

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA
Grado en Ciencias Ambientales



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA
SUPERIOR DE GANDIA

**“Auditoría ambiental a las tecnologías
de producción eléctrica en España”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor/a:
Adrián Taberner Sanchis

Tutor/a:
Constantino Torregrosa Cabanilles

GANDIA, 2018

Auditoría ambiental a las tecnologías de producción eléctrica en España

Abstract

The increasing consumption of electricity is strongly tied to the economic development of every country. But this growth has also important consequences on the environment and even on the economy and the social welfare of the population. Nowadays many different technologies of electricity generation are in operation in our country. This study presents an evaluation of the main technologies of production and their environmental impacts. After the review of the existent methods of evaluation, a series of indicators have been selected and their values have been estimated from diverse sources. The results of the comparison in a reasoned way confirm the need of an energetic transition to another model based on the renewable technologies.

Keywords

Environmental impact, energy production, electricity generation, Spain.

Resumen

El creciente consumo de energía eléctrica está fuertemente ligado al desarrollo económico del país. Pero dicho crecimiento tiene también consecuencias importantes sobre el medio ambiente e incluso para la economía y el bienestar social de la población. Existen múltiples tecnologías de generación de energía eléctrica actualmente en funcionamiento en nuestro país. En este trabajo se realiza una evaluación de las principales tecnologías de producción y sus impactos ambientales. Tras la revisión de los métodos de evaluación existentes, se han seleccionado una serie indicadores y se han estimado sus valores desde diversas fuentes. Los resultados de la comparación confirman de una manera razonada la necesidad de una transición energética a otro modelo basado en las tecnologías renovables.

Palabras clave

Impacto ambiental, producción energética, generación eléctrica, España.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	4
1.1. ANTECEDENTES	4
1.2. ENERGÍA Y DESARROLLO ECONÓMICO	5
1.3. IMPLANTACIÓN DE LA ELECTRICIDAD EN ESPAÑA.....	6
1.4. Objetivo del trabajo.....	6
2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL.....	7
2.1. Fuentes de energía eléctrica y mix.....	7
2.2. Dependencia energética	9
2.3. Potencia instalada	11
2.4. Emisiones de CO ₂	12
2.5. Problemas económico – sociales	14
2.6. Funcionamiento del sistema eléctrico: actores y mercado.....	15
3. INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA	17
3.1. Energía hidráulica	18
3.2. Energía nuclear.....	18
3.3. Carbón	19
3.4. Ciclo combinado y gas.....	20
3.5. Energía eólica	21
3.6. Solar	22
4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN	23
4.1. Eficiencia energética	23
4.2. Análisis del ciclo de vida (ACV)	23
4.3. Huella de carbono	24
4.4. Análisis energético del coste ecológico	24
5. INDICADORES AMBIENTALES	25
5.1. Residuos.....	26
5.2. Emisiones.....	28
5.3. Ocupación del territorio.....	31
5.4. Grado de dependencia exterior	31
5.5. Coste de desmantelamiento	35
5.6. Agotamiento y disponibilidad	35
5.7. Escalabilidad	36
5.8. Uso del agua.....	37
5.9. Capacidad de regulación	38
6. CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS.....	39
7. CONCLUSIONES	41
8. BIBLIOGRAFÍA	43

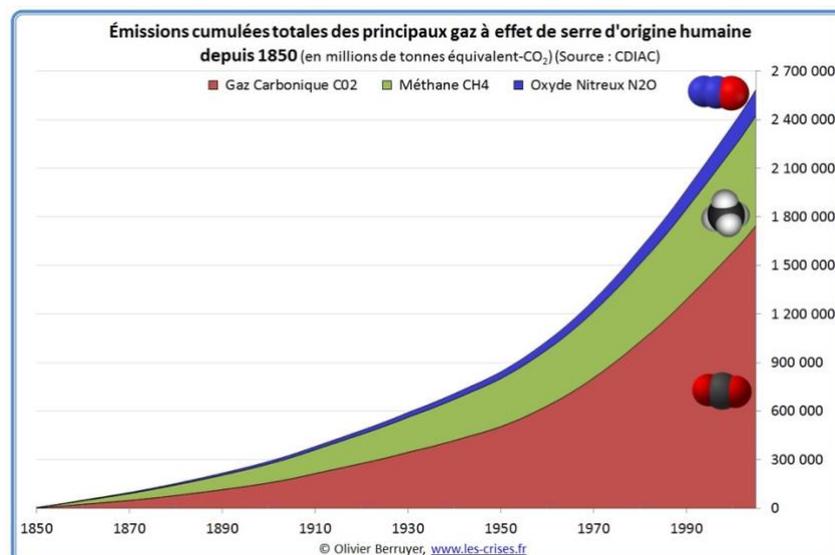
1. INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

La energía se define como la capacidad para realizar un trabajo [1]. Desde que el ser humano existe, hace unos 195.000 años aproximadamente [2], ha usado la energía para producir trabajo. La escasez de un recurso energético ha sido el condicionante que ha llevado a buscar nuevas formas de energía. La primera fuente de energía fue la fuerza humana esclava, seguida de la energía animal, pasando por el uso de la madera como combustible, al carbón, el petróleo y la energía nuclear [3].

No fue hasta la Revolución Industrial, hace aproximadamente unos 200 años, cuando se empezaron a usar a gran escala los combustibles fósiles para producir energía y, consecuentemente, generar emisiones contaminantes para el medio ambiente.

En aquella época las máquinas funcionaban a vapor, que era conseguido mediante la combustión del carbón, lo que producía CO_2 , SO_2 , CO y NO_x principalmente. Como puede observarse en la gráfica 1 las emisiones de CO_2 , CH_4 y N_2O han aumentado drásticamente desde la Revolución Industrial.



Gráfica 1: Evolución de diferentes gases contaminantes desde la Revolución Industrial [4]

Hasta finales del siglo XIX las formas de energía conocidas se usaban para producir trabajo y aumentar el rendimiento conseguido en diversas actividades, tales como agricultura, transporte, industria, etc. Sin embargo, la electricidad no se estableció en la vida cotidiana hasta finales del siglo XIX y principios del XX, lo que permitió también que las industrias rompieran la independencia energética para su localización [3].

Ya entrado el siglo XX aparecen los primeros reactores nucleares, hecho que permitió incrementar en los países más desarrollados la producción de energía eléctrica

con nuevas formas de energía y continuar con la electrificación de las ciudades y los hogares.

Como ya se ha visto en la Gráfica 1, las emisiones de gases contaminantes han aumentado drásticamente desde que empezó la revolución industrial, no obstante, hasta la década de los 70 no se empezó a tener la preocupación por el medio ambiente que se presenta en la sociedad actual, relacionada también entre otras cosas con la crisis petrolífera [3].

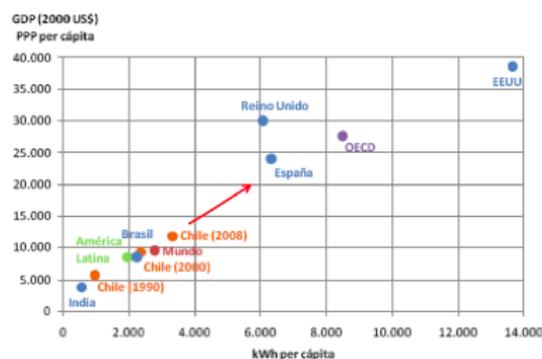
Tabla 1: Evolución del consumo energético individual [3]

TABLA 1 RECORRIDO HISTÓRICO DEL CONSUMO INDIVIDUAL DE ENERGÍA EN TEC*					
	ALIMENTACIÓN	ACTIVIDADES DOMÉSTICAS Y SERVICIOS	INDUSTRIA Y AGRICULTURA	TRANSPORTE	TOTAL TEC / AÑO
Paleolítico	0,25	0,25	--	--	0,50
Neolítico	0,25	0,25	0,25	--	0,75
Agricultura avanzada	0,30	0,50	0,40	0,20	1,40
Sociedad industrial	0,50	1,50	1,0	1,0	4,0
Sociedad tecnológica	0,60	3,50	4,25	3,0	11,35

*1 tec= 7x10⁶ kilocalorías.

1.2. ENERGÍA Y DESARROLLO ECONÓMICO

El acceso y uso de la energía y el desarrollo económico y social guardan una relación directa. Haciendo referencia de nuevo a la tabla 1, se puede ver como la evolución de la humanidad guarda una relación con el aumento del consumo energético individual. Desde el paleolítico hasta la sociedad tecnológica el consumo por persona de energía se ha multiplicado por 23.



Gráfica 2: Relación PIB per cápita y consumo energético [5]

El consumo energético hoy en día es un indicador del nivel de desarrollo de un país. Mientras que el 20% de la población consume un 80% de los recursos totales, el otro 80% de la población ha de conformarse con el 20% de los recursos [6].

Observando la Gráfica 2, se puede ver que, a mayor PIB per cápita, la energía consumida per cápita es mayor.

1.3. IMPLANTACIÓN DE LA ELECTRICIDAD EN ESPAÑA

La primera central eléctrica en nuestro país data del 1875 en la ciudad de Barcelona cuya electricidad producida se destinaba principalmente para la iluminación de pequeños talleres y viviendas de las clases altas de la sociedad [7].

En el año 1881 se constituye en España la Sociedad Española de Electricidad, momento en que se considera que empezó la explotación a nivel industrial del mercado eléctrico en España [8]. La electricidad se usaba únicamente para el alumbrado de las calles y de escasas viviendas.

A partir de 1890 aparece el uso de la electricidad para los transportes públicos ya que aparecen los tranvías que funcionan con este tipo de energía, aunque también comienza a usarse la electricidad para el proceso productivo. Sin embargo, no era posible transportar la energía a grandes distancias, por lo que la misma debía ser generada y consumida en el mismo lugar.

En el siglo XX se consolidan las empresas del sector y aumenta el radio de acción de las mismas, posibilitando la electrificación de algunas ciudades gracias al transporte de la energía eléctrica.

En cuanto a la evolución del consumo de la energía en España, desde principios del siglo XX hasta la década de los 30 las regiones que más energía consumían eran Cataluña, País Vasco y Valencia; sin suponer un aumento considerable en dicho periodo de tiempo. En el periodo que comprende la Guerra Civil Española la demanda energética disminuyó respecto a años anteriores. En los años posteriores a dicho acontecimiento la demanda de electricidad siguió una tendencia al alza, pero se produjeron dificultades para conseguir la producción energética que se demandaba debido a los bloqueos internacionales. El gran crecimiento económico que se dio entre los años 60 y 70 conllevó aumento considerable del consumo eléctrico [7].

En el siguiente capítulo se describe la situación actual del sistema eléctrico español.

1.4. Objetivo del trabajo

Actualmente el uso de electricidad es un bien de primera necesidad sin el cual no se concibe la sociedad moderna. Sin embargo, desde su origen o fuente de energía primaria hasta que las personas conectan su teléfono móvil inteligente a la red y cargan su batería, hay un entramado tremendamente complejo de actores, infraestructuras, políticas e impactos ambientales.

El problema es que, la mayoría de la gente no es consciente de todos los problemas que acarrea el uso excesivo de la electricidad, porque, más allá de los costes que suponen para el consumidor, hay costes que no tienen repercusiones económicas a corto plazo, como es la contaminación y degradación del medio ambiente o el agotamiento de los recursos.

Es por ello que, uno de los objetivos de este trabajo es explicar cómo funciona el sistema eléctrico, los actores que en él intervienen y de donde proviene la electricidad consumida, así como los problemas ambientales que derivan de la forma en que ésta se produce.

Por otra parte, también se pretende evaluar y comparar las diferentes tecnologías de producción eléctrica más utilizadas en España desde el punto de vista medioambiental, para priorizar su desarrollo aclarando y explicando sus características positivas y negativas.

A lo largo de este trabajo se detallan la situación actual de la producción eléctrica en España, las distintas tecnologías que se usan para producir la electricidad, se resumen los métodos de evaluación ambiental más utilizados, seleccionando los indicadores ambientales que permitan realizar la valoración.

2. SITUACIÓN ACTUAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO ESPAÑOL

2.1. Fuentes de energía eléctrica y mix

Para comprender el sistema energético en la actualidad, se ha de tener en cuenta que, en la naturaleza, la energía es una magnitud que se conserva y, por tanto, no se puede generar de la nada ni desaparecer. La energía puede adquirir muchas formas distintas mediante transformaciones, pero unas formas de energía tienen mayor utilidad práctica que otras. En todas las transformaciones, una parte de la energía se degrada, es decir, se transforma en el tipo de energía menos útil, calentando los sistemas.

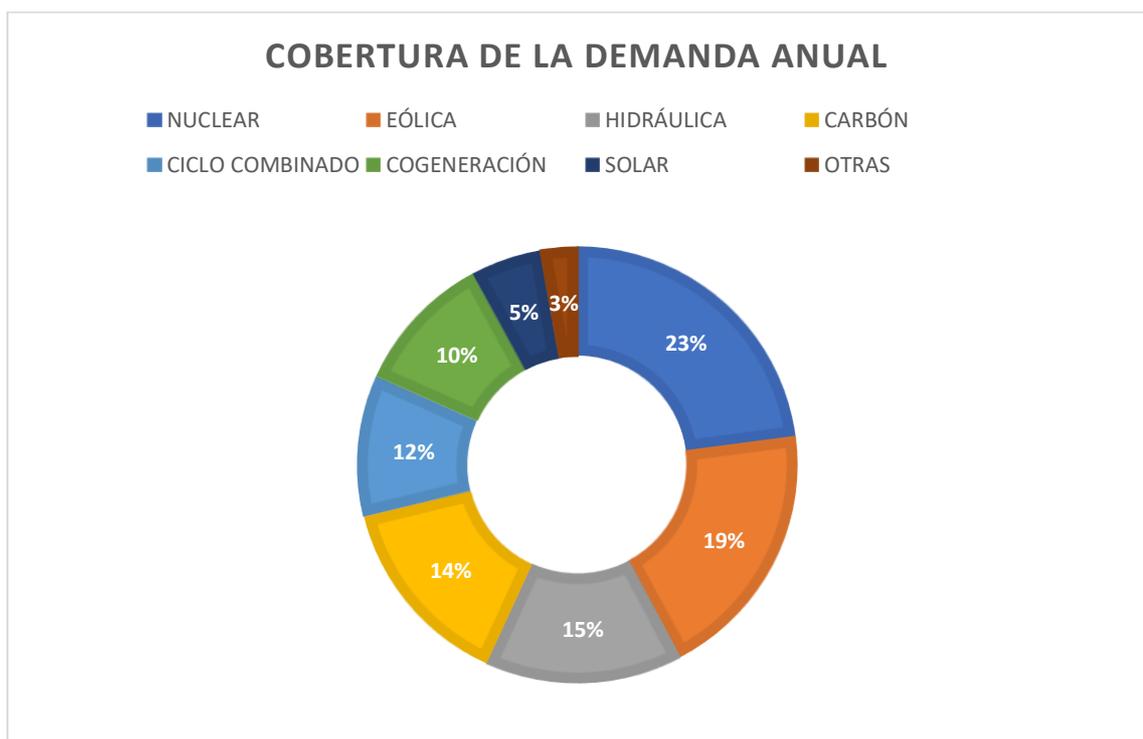
El sistema energético actual consiste en un gran número de instalaciones y diferentes tecnologías de transformación energética y su transporte, desde las fuentes

de energía primaria hasta los usuarios finales. A continuación, se definen algunos conceptos importantes.

En primer lugar, cabe diferenciar dos términos fundamentales. El primero de ellos es la energía primaria (se refiere a la energía que se puede obtener directamente de la Naturaleza, como por ejemplo puede ser un depósito de carbón o energía luminosa del Sol) y, el segundo, la energía final (se trata de la energía utilizada por el usuario final, una vez transformada y transportada, a partir de la energía primaria) [9].

La energía eléctrica pertenece al segundo tipo de energía, motivo por el cual, se debe a recurrir a fuentes de energía primaria para su generación. El mix eléctrico refleja las fuentes de energía primaria que son usadas para producir la energía eléctrica.

En la gráfica 3 quedan reflejadas las fuentes de energía primaria más usadas en la Península Ibérica, que son, por orden de importancia; la nuclear, la eólica, la hidráulica y el carbón.



Gráfica 3: Mix eléctrico de España en 2016. Porcentaje de aportación de cada fuente. (Elaboración propia) [10]

Las tecnologías de producción de energía eléctrica que más peso tienen en el mix en 2016 son, en primer lugar, la nuclear con un 23%, seguida de la eólica con un 19,3% y de la hidráulica con un 14,6%. Cabe destacar que, respecto al año 2015, el carbón ha disminuido en gran medida su aporte al mix. En el año 2015 el carbón suponía un 20,3%, situándose como la segunda tecnología de producción de energía eléctrica, mientras que ahora se encuentra en cuarto lugar.

Tabla 2: Energía eléctrica nacional en 2016. Generación de energía por fuentes [10]

	Sistema peninsular		Sistemas no peninsulares		Total nacional	
	GWh	%16/15	GWh	%16/15	GWh	%16/15
Hidráulica	39.168	25,5	3	-3,2	39.171	25,5
Nuclear	56.099	2,5	-	-	56.099	2,5
Carbón	35.188	-30,9	2.304	23,5	37.491	-29,0
Fuel/gas ⁽²⁾	-	-	6.765	4,1	6.765	4,1
Ciclo combinado ⁽³⁾	25.686	1,7	3.574	-11,1	29.260	-0,1
Hidroeléctrica	-	-	18	111,6	18	111,6
Éólica	47.296	-0,9	399	-0,6	47.695	-0,9
Solar fotovoltaica	7.567	-3,5	398	-0,1	7.965	-3,4
Solar térmica	5.060	-0,5	-	-	5.060	-0,5
Otras renovables ⁽⁴⁾	3.416	7,6	11	6,2	3.426	7,6
Cogeneración	25.782	1,4	35	10,1	25.817	1,4
Residuos	3.121	4,5	271	-12,7	3.392	2,9
Generación	248.383	-2,4	13.778	1,7	262.161	-2,2
Consumos en bombeo	-4.819	6,6	-	-	-4.819	6,6
Enlace Península-Baleares ⁽⁵⁾	-1.251	-6,4	1.251	-6,4	0	-
Saldo intercambios internacionales físicos ⁽⁶⁾	7.667	-	-	-	7.667	-
Demanda [b.c.]	249.980	0,6	15.029	1,0	265.009	0,7

[1] Asignación de unidades de producción según combustible principal. [2] En el sistema eléctrico de Baleares se incluye la generación con grupos auxiliares. [3] Incluye funcionamiento en ciclo abierto. En el sistema eléctrico de Canarias utiliza gasoil como combustible principal. [4] Incluye biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica. [5] Valor positivo: entrada de energía en el sistema; valor negativo: salida de energía del sistema. [6] Valor positivo: saldo importador; valor negativo: saldo exportador. Los valores de incrementos no se calculan cuando los saldos de intercambios tienen distinto signo.

En la Tabla 2 puede observarse la cantidad de energía eléctrica producida en el año 2016 desglosada por tecnologías de producción (Mix energético).

Los consumos por bombeo hacen referencia a una forma de almacenar energía eléctrica. En los momentos en que la producción de electricidad es mayor a la demanda, para no perder esa electricidad, se bombea agua de abajo a arriba de una presa, almacenando la energía en forma de energía potencial, atendiendo al principio de que la energía no se pierde, se transforma. Es una de las pocas maneras prácticas de almacenamiento de energía en el sistema eléctrico, en el que normalmente se ha de ajustar la producción y la demanda de forma continua.

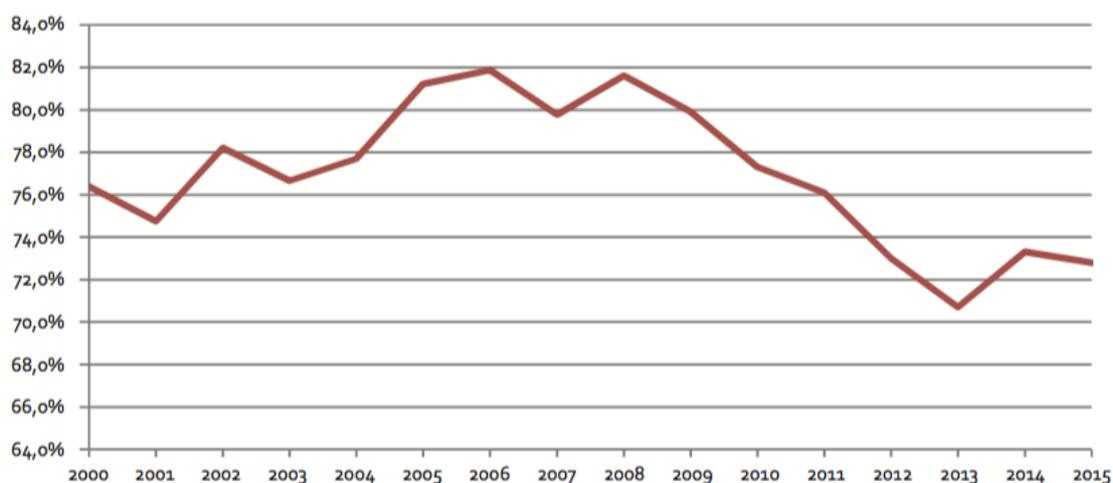
2.2. Dependencia energética

En cuanto a la dependencia energética de España, es un país más dependiente energéticamente que otros países de la Unión Europea. España depende en un 70% de otros países para abastecerse de energía frente a un 50% de media de los países de la Unión Europea [11]. Esto se debe en gran medida a la importación de combustibles fósiles.

Tabla 3: Consumo de energía final en España por sectores en (KTEP) [12]

	2014	2015	Tasa de variación %
Carbón	1.143	1.160	1,5
Gases Derivados del Carbón	224	239	6,7
P.Petrolíferos	42.264	42.879	1,5
Gas	14.778	14.344	-2,9
Electricidad	19.513	19.999	2,5
Energías renovables	5.109	5.302	3,8
Total usos energéticos	83.031	83.923	1,1
Usos no energéticos:			
Carbón	0	43	
Prod. Petrolíferos	3.622	3.368	-7,0
Gas natural	485	448	-7,6
Total usos finales	87.138	87.739	0,7

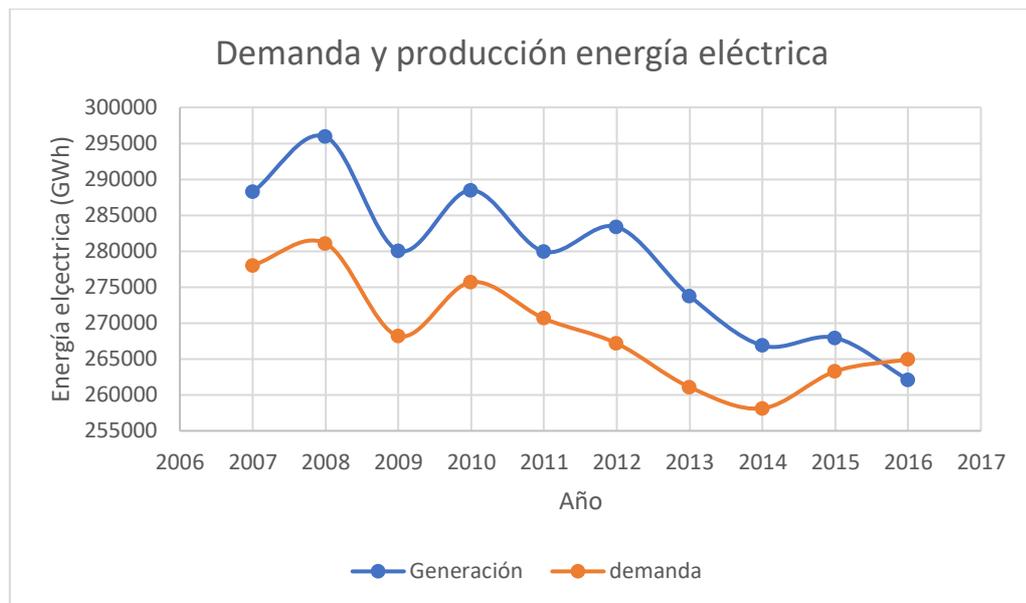
Esta dependencia energética sufre fluctuaciones un año respecto a otro (ver Gráfica 4) debido a factores como la economía o al aporte de las energías renovables al mix.



Gráfica 4: Evolución de la dependencia energética en España (metodología Eurostat) [12]

En cuanto a la dependencia de electricidad no existe una dependencia directa de ésta (no se necesita comprar la electricidad que se consume) pero sí que hay una dependencia indirecta; fruto del mix eléctrico. Se usa gran cantidad de combustibles fósiles y nuclear, que España tiene que importar, para producir energía eléctrica.

Por lo tanto, España es un país dependiente de otros países para producir energía eléctrica.



Gráfica 5: Evolución de la demanda de electricidad en comparación con la generación de electricidad (elaboración propia) [13]

Como se observa en la Gráfica 5, el año 2016 fue un año en el que la producción de electricidad fue menor a la demanda de la misma, teniendo que recurrir a la importación de la misma para cubrir las necesidades.

En referencia a la demanda, en el año 2016 se registró un ligero aumento de un 0,6% respecto al año anterior, siendo esta de 265TWh [10], cifra que se cubrió con un 97% de producción interna, es decir, no se tuvo que recurrir a “comprar” electricidad a otros países.

2.3. Potencia instalada

La potencia instalada hace referencia a la producción máxima de energía eléctrica por unidad de tiempo si todas las tecnologías funcionan al 100% de su capacidad, algo poco viable en la realidad, pues en muchos casos es difícil que en todo momento las tecnologías de generación de electricidad estén al 100% de su capacidad. No hay que confundir la potencia instalada con el mix energético. Por ejemplo, la potencia instalada de energía eólica en España es de 23.057 MW, pero no siempre la energía eólica va a estar produciendo con esa potencia, pues dependerá, en gran parte, del viento que sople en cada parque eólico. Difícilmente soplará el viento a la velocidad de trabajo máxima en todos los parques eólicos de la Península.

La potencia eléctrica instalada en España a fecha de 2016 es de 105.279 MW, cantidad que ha supuesto una disminución respecto a los años anteriores [10].

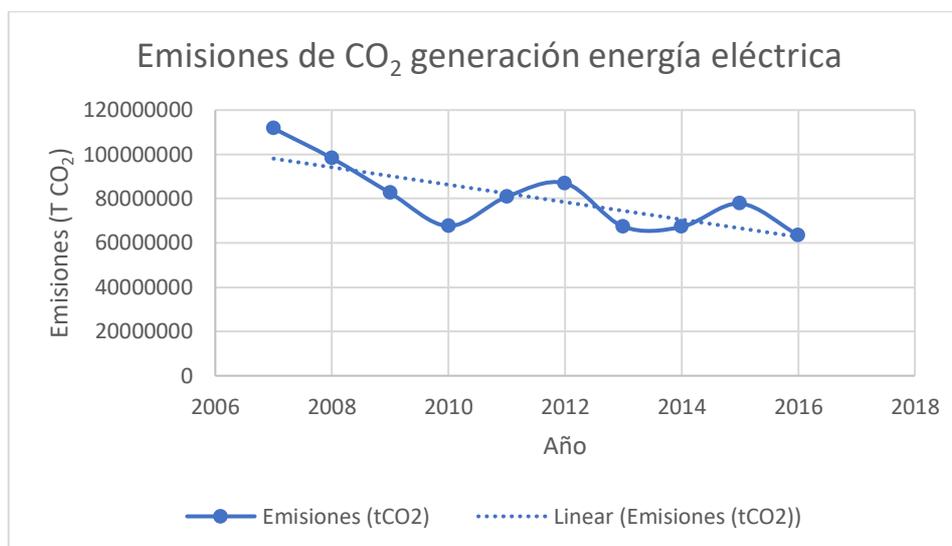
Como puede observarse en la Tabla 4, las tecnologías con mayor potencia instalada son el ciclo combinado, seguido de la eólica, hidráulica y carbón.

Tabla 4: Desglose de la potencia instalada a 31.12.2016. Sistema Eléctrico Nacional [10]

	Sistema peninsular		Sistemas no peninsulares		Total nacional	
	MW	%16/15	MW	%16/15	MW	%16/15
Hidráulica	20.352	0,0	1	0,0	20.353	0,0
Nuclear	7.573	0,0	-	-	7.573	0,0
Carbón	9.536	-8,9	468	0,0	10.004	-8,5
Fuel/gas	-	-	2.490	0,0	2.490	0,0
Ciclo combinado	24.948	0,0	1.722	0,0	26.670	0,0
Hidroeléctrica	-	-	11	0,0	11	0,0
Eólica	22.900	0,1	156	0,0	23.057	0,1
Solar fotovoltaica	4.430	0,3	244	0,3	4.674	0,3
Solar térmica	2.299	0,0	-	-	2.299	0,0
Otras renovables (1)	743	0,1	5	0,0	749	0,1
Cogeneración	6.600	-0,1	44	0,0	6.645	-0,1
Residuos	677	0,0	77	0,0	754	0,0
Total	100.059	-0,9	5.220	0,0	105.279	-0,8

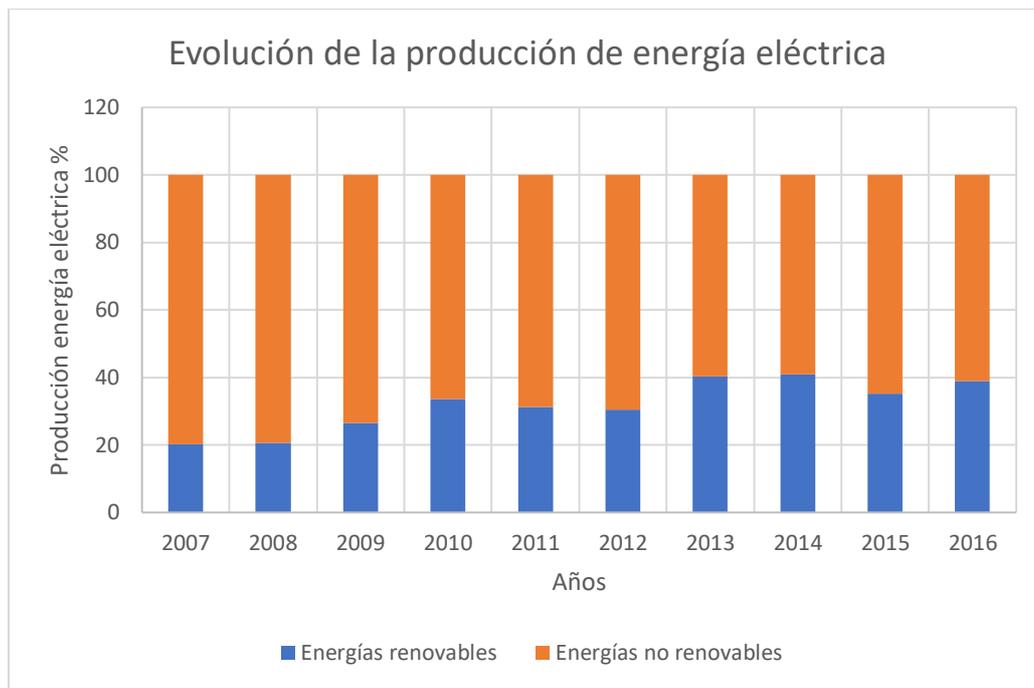
[1] Incluye biogás, biomasa, hidráulica marina y geotérmica. // Fuente: Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia (CNMC) en hidráulica no UGH, eólica, solar fotovoltaica, solar térmica, otras renovables, cogeneración y residuos.

2.4. Emisiones de CO₂



Gráfica 6. Emisiones de CO₂ en la generación de energía eléctrica (línea continua). La línea discontinua representa la tendencia. (Elaboración propia). [10]

En cuanto a las emisiones de CO₂ debidas a la generación de electricidad, la tendencia es de disminución (ver Gráfica 6), debido al aumento de la potencia instalada de energías renovables. Sin embargo, se aprecian unos aumentos de emisiones de CO₂ puntuales (ver Gráfica 7) debidos a la variabilidad climática en la producción de energía eléctrica con fuentes renovables.

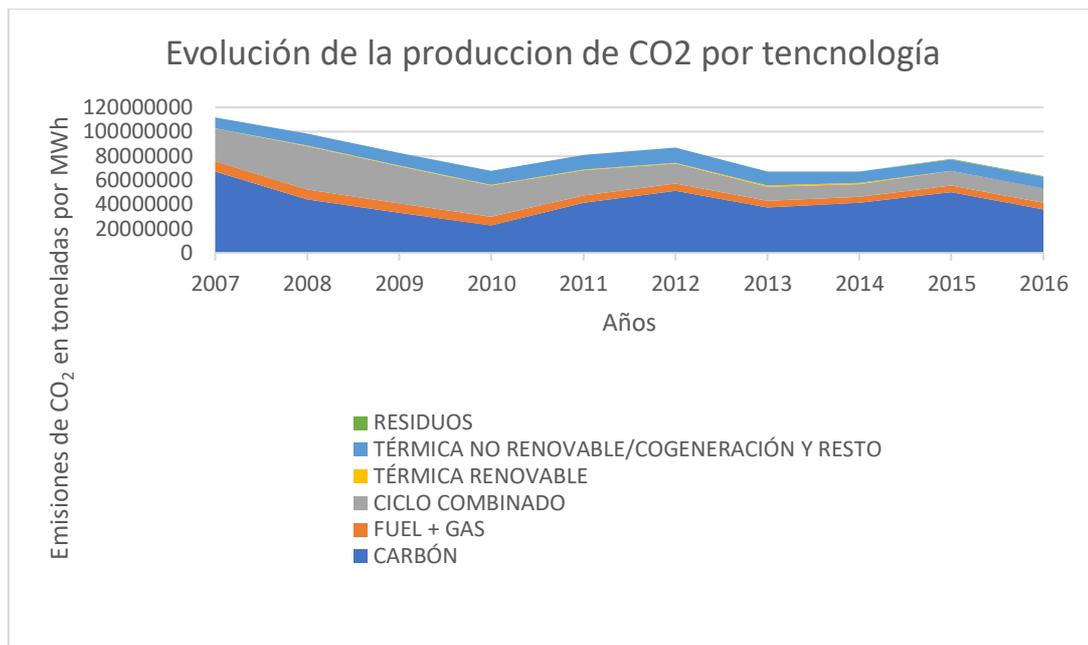


Gráfica 7: Evolución de la producción total de electricidad con renovables y no renovables (elaboración propia) [13]

En la Gráfica 8 se puede observar como las renovables siguen una tendencia al alza en cuanto al aporte en la generación eléctrica y las no renovables a la baja.

Aunque las energías renovables también producen CO₂, esta cantidad es mucho menor que en otras fuentes y se considera despreciable. Se puede constatar comparando la Gráfica 6 y Gráfica 7. Cuando la producción de energía eléctrica mediante energías renovables aumenta, las emisiones de CO₂ disminuyen, y viceversa.

Cada fuente de producción eléctrica tiene asociadas unas emisiones de CO₂ por unidad de energía eléctrica producida, que están calculadas y publicadas por el IDAE [14].



Gráfica 8: Evolución de la emisión de CO₂ en los últimos 10 años por tecnologías de producción eléctrica (elaboración propia) [13]

Las emisiones totales de CO₂ por fuente de energía eléctrica en España se muestra en la Gráfica 8. Como puede observarse la generación de electricidad a partir de carbón es la que más emisiones produce.

2.5. Problemas económico – sociales

Como se ha dicho con anterioridad, el uso de energía, en este caso el uso de electricidad, y el desarrollo económico son dos términos que guardan una fuerte relación entre sí.

Actualmente hay en España un 8% de los hogares que no son capaces económicamente de mantener su hogar a una temperatura adecuada, lo que representa millón y medio de hogares aproximadamente. Ese término es conocido como pobreza energética. La definición que se suele utilizar, es la de Reino Unido, donde se define pobreza energética como “la situación en la que se halla un hogar que tiene que dedicar más del 10% de sus ingresos a alcanzar un nivel satisfactorio de calor en su vivienda (21 grados en la habitación principal y 18 grados en las demás habitaciones, según la OMS)”

Las causas de la pobreza energética son variadas, las tres más importantes son:

- Nivel de ingresos. Es la principal causa, puesto que se trata de un problema económico, cuyos ingresos de un hogar no permiten destinar dinero al fin de calentar la vivienda.
- Eficiencia energética. Las viviendas que son menos eficientes energéticamente necesitan dedicar una mayor cantidad de energía y, por ende, un mayor aporte económico.
- Impacto del coste de la energía en el presupuesto familiar. El coste de la energía en la vivienda familiar, supuso un 6,7% de media. Cabe destacar que, el precio de la factura eléctrica se ha incrementado un 76% en el periodo 2007 y 2014. El

porqué de este aumento viene determinado por el funcionamiento del sistema eléctrico, presentado en el punto 2.6 que empieza a continuación.

2.6. Funcionamiento del sistema eléctrico: actores y mercado

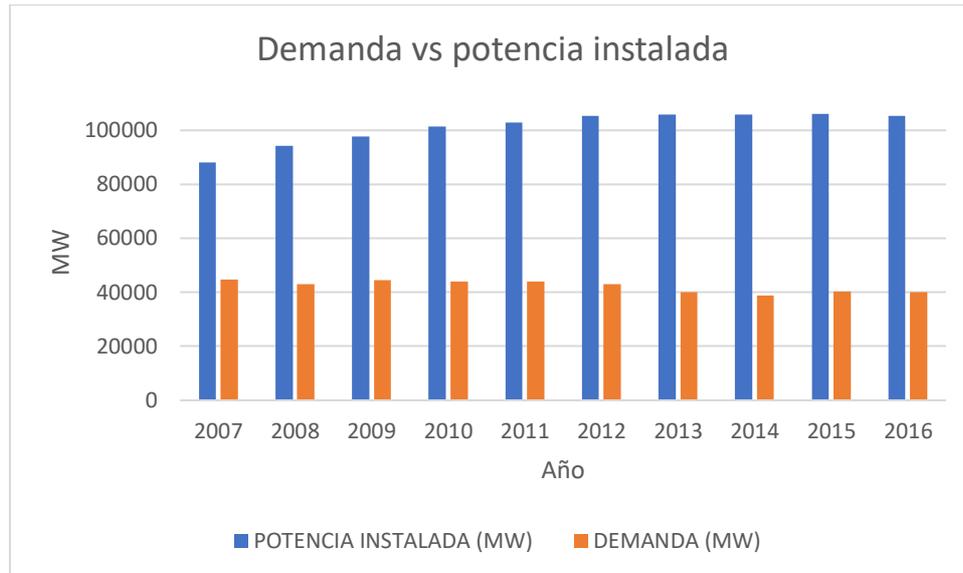
El sistema eléctrico es un entramado muy complejo y de una dificultad muy alta en cuanto a comprensión se refiere, de actores y mercado.

En primer lugar se debe saber que, el sistema eléctrico español funciona como un mercado. En él hay varios actores, que son los siguientes [15]:

- **Productores.** Son los encargados de generar la electricidad, los que son propietarios de las centrales eléctricas. Puede haber más de un productor por central. Por ejemplo, en el caso de la Central Nuclear de Vandellós 2, Endesa es propietaria de un 70% de la central e Iberdrola del 30% restante.
- **Operador de mercado eléctrico (OMEL).** Es el encargado de “vigilar” la compra y venta de la electricidad y comprobar que se hace de una forma correcta.
- **Operador de sistema.** La demanda de la electricidad sufre fluctuaciones constantes, y como se ha dicho anteriormente, la electricidad no puede ser almacenada, ha de ser consumida en el momento que se produce. El operador del sistema se encarga que exista ese equilibrio entre la generación de energía eléctrica y consumo de la misma. Actúa únicamente Red Eléctrica Española (REE) en esta figura.
- **Transportista.** Se encarga de transportar la electricidad desde los puntos de generación hasta los puntos de distribución. De la fase de transporte se encarga una sola empresa que es REE.
- **Distribuidor.** Es la compañía encargada de transportar la electricidad desde los puntos de distribución hasta los consumidores. En España hay 5 distribuidoras, que son, Endesa distribución, Iberdrola distribución, Gas Natural Fenosa distribución, E.ON distribución e Hidrocantábrico distribución.
- **Comercializadora.** Son las empresas encargadas de comprar la electricidad a las productoras y venderla a los consumidores. Cabe destacar que la comercializadora debe distinta a la distribuidora, pues una misma empresa no puede comercializar y distribuir la electricidad. La comercializadora, por tanto, pagará unos “peajes” al transportista y al distribuidor.

Antes de 1997, el sistema eléctrico funcionaba como un oligopolio, donde los consumidores no podían elegir la empresa comercializadora de electricidad, ya que, ésta venía asignada en función de la zona. A partir de esa fecha, con la aplicación de la Ley 54/97, se introdujo una regulación para liberalizar de forma parcial la generación de electricidad, introducir una transición a la competencia en comercialización y regularizar, en cuanto a tarifa se refiere, el transporte y la distribución (aunque estos dos actores del sistema eléctrico aún siguen siendo un monopolio) [16].

Desde que se aprobó la Ley 54/97, el sistema eléctrico ha ido acumulando una deuda, llamada déficit de tarifa, producido por varios factores. Los dos principales son, la descompensación entre el coste que suponen los peajes y el transporte de la electricidad y lo que paga el consumidor por esos peajes y transporte. El segundo de ellos es la excesiva potencia instalada en relación con el aumento de la demanda de la electricidad.

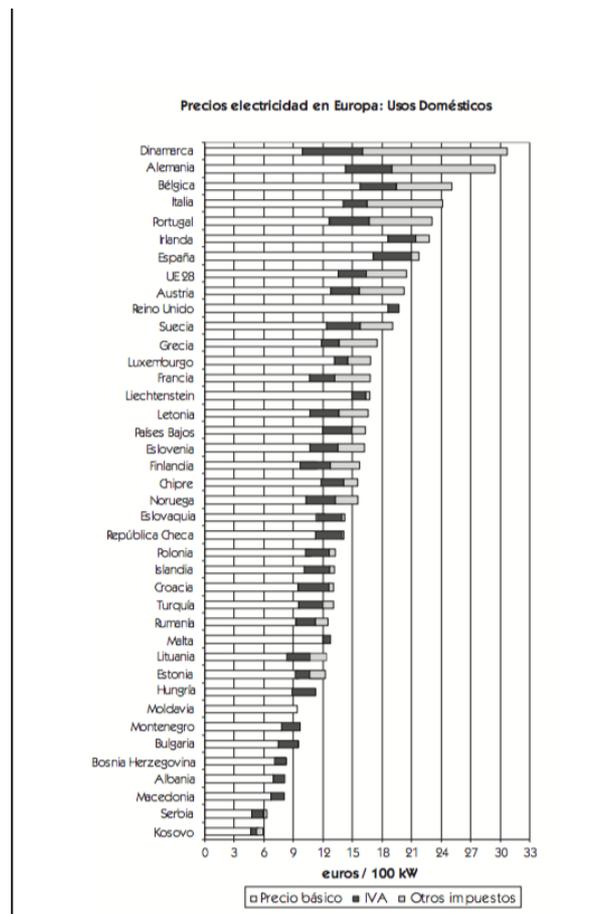


Gráfica 9: Comparación de la evolución de la potencia instalada y la demanda máxima anual en España (elaboración propia) [13]

Como puede observarse en la Gráfica 9, la potencia instalada entre los años 2007 y 2012 fue excesiva en comparación con la potencia máxima demandada de energía eléctrica. Prueba de ello es que, en el año 2016 la potencia instalada se situaba en 105.279 MW y el día de mayor demanda de energía eléctrica fue de 40.489 MW.

Ese exceso de potencia instalada fue consecuencia de una mala previsión, debido a que antes de la crisis se preveía un aumento del consumo y conllevó una necesidad de instalar más potencia. El mayor incremento de potencia instalada se vio en los ciclos combinados y en los parques eólicos. Hoy en día, gran parte de las centrales de ciclo combinado que se instalaron están paradas o a muy bajo funcionamiento. Es la tecnología con mayor potencia instalada (ver Tabla 4) y tan solo supone un 12% en el mix eléctrico (ver Gráfica 3).

Fruto de las dos principales causas del déficit de tarifa es la deuda de 30.000 millones de euros, cantidad que ha de ser devuelta mediante la subida de la factura de la luz, repercutiendo directamente sobre el consumidor.



Gráfica 10: Precio de la electricidad en Europa ordenado en sentido decreciente y desglosado por precio básico, el IVA y otros impuestos. [17]

En cuanto al precio de la electricidad en euro/100Kwh, España es el séptimo país que tiene el precio de la electricidad más cara en la Unión Europea. En la Gráfica 10 puede observarse que, el precio de la electricidad en España está por encima de la media de la UE, y que, a pesar de ser el séptimo país con la electricidad más cara, los países que se sitúan por encima tienen una Renta per Cápita considerablemente superior.

También es cierto que España se sitúa por encima de países con una electricidad más barata y una Renta per Cápita considerablemente más alta, como es el caso de Austria, Reino Unido, Países Bajos o Francia.

Teniendo solamente el precio de la electricidad básico, es decir, sin tener en cuenta el IVA y otros impuestos, el precio en España es el segundo más alto de toda la Unión Europea.

3. INSTALACIONES DE PRODUCCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

En este capítulo se muestran las instalaciones principales de producción de energía eléctrica en España clasificadas por fuente energética. Se muestran también datos de potencia instalada y producción anual.

3.1. Energía hidráulica

La producción de electricidad con energía hidráulica se considera renovable. Consiste en la generación de electricidad a partir de la energía potencial que contiene el agua y que es transformada en energía cinética al realizar un cambio de nivel positivo.

Las 10 mayores centrales hidroeléctricas se muestran en la Tabla 5 [18]:

Tabla 5: Centrales hidroeléctricas, la potencia instalada, la producción anual en el año 2016 y la superficie que ocupa (elaboración propia) [17]

NOMBRE DE CENTRAL	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)	SUPERFICIE (km²)
Aldeadávila	1.243	2.400	364
José María de Oriol, Alcántara	957	Sin datos	104
Villarino	857	1.376	79,4
Cortes – La Muela	630	1.625	1,15
Saucelle	520	Sin datos	5,84
Cedillo	500	Sin datos	590
Estany – Gento Sallente	468	Sin datos	4
Tajo de la Encantada	360	Sin datos	0,34
Aguayo	360	Sin datos	0,4
Mequinenza	324	Sin datos	75,4

3.2. Energía nuclear

Es la energía que hay contenida en el núcleo de un átomo. Este tipo de energía contenida en los núcleos de los átomos ha de ser liberada y puede hacerse de dos formas. La primera de ellas, mediante la unión de dos átomos (fusión nuclear) y la segunda, mediante la división del núcleo de un átomo (fisión nuclear). Hoy en día se usa únicamente la fisión nuclear.

El principio de la energía nuclear de fisión es la división del núcleo de un átomo en varias partes y la generación de dos o tres neutrones, proceso que produce calor mediante el que se calienta agua para generar vapor y hacer girar una turbina que genera electricidad [19] .

El total de potencia nuclear instalada es de 7.573 MW [10], siendo la cuarta tecnología con más potencia instalada en España.

Hay un total de 7 centrales nucleares en la actualidad que están produciendo energía eléctrica.

Tabla 6: Centrales nucleares, la potencia instalada en MW y la producción anual en el año 2016 expresada en GWh (elaboración propia) [17]

NOMBRE DE CENTRAL	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)	SUPERFICIE (km²)
Cofrentes	1.092	9.540	3
Vandellós II	1.087	7.964	0,72
Trillo	1.066	8.553	8,94
Almaraz II	1.045	7.997	8,415
Almaraz I	1.035	7.782	8,415
Ascó I	1.032	8.797	0,65
Ascó II	1.027	7.942	0,65

3.3. Carbón

El principio para la generación eléctrica es el mismo que el de una central Nuclear, a diferencia de que, para producir calor y generar vapor se usa la combustión del carbón, donde se producen emisiones de gases de efecto invernadero [20].

En la actualidad hay un total de 53 centrales térmicas de carbón [21] y tienen un peso importante en el mix energético, con una potencia instalada es de 10.004 MW [10].

Las 10 centrales térmicas más importantes que hay actualmente en España se muestran en la Tabla 7.

Tabla 7:Centrales térmicas de carbón, la potencia instalada en MW y la producción anual en el año 2016 expresada en GWh (elaboración propia) [17]

NOMBRE DE CENTRAL	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)	SUPERFICIE (km²)
Puentes de García Rodríguez (As Pontes)	1.468,5	7.493	0,1
Litoral (Carboneras)	1.160	5.340	0,22
Compostilla II	1.051,7	3.373	0,87
Andorra (Teruel)	1.101	3.567	0,37
Aboño	921	4.415	0,57
La Robla	655	1.598	0,1
Soto de la Ribera	604	1.169	0,13
Narcea	596	1.388	0,31
Los Barrios	589	2.502	0,35
Meirama	580	2.438	0,22

3.4. Ciclo combinado y gas

Su funcionamiento es similar al de las centrales térmicas de carbón y a las centrales nucleares. En el caso de las dos anteriores el funcionamiento se basa en la de generación de electricidad mediante el movimiento de un generador eléctrico que es movido a partir de una turbina de vapor de agua.

En este caso la generación de electricidad proviene de dos generadores eléctricos que son movidos de formas diferentes. El primero de ellos es movido a partir de la compresión del aire que es mezclado con el gas y produce una combustión, generándose unos gases que son usados para mover una turbina a gas y el generador eléctrico.

Puesto que, esos gases tienen una alta temperatura debido a la combustión, aún son aprovechables para generar electricidad. Los gases de la combustión que han movido la primera turbina son aprovechados para calentar agua (se encuentran a 600 °C) y generar vapor de agua que será el encargado de generar movimiento en la turbina de vapor y mover el segundo de los generadores [22].

En la actualidad hay instalados 26.670 MW [10], es la tecnología con más potencia instalada en España.

Las 10 centrales de ciclo combinado más importantes que hay en España se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8: Centrales de ciclo combinado, la potencia instalada en MW y la producción anual en el año 2016 expresada en GWh (elaboración propia) [17]

NOMBRE DE CENTRAL	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)	SUPERFICIE (km²)
Castellón 3 y 4	1.646	1.661	0,21
Arcos de la Frontera 1, 2, 31, 4 y 5	1.612	926	0,18
Cartagena 1, 2 y 3	1.268	490	0,15
Sagunto 1, 2 y 3	1.255	3.173	0,16
El Fangal 1, 2 y 3	1.218	0	0,09
Palos de la Frontera 1, 2 y 3	1.188	68	0,19
Puerto de Barcelona 1, 2	891	2.047	1,5
Besós 5	873	472	0,11
Puentes de G ^a Rodríguez 5	870	499	0,14
Castejón 1, 3	855	1.323	0,17

3.5. Energía eólica

El funcionamiento sigue el mismo principio de inducción electromagnética que todas las anteriores tecnologías. Consiste en el movimiento de un generador eléctrico, pero en lugar de a partir de una turbina como es en el caso de los anteriores, el generador es movido mediante la energía contenida en el viento. El viento hace girar un rotor, que, acoplado a un generador produce energía eléctrica.

En la actualidad hay instalados 23.057 MW [10], siendo la segunda tecnología con más potencia instalada por detrás de los ciclos combinados. El problema que presenta esta tecnología es la disponibilidad, que está condicionada a las condiciones climatológicas. Es por ello que, necesita una tecnología soporte, o lo que es lo mismo, otra tecnología que sea capaz de funcionar en los momentos en que la energía eólica no puede proporcionar la electricidad necesaria debido a la ausencia de viento.

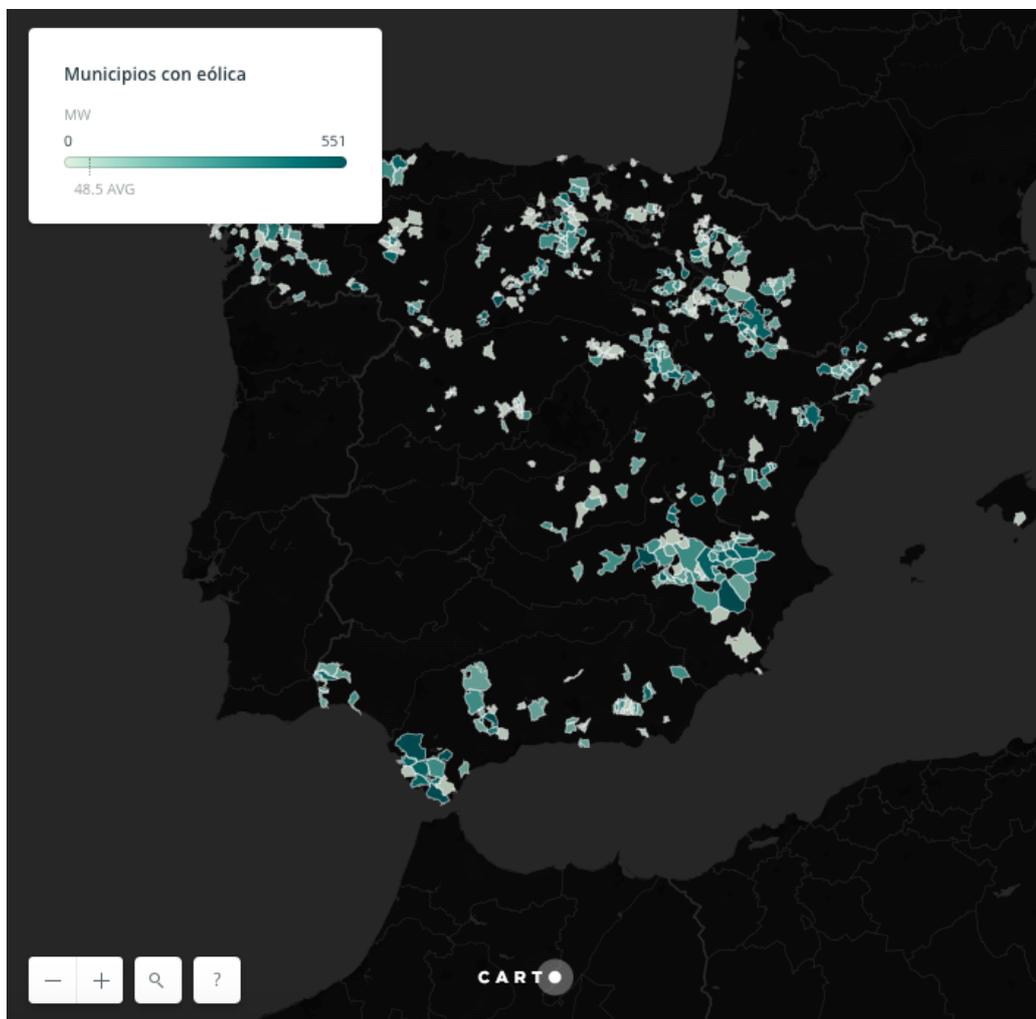


Ilustración 1: Mapa de instalaciones eólicas de España por municipios [23]

El tamaño típico de instalaciones eólicas es de 50MW, eso es debido a que, por debajo de esa cantidad de potencia instalada pueden acogerse a primas a la subvención.

El parque eólico más grande se sitúa en Andévalo, en Huelva, con una potencia instalada de 292MW, aunque se compone por varios parques más pequeños Majal Alto

(50 MW), Los Lirios (48 MW), El Saucito (30 MW), El Centenar (40 MW), La Tallisca (40 MW), La Retuerta (38 MW), Las Cabezas (18 MW) y Valdefuentes (28 MW).

3.6. Solar

Primero, cabe distinguir los dos tipos de tecnologías existentes:

- Energía fotovoltaica. La electricidad se obtiene directamente de la energía del sol. Los fotones que contiene la luz solar inciden en las células fotovoltaicas, fabricadas de un material semiconductor, normalmente el silicio, que crea un campo eléctrico de corriente continua, que es transformada a posteriori mediante un inversor en corriente alterna para poder ser usada [24].
- Energía Termosolar. Su funcionamiento es parecido al de una planta térmica o nuclear. La finalidad es obtener vapor de agua para mover una turbina, acoplada a un generador eléctrico y producir electricidad. La diferencia con las dos anteriores radica en la forma de obtener vapor de agua. Se usan espejos para concentrar la energía del sol en un punto, que puede ser una tubería o un depósito, el cual, contiene un líquido con propiedades especiales, y se calienta a una temperatura cercana a los 400 °C. Una vez calentado este líquido, se usa para hacer hervir agua, que genera vapor de agua y mueve la turbina que está conectada al generador eléctrico.

En España hay instalados 6.973 MW en total, sumando energía fotovoltaica y termosolar [10]. Es una cifra poco significativa, ya que no representa ni el 7% de la potencia instalada.

Cabe destacar la PSA (Plataforma Solar de Almería), el centro más grande de Europa en lo que a investigación, desarrollo y ensayos se refiere. Se encuentra en el Desierto de Tabernas, en Almería. Recibe una insolación de 1.900 kWh por metro cuadrado al año.

Tabla 9: Plataformas solares, la potencia instalada en MW y la producción anual en el año 2016 expresada en GWh (elaboración propia). Estimación de la generación de electricidad anual mediante la página web PVgis. [25]

NOMBRE DE CENTRAL	POTENCIA INSTALADA (MW)	PRODUCCIÓN ANUAL (GWh)	SUPERFICIE (km²)
Plataforma Solar Extremadura	200	303	4,4
Plataforma Solnova (Solúcar)	150	227	3,45
Plataforma solar Écija (Sevilla)	100	158	2,2
Plataforma Solar Castilla – La Mancha	100	158	2,2

El problema que tiene es el mismo que la energía eólica, que es una tecnología dependiente totalmente de las condiciones climáticas, aunque la tecnología termosolar permite el almacenamiento de energía en forma de calor para su uso posterior.

4. MÉTODOS DE EVALUACIÓN

Hay numerosos métodos de evaluación para determinar el impacto generado por una actividad. En función del método usado los resultados pueden ser muy dispares, por lo que es importante seleccionar aquel que más se adecue al impacto que se quiere medir.

4.1. Eficiencia energética

Como se ha comentado al inicio del punto 2, la energía eléctrica se obtiene a través de transformaciones, degradándose parte de la energía en cada proceso de transformación y convirtiéndose en la forma menos útil y ordenada a través de emisiones de calor.



Gráfica 11: Pérdidas por transformación de la energía [26]

La eficiencia energética de un proceso se define como el cociente de la energía útil obtenida en el proceso entre la energía empleada o utilizada como entrada. La mejor de la eficiencia energética consiste en minimizar las pérdidas de energía en cada proceso de transformación de la misma. En la Gráfica 11 se puede apreciar las diversas transformaciones energéticas que tienen lugar desde que se emplea energía primaria para generar electricidad hasta que la energía eléctrica llega al consumidor.

4.2. Análisis del ciclo de vida (ACV)

Es una herramienta de gestión ambiental que se enmarca dentro de la ISO 14.001 y se define como: “Proceso para evaluar las cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar el impacto que ese uso de recursos y esos vertidos producen en el medio ambiente. El estudio incluye el ciclo completo del producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesado de materias primas; producción, transporte y distribución; uso reutilización y mantenimiento; y reciclado y disposición del residuo” [27].

En resumen, es un tipo de análisis que tiene en cuenta el impacto generado por una actividad, proceso o producto desde la cuna a la tumba, es decir, desde que se extraen las materias primas de la naturaleza hasta que la actividad cesa y aparece el residuo.

Es una herramienta que se puede aplicar a todos los procesos, productos o actividades. En el caso de la producción de energía debería incluirse:

- Impacto que supone la obtención de la materia prima.
- Tratamiento de la materia prima para poder ser aprovechada.
- Transporte de los productos aptos para producir la energía eléctrica.
- Las emisiones que resultan de la producción de la energía eléctrica.
- Los residuos generados y que deben ser tratados.

Sin embargo, no tiene en cuenta el valor de reposición de las materias primas, que han sido extraídas y que jamás podrán volver a serlo o el coste que la degradación del medio ambiente supone en la generación de residuos.

4.3. Huella de carbono

Se trata de una herramienta para cuantificar la cantidad de gases de efecto invernadero que son emitidos a la atmósfera directa o indirectamente como consecuencia de una actividad, producto o proceso. También engloba todo el proceso del inicio hasta el final (desde la cuna a la tumba). A diferencia del ACV, solamente tiene en cuenta la emisión de gases de efecto invernadero y no otros impactos generados.

Es una herramienta más sencilla que el análisis del ciclo de vida debido a que los parámetros a analizar son menores. Resulta útil si se desea medir el impacto desde el punto de vista del cambio climático pero no si se desea tener una visión más amplia de los impactos generados por la actividad.

4.4. Análisis energético del coste ecológico

El coste ecológico de un producto se define como “la energía que necesita ser utilizada a lo largo de su ciclo de vida, desde que se extraen las materias primas que lo conforman, hasta que éstas se devuelven a la naturaleza completamente repuestas” [28]. Por ejemplo, el coste de reposición del carbón extraído consistiría en calcular la energía directa e indirecta necesaria para su extracción, transporte, lavado de estériles, acondicionado y otras actividades, incluyendo por último la reposición del carbón en la mina tras la captura del CO₂ atmosférico y su conversión.

Como por ejemplo, si ese carbón se usa para la producción eléctrica en una planta que se encuentre cerca de la mina, se ha calculado [28] que el coste de una unidad de energía de carbón es de entre 1,1 y 1,25 unidades de energía, es decir, para obtener una unidad de energía de carbón se debe aportar entre un 10 y un 25% de esa cantidad de

energía. Como la producción de energía eléctrica en centrales de este tipo tiene una eficiencia energética entre el 33 y el 40%, el coste de producir una unidad de energía eléctrica estaría entre 2,75 y 3,75 unidades de energía de carbón, es decir, por cada unidad de energía eléctrica producida con carbón, se necesitan unas 3 unidades. El proceso de mitigación de emisiones eleva el coste en un 10% y el transporte otro 10% adicional, de forma que, el coste energético unitario de la energía eléctrica producida con carbón, es finalmente de unas 4 unidades sin tener en cuenta los procesos de captura de CO₂ posteriores. En resumen, el coste ecológico de la producción de 1kWh de electricidad a partir del carbón, es al menos de 4kWh.

En la Ilustración 2 se muestra todo el proceso a considerar para el coste ecológico de reposición. La forma de conseguir la sostenibilidad consiste en reducir al mínimo los costes ecológicos de los productos.

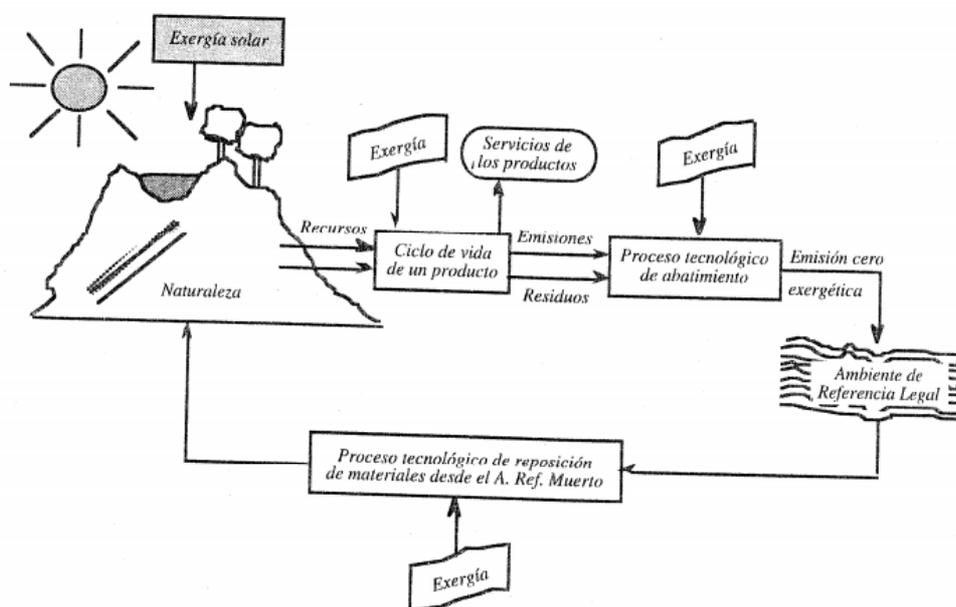


Ilustración 2: Esquema del coste de reposición de los materiales [28]

5. INDICADORES AMBIENTALES

Para cuantificar y comparar el impacto que producen distintas actividades, ya sea producción de electricidad, creación de un producto, uso de un transporte o cualquier otra, es necesario establecer una serie de parámetros o indicadores que tengan en común los productos o procesos a comparar.

La forma de obtener los indicadores de cada tipo de tecnología de generación eléctrica en España será a partir de datos ya existentes de diversos estudios, así como de la Declaración Ambiental de las instalaciones que cuenten con la misma. La Declaración Ambiental viene definida por el Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente como “documento mediante el cual las organizaciones que implantan un Sistema de Gestión Medioambiental de acuerdo al esquema EMAS,

dan a conocer al público y a todas las partes interesadas información medioambiental de la empresa” [29].

Puesto que las empresas eligen de forma voluntaria implantar un Sistema de Gestión Medioambiental, no todas las instalaciones presentadas estarán en dicho programa, por lo tanto, solo aquellas que estén inscritas tendrán Declaración Ambiental. Ese documento es el más objetivo para poder determinar qué impacto produce cada tipo de tecnología de producción de electricidad.

En este trabajo se presentan únicamente los indicadores ambientales, aunque existen también otros indicadores importantes a la hora de evaluar las fuentes de producción de electricidad, como son los indicadores económicos, sociales, de seguridad, de riesgos catastróficos, etc.

Los indicadores que se van a usar para establecer el impacto de las tecnologías de producción eléctrica y que a continuación se desarrollarán son los siguientes:

- Residuos.
 - o Cantidad.
 - o Coste y duración del tratamiento.
- Emisiones.
 - o Directas
 - o Indirectas.
- Ocupación del territorio.
- Grado de dependencia exterior.
- Coste de desmantelamiento.
- Agotamiento y disponibilidad.
- Escalabilidad.
- Uso de agua.
- Capacidad de regulación.

5.1. Residuos

- **Energía hidroeléctrica.** En su funcionamiento normal, la producción de electricidad mediante centrales hidroeléctricas no genera residuos, aunque evidentemente los hay resultado de la construcción y el desmantelamiento.
- **Energía nuclear.** Según la Ley 54/1997, se define residuo radiactivo como “Cualquier material o producto de desecho para el cual no está previsto ningún uso, que contiene o está contaminado con radionucleidos en concentraciones o niveles de actividad superiores a los establecidos por el Ministerio de Industria y Energía previo informe del Consejo de Seguridad Nuclear” [30]. Se producen tres tipos de residuos nucleares que se clasifican en:
 - o Residuos de baja y media actividad. Se reduce su actividad radiactiva a la mitad en un periodo menor a 30 años. No solo son generados en las centrales nucleares; la ropa médica, instrumental médico y restos de tratamientos médicos; también conforman este tipo de restos radiactivos.

- Residuos de muy baja actividad. La actividad radiactiva se ve reducida a la mitad en menos de 5 años. Son los que se producen en el desmantelamiento de las centrales nucleares.
- Residuos de muy alta actividad. Su actividad se reduce a la mitad en varios cientos de años. Se trata del combustible usado en las centrales nucleares y que ya no es capaz de producir más energía.

En cuanto a la producción de residuos peligrosos pero no radioactivos, los que se generan en su mayoría son material aislante con amianto, siendo de 320 toneladas anuales por cada GW instalado, 9 toneladas de aceites lubricantes y 7,8 toneladas de soluciones ácidas.

Respecto a los residuos radiactivos que son producidos en las Centrales Nucleares de España desde que se tiene registro de ello, es decir, desde que se abrió la primera Central Nuclear en España en el año 1968 (Central Nuclear de José Cabrera), es de 60.140m³, entre residuos de muy baja actividad y residuos de baja y media actividad.

Para una central de 1GW de potencia instalada, se producen anualmente una cantidad de 220m³ de residuos de baja y media intensidad.

- **Carbón**. La combustión de carbón, aparte de generar emisiones de gases contaminantes, también genera partículas en suspensión, las cuales, son captadas por filtros, y son consideradas como residuos. Se estima que una central con una potencia instalada de 1GW de potencia y cuyo tiempo medio de funcionamiento anual es de 6.600 horas (275 días al año), genera una cantidad de 69.000 toneladas de escorias y 383.000 toneladas de cenizas, donde, en caso de disponer de filtros para las mismas, 377.000 son atrapadas por éstos [31]. Se producen también residuos peligrosos, los más significativos son aceites hidráulicos, 20 toneladas por cada 1GW de potencia instalada.
- **Ciclo combinado**. En ese tipo de instalaciones se producen tanto residuos peligrosos como no peligrosos. Respecto a los primeros, los aceites usados y los derrames de hidrocarburos y vertidos son los más abundantes. Para una central con una potencia de 1GW de potencia, se generan 2090kg de aceites usados y 2775kg de hidrocarburos y vertidos anualmente. Por otra parte se generan anualmente 1650kg de baterías de plomo usadas [32].
- **Eólica**. Este tipo de tecnología no genera ningún tipo de residuos en su generación de electricidad, por lo que se puede considerar despreciable.
- **Solar**. En la solar cabe diferenciar dos tipos de tecnologías principales.
 - Termosolar. Este tipo de tecnología funciona de modo híbrida. Se usan espejos para concentrar la radiación solar en un líquido, aumentar la temperatura del mismo, y mover una turbina que, conectada a un generador eléctrico, produce electricidad. Como el líquido ha de mantenerse a una cierta temperatura para evitar la solidificación del mismo, por las noches se puede recurrir a combustibles fósiles (mayoritariamente gas natural) para mantener el líquido a una temperatura elevada, por lo que en ese caso, sí que se generan los residuos típicos de una central de ciclo combinado de gas, pero en menor cantidad.
 - Fotovoltaica. Este tipo de tecnología, al igual que la eólica, no genera ningún tipo de residuos en su generación de electricidad, aunque en su fase de fabricación y desmantelamiento se generan residuos. En el final

de su ciclo de vida, el silicio que contiene la placa fotovoltaica se puede considerar un residuo, aunque no se disponen datos respecto a la cantidad de los mismos.

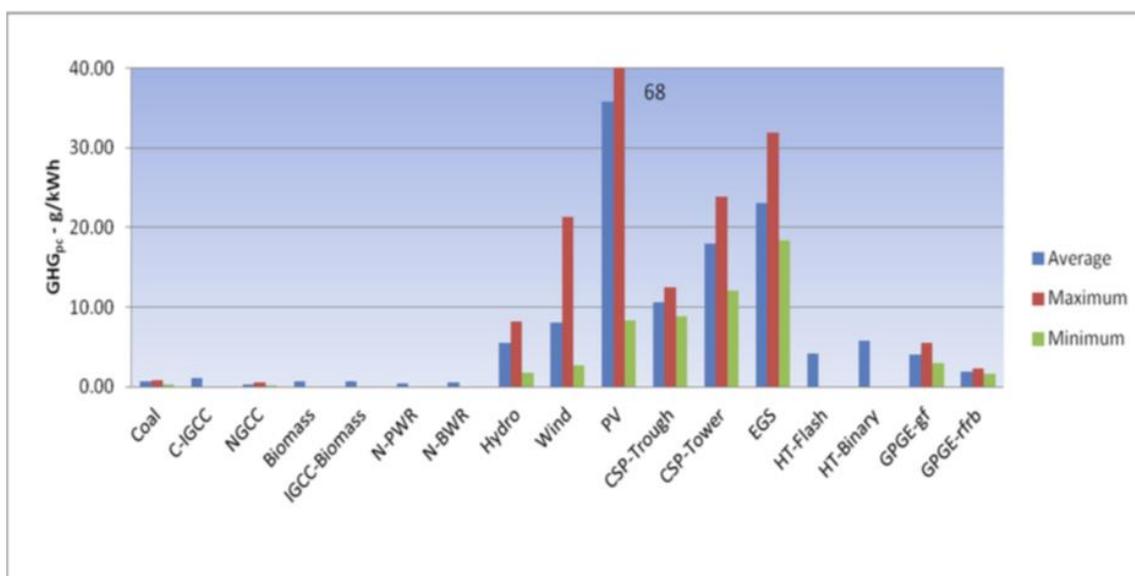
5.2. Emisiones

Cabe diferenciar dos tipos de emisiones. Aquellas que se producen insitu, causa directa del funcionamiento de una infraestructura, que son las directas; y las indirectas, que son las que se generan en otro lugar diferente al que se ubica la instalación, pero consecuencia de la misma.

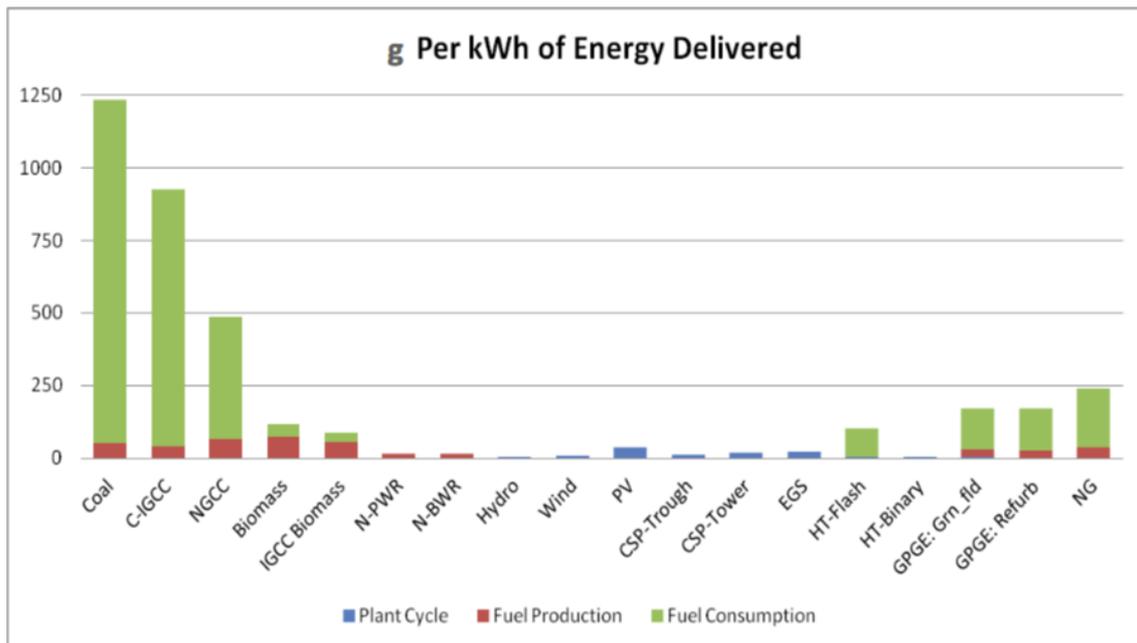
Mientras que en las tecnologías de producción de electricidad renovables y nuclear, las emisiones que se producen son mayoritariamente en la fase de construcción de las infraestructuras, en las tecnologías de combustión las emisiones mayoritarias se producen durante la fase de generación de electricidad y son por lo tanto generalmente mayores.

- **Central hidroeléctrica.** Este tipo de tecnología no produce ningún tipo de emisiones directas de gases contaminantes a la atmósfera. Como se ha comentado anteriormente, las emisiones de gases contaminantes y de efecto invernadero se producen, en gran medida, durante la fase de construcción, mientras que en la fase de operación no se producen apenas emisiones de gases contaminantes. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen 8 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.
- **Central nuclear.** El único tipo de emisiones que genera este tipo de tecnología en su funcionamiento normal es vapor de agua, principal gas de efecto invernadero, pero que tiene una duración en la atmósfera insignificante comparada con otros gases de efecto invernadero como el metano o el dióxido de carbono. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen entre 20 y 25 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.
- **Carbón.** Según el Informe sobre las Centrales Térmicas en España elaborado por Greenpeace en 2015 “El uso de carbón para la producción de energía causa daños irreparables a la salud y al medioambiente debido a sus emisiones de dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas, mercurio (Hg), gases de efecto invernadero (GEI), como el dióxido de carbono (CO₂) y otras sustancias (arsénico, plomo, cadmio, haluros etc.)” [33]. Indirectamente, las emisiones producidas por las centrales térmicas de carbón, son precursoras de la lluvia ácida. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen entre 1000 y 1200 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.
- **Ciclo combinado.** Los ciclos combinados son los tipos de instalaciones de generación de energía eléctrica que usan combustibles fósiles para su funcionamiento que menos emisiones nocivas producen. No con ello quiere decir que estén exentas de la generación de gases contaminantes. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen unos 500 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.

- **Eólica.** Como sucede en la energía hidráulica, las emisiones están asociadas a su construcción, mientras que en su funcionamiento las emisiones son menores, producidas por los vehículos de mantenimiento que puedan ser requeridos con tal efecto. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen unos 20 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.
- **Solar.** Sucede lo mismo que en la energía eólica e hidroeléctrica, aunque el proceso de fabricación de las placas fotovoltaicas es más costoso energéticamente. Sumando las emisiones de CO₂ producidas por la construcción y la operación, suponen unos 70 gramos de CO₂ por cada kWh de electricidad producida.



Gráfica 12: Emisiones de CO₂ por tecnología en su fase de construcción [34]

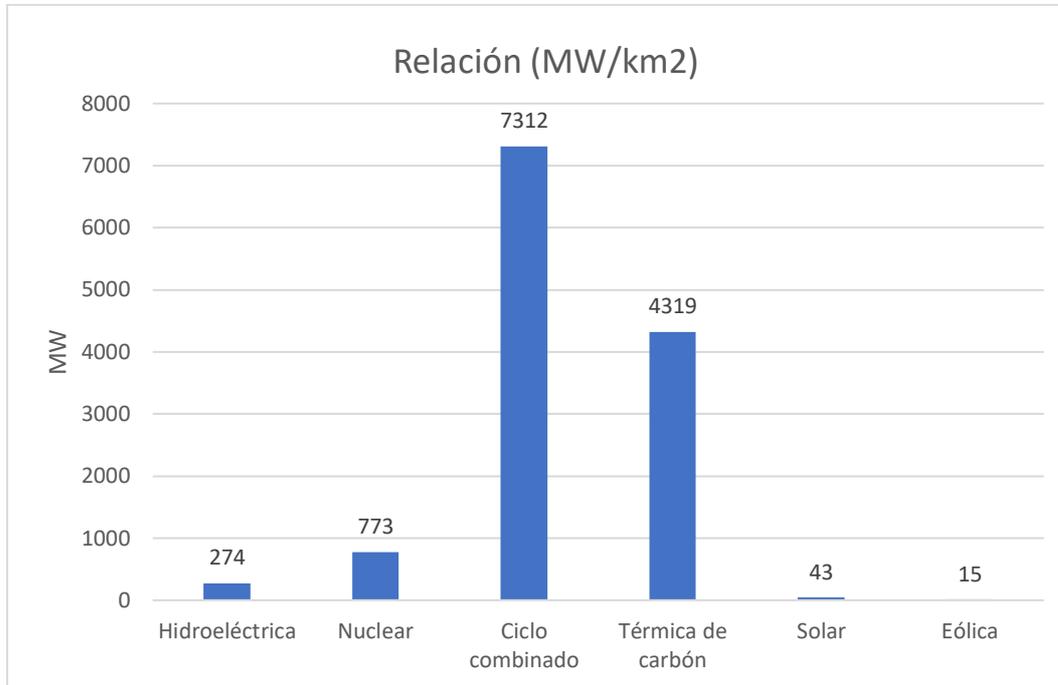


Gráfica 13: Emisiones de CO₂ por tecnología en su fase de producción de electricidad [34]

Como se ha comentado anteriormente, las tecnologías de producción de electricidad renovables y nuclear, producen casi todas sus emisiones de CO₂ en su fase de construcción (ver gráfica 12), mientras que las que operan con combustibles fósiles las producen durante su fase de operación (ver gráfica 13).

5.3. Ocupación del territorio

La ocupación del territorio se mide en la cantidad de MW que pueden ser instalados en cada km².



Gráfica 14: Relación de potencia instalada en MW y ocupación del territorio medida en km² (elaboración propia)

Como puede observarse en la gráfica 14, las tecnologías de producción de electricidad cuya mejor relación entre potencia instalada y superficie ocupada tienen son la térmica de carbón y el ciclo combinado, seguida de la nuclear. Esto quiere decir que, a igual superficie entre todas ellas, la que más electricidad puede generar a máxima potencia son las de ciclo combinado y térmicas de carbón.

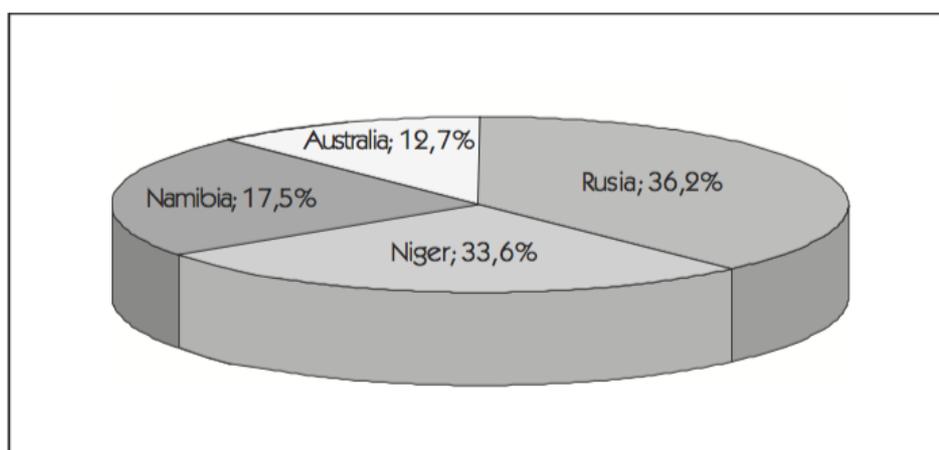
En la situación opuesta se encuentran la energía solar y la eólica, en las que es necesario un gran espacio para instalar 1GW de potencia. Sin embargo, en el caso de la eólica hay una gran cantidad de la superficie ocupada por el parque que puede ser destinada a otros usos, como agricultura, ganadería, etc [35].

5.4. Grado de dependencia exterior

Como se ha comentado con anterioridad, España es un país fuertemente dependiente del exterior energéticamente hablando. En función de la materia prima usada para producir electricidad, dicha tecnología será, en consecuencia, más o menos dependiente del exterior.

Otro de los aspectos a considerar es que, la tecnología para producir electricidad se fabrique en España o se tenga que recurrir a otros países.

- **Hidroeléctrica.** En este tipo de tecnología la dependencia es mínima, puesto que, toda la energía hidroeléctrica se obtiene de una materia prima que se encuentra en territorio nacional, que es el agua.
- **Central nuclear.** El grado de dependencia para producir electricidad mediante esta tecnología es máximo. Es debido a que el concentrado de uranio es 100% importado. En la Gráfica 15 se puede observar de donde proceden los diferentes concentrados de Uranio, que posteriormente son enriquecidos para producir el combustible nuclear.



Gráfica 15: Procedencia de los concentrados de uranio importados por España [17]

- **Carbón.** El carbón todavía sigue teniendo un gran peso en el sector eléctrico, ya que, se usa un 14% de la electricidad se produce a partir de este tipo de combustible fósil. En España se usan anualmente 8,5 millones de toneladas para producir electricidad, de las cuales, apenas 1,7 millones de toneladas son producidas en España y el resto son de importación, lo que quiere decir que España es un 80% dependiente para generar electricidad con carbón. Anualmente se importan 13,8 millones de toneladas de carbón para varios usos, entre ellos, generación eléctrica [17]. Vistos esos datos, se puede afirmar que, para producir electricidad a partir del carbón, España también depende del exterior.

En la Tabla 10, Tabla 11 y Tabla 12 puede observarse el consumo, producción y procedencia del carbón. Los lugares de donde se importa más carbón es de Colombia, Rusia e Indonesia.

Tabla 10: Consumo total de carbón en España [17]

ktep	2002	2005	2010	2013	2014	2015	2016
Consumo final	2.486	2.424	1.690	1.752	1.367	1.515	1.340
Generación eléctrica	18.910	18.260	5.509	9.366	10.289	11.890	8.582
Consumos propios, pérdidas y diferencias estadísticas	495	499	-43	279	-17	282	520
TOTAL	21.891	21.183	7.156	11.397	11.369	13.686	10.442

Tabla 11: Producción de carbón en España. Evolución [17]

Miles de toneladas	Antracita	Hulla	Lignito negro	Lignito pardo	TOTAL
2000	11.334(*)		3.628	8.524	23.486
2010	3.209	2.777	2.444	0	8.430
2011	2.487	1.775	2.359	0	6.621
2012	2.258	1.652	2.271	0	6.181
2013	762	1.780	1.826	0	4.368
2014	1.338	1.331	1.230	0	3.899
2015	763	984	1.317	0	3.064
2016	701	310	730	0	1.742

Tabla 12: Procedencia del carbón importado por España [17]

Toneladas	2014	2015	2016
Indonesia	3.836.581	3.851.389	3.668.844
Países Bajos	0	2.262	9
Portugal	6.901	0	12.944
Reino Unido	0	55.070	0
Rusia	0	87.228	50.457
Sudáfrica	184.439	0	0
Ucrania	0	0	0
Total	5.096.923	5.551.532	4.705.360
TOTAL CARBONES	16.229.127	19.034.359	13.828.321

- **Ciclo combinado.** En esta tecnología sucede lo mismo que en las dos anteriores, debido a la fuerte dependencia que tiene España del exterior para el consumo de gas natural.

Tabla 13: Consumo de gas natural y manufacturado según mercados en España (evolución) [17]

MERCADOS	GWh	1985	1990	2000	2010	2015	2016	Δ%
1. DOMÉSTICO-COMERCIAL		7.128	10.771	34.755	64.328	51.774	53.510	3,5
Gas natural		2.544	7.578	34.221	64.279	51.743	53.510	3,5
Gas manufacturado de gas natural		1.783	2.604	31	0	0	0	--
1.1 Subtotal gas natural		4.327	10.182	34.253	64.279	51.743	53.510	3,5
Aire propanado		222	66	502	49	31	(**)	--
1.2 Subtotal otros gases		2.801	589	502	49	31	(**)	--
2. INDUSTRIAL		15.480	44.166	144.994	194.089	195.503	202.844	3,2
3. CENTRALES ELÉCTRICAS (*)		6.890	2.254	10.379	135.625	61.328	59.643	-2,6
4. USOS NO ENERGÉTICOS		173	4.835	6.131	6.131	5.283	5.490	3,9
TOTAL		29.671	62.026	196.258	400.174	314.798	321.487	2,1
TOTAL (bcm)		2,5	5,3	16,8	34,4	26,9	27,5	2,1

Δ % = Tasa de variación porcentual del último año respecto al anterior.

(*) No incluidas ventas para generación eléctrica mediante cogeneración (incluidas en el consumo industrial).

Fuente: SEDIGAS Informe Anual 2016 y Foro Nuclear.

Nota del autor: 1 bcm = 10⁹ m³. 1 GWh = 0,858 x 10⁹ termias = 85,8 tep (equivalente energético) = 95.300 m³ de gas natural. SEDIGAS aplica coeficientes similares

(**) Desde 2016 no figura aire propanado.

Tabla 14: Producción de gas en yacimientos de España. Evolución [17]

GWh	2010	2013	2014	2015	2016	Δ%
El Romeral	109	125	60	28	18	-36,8
El Ruedo	19	63	10	-	-	-
Marismas	2	5	8	2	-	-100,0
Poseidón	534	451	190	78	55	-29,9
Viura				591	547	-7,4
Total	664	644	269	700	620	-11,4

Δ % = Tasa de variación porcentual del último año respecto al anterior.

Fuente: CORES (BEH Dic. 16) y Foro Nuclear.

Nota del autor: 1 GWh = 86 tep (equivalente energético).

Tabla 15: Procedencia del gas natural según países de origen en España. Evolución. [17]

GWh	2010	2014	2015	2016
Angola				1.040
Argelia	134.159	211.869	218.399	207.037
Bélgica	876	1.294		
Egipto	32.728			
Estados Unidos				846
Francia	1.851	16.219	12.744	7.821
Holanda		1.448		
Libia	4.128			
Malasia				
Nigeria	86.993	32.574	42.199	52.762
Noruega	37.626	47.010	32.144	38.416
Omán	1.931	1.833	964	-
Perú	7.164	13.971	10.794	19.796
Portugal		157	5	8
Qatar	65.533	35.039	34.175	28.943
Trinidad y Tobago	36.972	22.557	12.755	7.660
Yemen	2.968			
TOTAL IMPORT.	412.928	383.973	364.178	364.328
Total GNL	312.905	180.093	151.941	153.212
Total GN	100.023	203.880	212.237	211.115
TOTAL EXPORT.	12.914	67.346	56.948	44.828
Total GNL	52	60.681	16.063	1.949
Total GN	12.862	6.665	40.885	42.879
SALDO TOTAL IMPORTADOR	400.014	316.627	307.230	319.500

Fuente: CORES.

Nota del autor: 1 GWh (en consumo) = 86 tep

Como puede observarse en la Tabla 13, Tabla 14 y Tabla 15 la producción de gas natural en España representa una parte muy pequeña comparado con el consumo de gas natural. Solamente en electricidad se usan 59.643 GWh de gas natural ($1\text{GWh} = 95.300\text{m}^3$), mientras que la producción en España de gas natural es de 620GWh. Lo que quiere decir que, la cantidad de gas natural que es producida serviría solo para cubrir el 1% de la generación de electricidad mediante este combustible fósil.

- **Eólica.** Respecto a esta tecnología de producción de electricidad, no hay ninguna dependencia del exterior. Al igual que ocurre en la hidráulica, las “materias primas” para obtener la electricidad, en este caso el viento, está disponible sin tener que importarse, así como la tecnología y fabricación que es de origen nacional.
- **Solar.** Ocurre lo mismo que en la hidráulica y la eólica, no hay dependencia del exterior para producir electricidad mediante esta tecnología.

5.5. Coste de desmantelamiento

El coste de desmantelamiento es una variable importante que no se suele tener en cuenta pero de la que es importante recopilar datos.

El coste de desmantelamiento se refleja en el final de la vida útil de la instalación, aunque también se pueden incluir en él los residuos generados y que han de ser tratados.

Los únicos costes que se han podido encontrar, de forma estimada, son para la energía nuclear. Debido a que los costes de desmantelamiento de este tipo de tecnología son tan altos, el resto se pueden considerar despreciables.

- **Energía nuclear.** Hay que tener en cuenta que una central nuclear genera un tipo de residuos que no se generan en ningún otro tipo de tecnologías y que, por su característica, necesitan un tratamiento y unas infraestructuras especiales. Lo que quiere decir que, a parte del coste de desmontar la instalación y restaurar el paisaje del lugar donde se situaba la central, se precisa la construcción de un ATC (Almacén Temporal Centralizado) y el mantenimiento del mismo. Para el caso de una central nuclear (Garoña), su desmantelamiento se estima en 650 millones de euros, sin tener en cuenta el coste de la gestión de todos los residuos generados a lo largo de su vida útil ni su almacenamiento a largo plazo.

5.6. Agotamiento y disponibilidad

El agotamiento y disponibilidad son dos conceptos clave en cuanto a la previsión futura. Lo son porque de estos dos conceptos dependerá el precio de la electricidad. A medida que se va agotando un recurso, el precio del mismo aumenta, puesto que aunque la demanda sea la misma la oferta será menor. Respecto al segundo término, cuanto más difícil es acceder a un recursos, es decir, está menos disponible y se requiere un esfuerzo mayor para conseguirlo, el precio también será mayor. La extracción de un recurso suele comenzar con la parte más disponible o de fácil extracción y conforme ésta se agota continúa con los recursos menos disponibles o más costosos. Los dos conceptos agotamiento y disponibilidad van relacionados debido a que, a medida que se van agotando los recursos, se pueden seguir extrayendo pero con mayor coste puesto que están menos disponibles.

- **Energía hidroeléctrica.** La energía hidroeléctrica está condicionada a las reservas de agua. Puesto que, el agua sigue un ciclo, este tipo de electricidad se considera renovable.

En la Tabla 16 puede observarse la evolución de las reservas en los embalses hidroeléctricos en España. Se puede observar que sufre variaciones respecto al nivel máximo.

Tabla 16: Reservas de los embalses hidroeléctricos en España. Evolución. El % se trata del porcentaje de llenado de los embalses españoles [17]

	2016			2015		2014		2013		2012	
	GWh	% (*)	Capacidad GWh	GWh	% (*)	GWh	% (*)	GWh	% (*)	GWh	% (*)
Régimen anual	3.836	42,8	8.967	3.837	42,8	5.550	61,9	4.658	51,9	3.672	41,0
Régimen hiperanual	4.869	50,9	9.571	4.807	50,2	6.276	65,6	6.009	62,8	3.407	35,6
Conjunto	8.706	47,0	18.538	8.644	46,6	11.826	63,8	10.667	57,5	7.079	38,2

- **Energía nuclear.** Se estima que las reservas probadas de uranio para abastecer centrales nucleares durarán unos 100 años al ritmo actual de uso. También cabe destacar, que, las nuevas centrales nucleares y las futuras, aumentarán el rendimiento y aprovechamiento de combustible [36]. Cabe decir que, gran parte de las centrales nucleares españolas están llegando ya al límite de su fecha de explotación. La central nuclear cuyo permiso de explotación finaliza más tarde es la de Trillo I, en 2024. Con esos datos se puede decir que, en España, el agotamiento de la energía nuclear ese da en un plazo de 6 años.
- **Carbón.** Como la energía nuclear, la producción de electricidad mediante carbón también tiene un límite, que es la duración de las reservas de carbón. Se ha estimado que al ritmo actual de uso, el tiempo que durarán las reservas de carbón es de unos 112 años, siendo los países que más reservas tienen, EE.UU, Rusia y China [37]. Aunque la legislación sobre cambio climático de la UE hará que pronto el carbón no sea usado como fuente de producción eléctrica.
- **Ciclo combinado.** Lo mismo sucede en esta tecnología con las anteriores. Las reservas probadas de gas natural siguen creciendo año tras año, esto es debido a la búsqueda constante de reservas de gas natural. A día de hoy se estima que, con el consumo actual, hay unas reservas de gas natural para abastecer a todo el mundo durante 65 años.
- **Energía eólica.** A diferencia de la hidráulica, que depende de la cantidad de agua almacenada en los embalses, y que puede variar en función de las sequías que con el tiempo serán mayores, la tecnología eólica depende únicamente de la existencia de viento. Por lo tanto no tiene agotamiento posible la producción de electricidad mediante esta tecnología. La disponibilidad queda condicionada totalmente a las condiciones meteorológicas, por lo que es una disponibilidad irregular totalmente irregular.
- **Energía solar.** Sucede lo mismo que con la energía eólica, tanto por su agotamiento como por su disponibilidad. Aunque hay que aclarar que, en el caso de la energía solar fotovoltaica, aunque no haya sol se produce electricidad, aunque en menor medida que en los días soleados. Y en el caso de la termosolar, los sistemas de almacenamiento de calor generador permiten la producción eléctrica durante horas incluso sin insolación.

5.7. Escalabilidad

La escalabilidad es la capacidad o facilidad para poder realizar instalaciones con diferente potencia instalada. Es decir, la capacidad para poder realizar una pequeña instalación de generación eléctrica para una población pequeña o hacer una instalación con una potencia instalada muy grande para una gran ciudad.

- **Energía hidroeléctrica.** Este tipo de tecnología es muy escalable, pues cualquier pequeño salto de agua puede ser aprovechado para producir electricidad o en caso de necesitar una gran potencia instalada se pueden usar grandes desniveles para instalar una central hidroeléctrica (como en el caso de Cortes – La Muela con, 1511MW de potencia instalada en el Río Júcar) [23].
- **Energía nuclear.** En este tipo de instalaciones la escalabilidad es nula, pues las instalaciones son todas con potencias instaladas mínimas a 1GW en adelante.

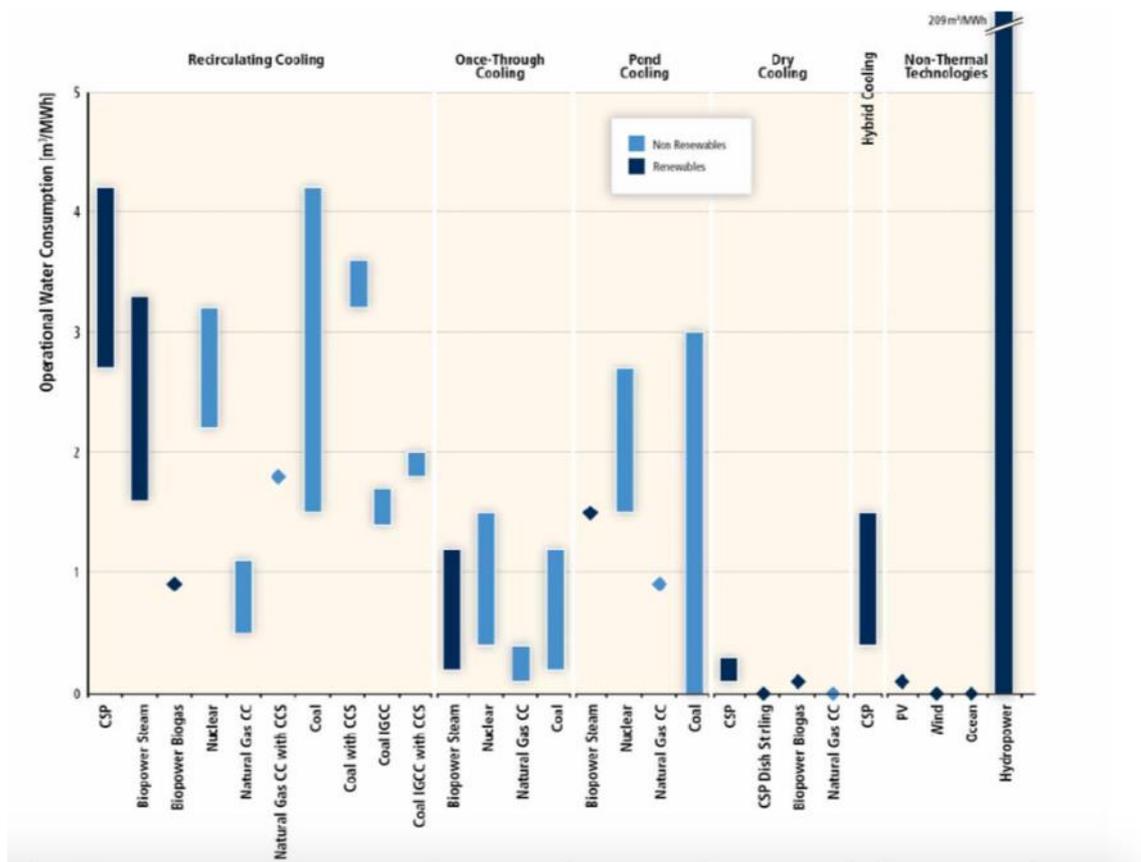
- **Carbón.** Este tipo de tecnología ofrece la posibilidad de realizar instalaciones con gran potencia instalada o con media, pero no es escalable al nivel de las centrales hidroeléctricas. La potencia en las instalaciones españolas se sitúa entre los 323MW instalados en Puente Nuevo y los 1.051 de Compostilla. [17]
- **Ciclo combinado.** Sucede lo mismo que en las centrales térmicas de carbón.
- **Eólica.** Junto con la solar, es la más escalable. Esto es debido a que la instalación puede ser incluso a nivel individual, para autoconsumo, o en forma de grandes parques eólicos. Se puede instalar desde un aerogenerador de pocos KW de potencia en una vivienda unifamiliar hasta instalaciones para producción nacional con un promedio de unos 50MW o instalaciones mayores.
- **Solar.** Sucede lo mismo que en la eólica, aunque en este caso es aún más escalable que la solar, puesto que es más conveniente y común la instalación de este tipo de tecnologías para autoconsumo que un aerogenerador. Requiere menor espacio, ya que en el mismo tejado de una vivienda u otra instalación puede ser colocada una placa fotovoltaica. Por otro lado, también pueden realizarse grandes instalaciones como las plataformas solares de Extremadura de 200MW de potencia instalada.

5.8. Uso del agua

- **Energía hidroeléctrica.** El agua no es realmente consumida en la generación hidroeléctrica y aunque se detiene su curso natural temporalmente, es realmente reutilizada posteriormente. El agua que se usa para mover las turbinas suele ser, en la mayoría de los casos, del propio curso del agua y regresa a él. Si se tiene en cuenta la cantidad de agua que se necesita para producir 1MWh de electricidad, para un desnivel típico son necesarios unos 6000 litros [38].
- **Energía nuclear.** El uso de agua en la central nuclear es imprescindible, ya que, el núcleo debe ser refrigerado. Gran parte de la cantidad de agua que es usada para refrigerar el núcleo es devuelta de nuevo al río aunque a una temperatura mayor, de modo que, no hay consumo de la misma. Sin embargo, parte de ese agua se pierde mediante evaporación. Una central nuclear usa entre 380 y 1500 litros de agua por cada MWh de electricidad producida en el que caso de usar agua sin recirculación, mientras que sí se usa la recirculación con torres de evaporación el consumo de agua se sitúa entre los 2300 y 3000 litros de agua por cada MWh producidos. [39]
- **Carbón.** Al igual que la central nuclear, la central térmica de carbón también precisa de agua para refrigerarse y para producir vapor de agua y mover las turbinas que van acopladas a los generadores de electricidad. Aunque gran cantidad de agua que es usada es devuelta de nuevo a su origen, otra parte se pierde en forma de vapor a la atmósfera. En función del tipo de tecnología que es usada el consumo de agua varía. En caso de tratarse de una central sin recirculación de agua, el consumo de la misma está entre 380 y 1.000 litros de agua por cada MWh de electricidad producida. Si en lugar de ser una central como la anterior, se trata de una central con recirculación, el consumo es de 1.800 y 4.200 litros de agua por cada MWh de electricidad producida [40].
- **Ciclo combinado.** Sucede lo mismo que en las dos tecnologías anteriores. En este caso, si se trata de una refrigeración sin circuito cerrado de refrigeración, el

consumo de agua es de entre 20 y 380 litros por cada MWh de electricidad producida. mientras que, si la tecnología usada para la refrigeración es con recirculación de agua, el consumo de ésta es de entre 400 y 1.200 MWh de electricidad producida [41].

- **Energía eólica.** El consumo del agua en la producción de electricidad mediante energía eólica es despreciable. El uso mayoritario de agua es para la limpieza de los aerogeneradores.
- **Energía solar.** El consumo de agua para la producción de electricidad mediante energía solar, ya sea fotovoltaica o termosolar, es para la limpieza de las placas fotovoltaicas o para la limpieza de los espejos. Es tan poco el consumo que se puede considerar despreciable comparado con las otras tecnologías.



Gráfica 16: Uso del agua por tecnologías de producción eléctrica [42]

Cabe destacar que la producción de electricidad con carbón hace un uso muy variable del agua dependiendo de la tecnología concreta (ver Gráfica 16).

5.9. Capacidad de regulación

Cuando se habla de una tecnología regulable se refiere a la capacidad que tiene de poder adaptarse a la demanda. Es decir, cuando no hay demanda suficiente, la capacidad de poder disminuir la generación de electricidad y de cuando la hay, poder aumentar la producción con facilidad.

- **Hidroeléctrica.** Este tipo de tecnología es regulable al 100%, ya que, siempre que haya disponibilidad de agua se puede elegir cuanta cantidad de electricidad

producir. Incluso en los casos de tecnologías que no son regulables, es decir, que producen electricidad haya o no haya demanda suficiente, se usan sistemas hidroeléctricos con bombeo para almacenar dicha electricidad. Es el caso de la central hidroeléctrica Cortes – La Muela, cerca de la central nuclear de Cofrentes, cuya tecnología no permite producir y dejar de producir a demanda del mercado. Cuando hay una producción mayor a la demanda, la electricidad sobrante se usa para bombear agua de la parte baja de un embalse a la parte alta. De ese modo se almacena el agua, que posteriormente, en momentos de gran demanda eléctrica, se usa para producir energía hidroeléctrica.

- **Energía nuclear.** Como se ha dicho anteriormente, este tipo de tecnología no permite la parada y puesta en marcha a demanda del mercado. Estas centrales siempre están en funcionamiento, produciendo una cantidad de electricidad más o menos estable durante todo el año, excepto en las paradas que se realizan para recargar el combustible, donde la central deja de operar completamente.
- **Carbón.** La producción de electricidad mediante este tipo de tecnología es regulable al 100%.
- **Ciclo combinado.** Sucede lo mismo que con el carbón, se puede regular la producción de electricidad al 100%, es muy flexible.
- **Energía eólica.** Esta tecnología es solo regulable cuando hay viento, ya que los aerogeneradores se pueden parar aunque haga viento si la demanda de electricidad no es la suficiente. Pero está condicionada a que haga viento y su velocidad se encuentre dentro del rango de trabajo del aerogenerador.
- **Energía solar.** Sucede al igual que con la nuclear pero también como la eólica. Cuando hace sol hay que producir electricidad aunque haya menor demanda que electricidad se produce, pero tampoco se puede producir siempre que se quiera, puesto que, se está condicionado a la cantidad de radiación solar.

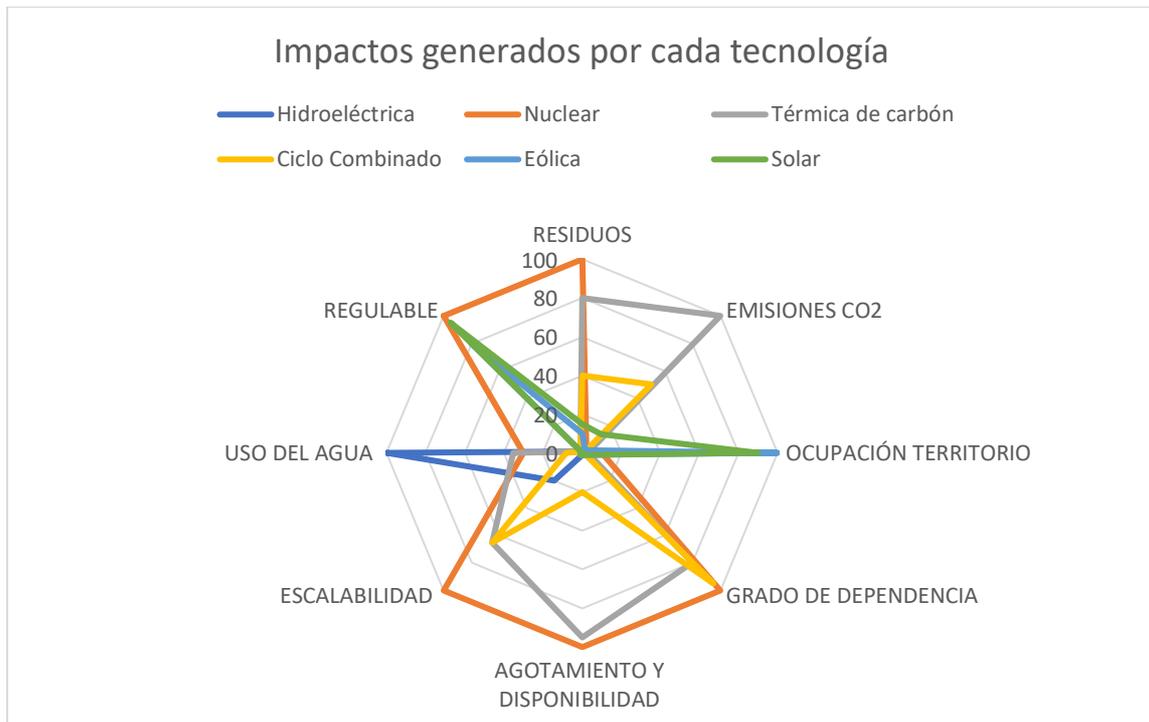
6. CUANTIFICACIÓN DE LOS IMPACTOS

A pesar de que existen muchos métodos de evaluación de impactos presentados en la sección 4, no se ha aplicado ninguno de éstos, pues conseguir toda la información necesaria requerida es un proceso extremadamente complejo.

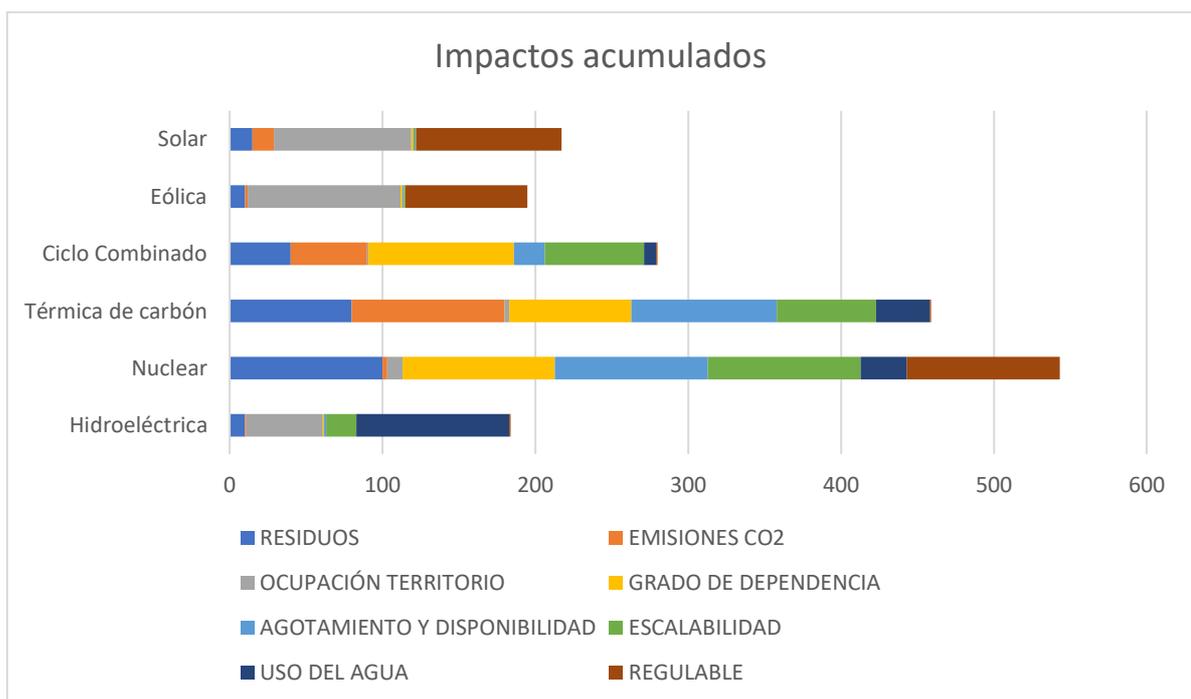
Sin embargo, se ha podido conseguir información sobre una serie de indicadores medioambientales, presentados en la sección 5, que forman parte de algunos de los métodos de evaluación presentados

Es por esto que se ha decidido realizar un método de evaluación propio, utilizando y combinando todos los indicadores presentados en la sección anterior. En la Gráfica 17 se representan los valores de los indicadores de impacto para cada tecnología por separado y en Gráfica 18 se han acumulado los valores para obtener una imagen final del impacto global que genera cada tecnología.

Cada indicador tiene asociado, para cada tecnología, un valor de entre 0 y 100, donde 0 es muy positivo (poco o ningún impacto) y 100 es muy negativo (impacto muy grande).



Gráfica 17: Cuantificación de los impactos generados por cada tecnología de producción eléctrica (elaboración propia)



Gráfica 18: Valores acumulados de los indicadores ambientales para cada tecnología de producción eléctrica (elaboración propia).

En la Gráfica 18 se muestran los impactos acumulados por cada tecnología de producción eléctrica. Como se observa, la nuclear es que la que se sitúa en peor posición con mayor número de impactos más negativos, debido a los residuos generados, la poca escalabilidad y regulabilidad y la gran dependencia del exterior.

Le siguen la térmica de carbón y la central de ciclo combinado. Aunque la diferencia entre estas dos es importante, pues el ciclo combinado tiene la ventaja de una menor cantidad de emisiones, un menor indicador de agotamiento (las políticas restrictivas en materia de contaminación le benefician frente a las térmicas de carbón) y una menor generación de residuos, así como un menor uso del agua. El menor impacto generado por las centrales de ciclo combinado de gas, respecto a otros combustibles, puede ser una ventaja en una situación futura, ya que puede ser la tecnología clave para el desarrollo e implantación total de las energías renovables, sirviendo temporalmente de apoyo a éstas en los momentos en que las condiciones climáticas no sean las adecuadas y no se haya resuelto el problema de la disponibilidad de las renovables.

Las tecnologías que más beneficiadas se ven en este estudio son las renovables, ya que su muy baja generación de residuos, un grado de dependencia del exterior nulo, un agotamiento inexistente, una gran escalabilidad y unas emisiones de CO₂ muy bajas; le confieren muchas ventajas frente al resto de tecnologías.

A modo de aclaración, la ocupación del territorio de la energía eólica es la más alta, aunque a diferencia de la solar, el espacio que ocupa cada generador en su base es muy pequeño, quedando gran parte del espacio de la instalación disponible para otros usos muy variados.

7. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha realizado un estudio de los impactos generados en la producción de electricidad en España. Para esto, ha sido necesario recopilar la información de las instalaciones de producción de energía eléctrica principales de cada tipo y sus características, mostrar los diferentes métodos de evaluación ambiental existentes, elaborar y valorar unos indicadores ambientales y aplicar un método de evaluación propio en base a dichos indicadores.

Con los indicadores ambientales seleccionados se ha podido obtener una valoración por cada indicador y una valoración global de cada tecnología respecto a las demás y así llegar a las conclusiones siguientes, de una forma detallada y razonada: las tecnologías más respetuosas para el medio ambiente son la hidroeléctrica, eólica y solar; el menor grado de dependencia del exterior también recae en estas tres tecnologías; las fuentes fósiles presentan el problema de las emisiones de CO₂ y además, junto con el combustible nuclear, el problema del agotamiento y de la dependencia del exterior.

Además las tecnologías más respetuosas con el medio ambiente son también las más económicas y su producción reduce el precio de la energía eléctrica, hecho que debe servir para rebajar el coste de la factura eléctrica y de ese modo reducir la pobreza energética.

Para finalizar, puesto que la extensión del estudio no lo permite, y si se dispusiese de toda la información necesaria, sería interesante añadir además de los impactos al

medio ambiente, los costes sociales y económicos, cuestiones de seguridad del suministro y los riesgos de la generación de energía eléctrica en España.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] RAE, «RAE,» [En línea]. Available: <http://dle.rae.es/?w=energ%C3%ADa>. [Último acceso: 25 Marzo 2017].
- [2] definicion.de, «definicion.de,» [En línea]. Available: <http://definicion.de/homo-sapiens/>. [Último acceso: 25 Marzo 2017].
- [3] B. A. L. y. A. M. Jiménez, *Energía e Impacto Ambiental*, Madrid, Madrid: Equipo Sirius, p. 287.
- [4] A. Vives, «Cumpetere,» [En línea]. Available: http://cumpetere.blogspot.com.es/2015_12_01_archive.html.
- [5] S. (. e. Chile), «Central Energía,» [En línea]. Available: <http://www.centralenergia.cl/2010/11/18/crecimiento-economico-y-abastecimiento-energetico/>. [Último acceso: 27 Marzo 2017].
- [6] J. J. G. Cadenas, *El ecologista nuclear: alternativas al cambio climático*, Madrid, Madrid: Pozuelo de Alarcón, Madrid, 2013.
- [7] Endesa, «Endesa Educa,» 3 Abril 2017. [En línea]. Available: https://www.endesaeduca.com/Endesa_educa/recursos-interactivos/el-sector-electrico/xvii.-aspectos-generales.
- [8] E. e. h. l. p. d. u. siglo, «Universidad Autónoma de Madrid,» [En línea]. Available: http://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/31314026/dossier4.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1491062291&Signature=Rafr9Kkhup48mFwYoFv%2FgJqxjIM%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DElectricidad_e_historia_la_perspectiva_d.pdf. [Último acceso: 1 Abril 2017].
- [9] Atecex, «Atecex,» [En línea]. Available: <https://atecex.wordpress.com/2015/07/29/diferencias-entre-energia-final-y-energia-primaria/>. [Último acceso: 12 Mayo 2017].
- [10] R. E. España, «El Sistema Eléctrico Español 2016».
- [11] A. B. F., «Energías Renovables,» [En línea]. Available: <http://www.energias-renovables.com/panorama/la-dependencia-energetica-de-espana-sigue-casi-20170321>. [Último acceso: 23 Noviembre 2017].
- [12] E. y. T. Ministerio de Industria, «La energía en España 2015».
- [13] S. E. Nacionales, «Red Eléctrica Española,» [En línea]. [Último acceso: 14 11 2017].
- [14] F. D. E. D. C. Y. C. D. P. A. E. P. D. D. D. F. D. E. F. C. E. E. S. E. E. ESPAÑA, «IDAE,» [En línea]. Available: http://www.minetad.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/propuestas/Documents/2014_03_03_Factores_de_emision_CO2_y_Factores_de_paso_Efinal_Eprimaria_V.pdf. [Último acceso: 01 02 2018].
- [15] M. F. Ordóñez, «Sistema Eléctrico Español,» <http://fernandez-ordonez.net>, Madrid, 2015.
- [16] N. Fabra, *Energía: Del Monopolio al Mercado*, Cizur Menor, Navarra: Aranzadi, S.A, 2006.
- [17] F. d. l. l. Nuclear, «Energía 2017,» ALGOR S.L.

- [18] J. A. Roca, «El Periódico de la Energía,» 07 11 2017. [En línea]. Available: <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-centrales-hidroelectricas-de-espana/>.
- [19] E. Nuclear, «Energía Nuclear,» [En línea]. Available: <https://energia-nuclear.net/que-es-la-energia-nuclear/fision-nuclear>. [Último acceso: 29 Mayo 2017].
- [20] A. E. d. I. I. Eléctrica, «UNESA,» [En línea]. Available: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1351-central-termica>. [Último acceso: 29 Mayo 2017].
- [21] Wikipedia, «Wikipedia,» [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Centrales_t%C3%A9rmicas_en_Espa%C3%B1a. [Último acceso: 5 Junio 2017].
- [22] A. E. d. I. I. Eléctrica, «UNESA,» [En línea]. Available: <http://www.unesa.es/sector-electrico/funcionamiento-de-las-centrales-electricas/1343-central-ciclo-combinado>. [Último acceso: 14 diciembre 2017].
- [23] E.-. REE, «ESIOS,» [En línea]. Available: <https://www.esios.ree.es/es/mapas-de-interes>. [Último acceso: 06 02 2018].
- [24] twenergy, «twenergy,» [En línea]. Available: <https://twenergy.com/a/como-funciona-la-energia-solar-fotovoltaica-339>. [Último acceso: 2018 1 2018].
- [25] A. Solar, «Abengoa Solar,» [En línea]. Available: http://www.abengoasolar.com/web/es/plantas_solares/plantas_propias/espana/. [Último acceso: 27 01 2018].
- [26] P. d. a. y. e. e. 2. -. 2012, «IDAE,» [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2_020._Anexo._A2011_A_9c717362.pdf. [Último acceso: 28 Junio 2017].
- [27] G. G. Muñoz y R. M. López, «Universidad Politecnica de Madrid,» [En línea]. [Último acceso: 13 Mayo 2017].
- [28] J. N. y. A. Valero, Desarrollo económico y deterioro ecológico, Madrid: fundación argentaria, 1999.
- [29] A. y. M. A. Ministerio de Agricultura y Pesca, «Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente,» [En línea]. Available: http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-comunitario-de-ecogestion-y-ecoauditoria-emas/emas_pyme_declaracion.aspx. [Último acceso: 22 1 2018].
- [30] F. d. I. I. Nuclear, «Foronuclear,» [En línea]. Available: <http://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/121510-como-se-clasifican-los-residuos-radiactivos>. [Último acceso: 10 01 2018].
- [31] E. e. acción, «Ecologistas en acción,» [En línea]. Available: <https://www.ecologistasenaccion.org/article672.html>. [Último acceso: 10 01 2018].
- [32] Iberdrola, Declaración Ambiental de la Central Ciclo Combinado de Gas Natural de Castellón, 2016.
- [33] L. T. d. Carbón, «Greenpeace,» [En línea]. Available: <https://archivo-es.greenpeace.org/espana/Global/espana/2015/Report/cambio-climatico/las-trampas-del-carbon.pdf>. [Último acceso: 16 1 2018].

- [34] A. Elgowainy, «Electricity Life - Cycle Analysis,» University of Chicago, 2012.
- [35] O. A. M. Alejandro, «catedrasenred,» [En línea]. Available: <http://www.catedraendesared.ulpgc.es/index.php/proyectos-relacionados/pfctfg/64-diseno-de-una-central-de-generacion-eolica-de-20-mw>. [Último acceso: 08 02 2018].
- [36] F. Nuclear, «¿Existen suficientes reservas de uranio en el mundo?,» [En línea]. Available: <http://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/115935-ixisten-suficientes-reservas-de-uranio-en-el-mundo>. [Último acceso: 31 01 2018].
- [37] Statista, «El portal de estadísticas,» [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/635487/carbon-reservas-probadas-en-todo-el-mundo-2010/>. [Último acceso: 31 01 2018].
- [38] E. A. Grubert, «Water consumption from hydroelectricity in the United States,» Elsevier, Stanford University, Octubre de 2016.
- [39] U. o. C. Scientists, «USCSUSA,» [En línea]. Available: <https://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-water-use/water-energy-electricity-nuclear#.WnrFAJ0dXBI>. [Último acceso: 05 02 2018].
- [40] U. o. C. Scientists, «UCSUSA,» [En línea]. Available: <https://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-and-water-use/water-energy-electricity-coal#.WniqQZOdVAY>. [Último acceso: 01 02 2018].
- [41] U. o. C. Scientists, «UCSUSA,» [En línea]. Available: <https://www.ucsusa.org/clean-energy/energy-water-use/water-energy-electricity-natural-gas#.WnismJ0dVAY>. [Último acceso: 03 02 2018].
- [42] eurelectric, «Life Cycle Assessment of Electricity Generation,» eurelectric, Bélgica, 2011.
- [43] E. Comission, «Towards an Energy Union».
- [44] O. C. d. C. Climàtic, «Oficina Catalana del Canvi Climàtic,» [En línea]. Available: http://canviclimatic.gencat.cat/web/.content/home/reduex_emissions/factors_emissio_associats_energia/170224_Nota-metodologica-mix_esp.pdf. [Último acceso: 12 Mayo 2017].
- [45] T. y. A. D. Ministerio de Energía, «MINETAD,» [En línea]. Available: <http://www.minetad.gob.es/energia/electricidad/Paginas/sectorElectrico.aspx>. [Último acceso: 15 01 2018].
- [46] F. Nuclear, «Agua y energía nuclear,» [En línea]. Available: <http://www.foronuclear.org/es/el-experto-te-cuenta/122578-agua-y-energia-nuclear-un-binomio-imprescindible>. [Último acceso: 01 02 2018].