias: Centro Complutense de Estudios e Información Ambiental.
- [59] Norton, B. G. (1992). Sustainability, Human Welfare and Ecosystem Health . (T. W. Press, Ed.) *Environmental Values* , 97-111.
- [60] Nussbaumer, O., Nerini, F., Onyeji, I., & Howells, M. (2013). Global Insights Based on the Multidimensional Energy Poverty Index (MEPI) . *Sustainability* , 2060-2076.
- [61] Ocaña, C., & Romero, A. (1997). La organización del sector eléctrico español: regulación, desregulación y competencia. *Ekonomiaz* , 55-79.
- [62] OECD/IEA Technology Roadmap. (2011). *Electric and plug-in hybrid electric vehicles*. Paris: IEA.
- [63] OECD/IEA. (2012). *World Energy Outlook - Methodology for Energy Access Analysis*. OECD/IEA.
- [64] OECD/IEA. (2013). *World Energy Outlook - Resumen Ejecutivo*. OECD/IEA. Paris: IEA Publications.

- [65] OECD/IEA. (2014). *World Energy Outlook - Resumen Ejecutivo*. Paris: OECD/IEA.
- [66] OECD/IEA. (2015). *World Energy Outlook - Resumen Ejecutivo*. Paris: OECD/IEA.
- [67] OECD/IEA. (2016). *World Energy Outlook - Resumen Ejecutivo*. OECD/IEA.
- [68] OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority. (2016). *Retail Energy Market in 2016*. London.
- [69] OFGEM - Gas and Electricity Markets Authority. (2016). *Wholesale Energy Markets in 2016*. London: OFGEM.
- [70] Oficina del alto comisionado de las Naciones Unidas para los derechos humanos. (2006). *Los principales tratados internacionales de derechos humanos*. Naciones Unidas. Nueva York y Ginebra: Naciones Unidas.
- [71] O'Kean, J. M. (1994). *Análisis del entorno económico de los negocios*. Madrid: McGraw-Hill.
- [72] OMIE. (23 de 04 de 2017). *Operador del Mercado Ibérico de la Electricidad*. Recuperado el 23 de 04 de 2017, de OMIE: <http://www.omie.es/inicio>
- [73] Panayotou, T. (1993). *Green markets: the economics of sustainable development*. San Francisco, USA: ICEG/Harvard Inst. of International Development/ICS Press.
- [74] Pezzey, J. (1997). Sustainability constraints versus "optimality" versus intertemporal concern, and axioms versus data. *Land Economics*, 73 (4), 448-466.
- [75] Pigou, A. C. (1920). *The Economics of welfare*. London: Macmillan & Co.
- [76] Porter, M. & Stern, S. (2015). *Social Progress Index 2015*. Social Progress Imperative.
- [77] REE - Red Eléctrica de España. (2016). *El sistema eléctrico español 2015*. Madrid: REE.
- [78] REE - Red Eléctrica de España. (2012). *Informe del Sistema Eléctrico Español 2012 - International Comparison*. Madrid.
- [79] Richmond A.K. & Kauffmann, R. (2006). Energy prices and Turning Points: the relationship between Income and Energy Use/Carbon Emissions. *The Energy Journal*, 157-180.
- [80] Robles, R. (2011). A review on existing sustainable indices on efficient energy. *International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'11*, (pág. 6). Las Palmas de Gran Canaria.
- [81] Robles, R. (2012). *Eficiencia energética sostenible: método para la toma de decisiones*. Cordoba: Servicio Publicaciones Universidad de Córdoba.

- [82] Romero, J. &. (julio-agosto de 2014). Hacia una conceptualización operativa de la sostenibilidad energética. *Anales de mecánica y electricidad*, 4-9.
- [83] Secretaría de Estado de Energía - Ministerio de Industria, Energía y Turismo - Gobierno de España. (2011). *Planificación Energética Indicativa, según lo dispuesto en la Ley 2/2011, de 4 de marzo, de Economía Sostenible*. Madrid: SEE.
- [84] Secretaria de Estado de Energía - Ministerio de Industria. Gobierno de España. (2010). *La energía en España 2010*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Industria. Gobierno de España.
- [85] Secretaria de Estado de Energía - Ministerio de Industria. Gobierno de España. (2012). *La Energía en España 2012*. Madrid: Centro de Publicaciones del Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- [86] Sen, A. K. (1999). *Desarrollo y libertad*. (E. R. Toharia, Trad.) Barcelona: Planeta.
- [87] Social Progress Imperative. (01 de 02 de 2017). *Ve el mundo de manera diferente. Midiendo el progreso social, no la riqueza*. Recuperado el 01 de 02 de 2017, de Social Progress Imperative: <http://www.socialprogressimperative.org/>
- [88] The World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Bruntland, G.H.
- [89] UN - Millenium Project. (2005). *Invirtiendo en el desarrollo. Un plan práctico para conseguir los Objetivos del Desarrollo del Milenio*. New York: Naciones Unidas.
- [90] UN - Resolución de la Asamblea General de 25 de septiembre. (2015). *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Nueva York: UN.
- [91] UN - Secretario General. (2011). Energía Sostenible para todos. Nota del Secretario General Ban Ki-moon. *Energía Sostenible para Todos* (pág. 11). Nueva York: UN.
- [92] UN - Secretario General. (2014). *The road to dignity by 2030: ending poverty, transforming all lives and protecting the planet*. Nueva York: UN.
- [93] UN - Sustainable Development Goals. (01 de 01 de 2016). *Sustainable Development Goals. 17 Goals to Transform our World*. Recuperado el 08 de 02 de 2017, de Sustainable Development Goals: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- [94] UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano. (2015). *Informe sobre Desarrollo Humano 2015. Trabajo al servicio del desarrollo humano*. Nueva York: UNDP.
- [95] UNDP - Informe sobre el Desarrollo Humano. (2011). *Sostenibilidad y equidad: un mejor futuro para todos*. Washington DC: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

- [96] UNDP - United Nations Development Programme. (01 de 02 de 2017). *Human Development Reports - El índice de desarrollo humano (IDH)*. Recuperado el 01 de 02 de 2017, de United Nations Development Programme - Datos:  
<http://hdr.undp.org/es/content/el-%C3%ADndice-de-desarrollo-humano-idh>
- [97] United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO. (2015). *The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a sustainable world*. Report.
- [98] United Nations. (2014). *World Urbanization Prospects*. UN, Department of Economic and Social Affairs. New York: UN.
- [99] Vera, I. (2005). Indicators for sustainable energy development: an initiative by the International Atomic Energy Agency. *Natural Resources Forum* , 274-283.
- [100] World Energy Council. (2014). *Energy Trilemma Index. Benchmarking the sustainability of national energy systems*. World Energy Council. London: World Energy Council.
- [101] WWF - World Wide Fund for Nature. (2010). *WWF Living Planet Report*. Gland: WWF International.

