

## **MEMORIA DEL TRABAJO FIN DE GRADO**

Las energías renovables en Canarias  
(Renewable energies in Canary Islands)

Autor: D Jorge Rodríguez Martín

Tutora: D<sup>a</sup> Carolina Rodríguez Donate

Grado en Administración y Dirección de Empresas  
FACULTAD DE ECONOMÍA, EMPRESA Y TURISMO  
Sección de Ciencias Económicas y Empresariales  
Curso Académico 2013 / 2014

La Laguna, a 2 de julio de 2014

Dña. M<sup>a</sup> Carolina Rodríguez Donate, profesora del Departamento de Economía Aplicada y Métodos Cuantitativos,

CERTIFICA:

Que la presente Memoria de Trabajo Fin de Grado titulada "Las Energías Renovables en Canarias" y presentada por el alumno Jorge Rodríguez Martín, con DNI 78624504Q, realizada bajo mi dirección, reúne las condiciones exigidas por la Guía Académica de la asignatura para su defensa.

Para que así conste y surta los efectos oportunos, firmo la presente en La Laguna a dos de julio de dos mil catorce.

La tutora



Fdo: Dña M<sup>a</sup> Carolina Rodríguez Donate

La Laguna, a 2 de julio de 2014

## Índice

<b>1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Las energías renovables en Canarias.....</b>	<b>4</b>
2.1. La energía eólica.....	6
2.2. La energía solar fotovoltaica.....	15
<b>3. Otras fuentes de energía renovables.....</b>	<b>21</b>
3.1. Energía solar térmica.....	21
3.2. Energía de origen biomasa.....	23
3.3. Energía de origen minihidráulico.....	24
3.4. Otras fuentes de energía.....	24
<b>4. Usos de la energía renovable en Canarias.....</b>	<b>25</b>
<b>5. Conclusiones.....</b>	<b>26</b>
<b>6. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>27</b>
ANEXO I.....	29
ANEXO II.....	30
ANEXO III.....	32
ANEXO IV.....	35
Anexo V.....	36

## Índice de Tablas

<b>Capítulo 2. Las energías renovables en Canarias.....</b>	<b>4</b>
<b>Tabla 2.1.</b> Distribución de las potencias unitarias de los aerogeneradores (kW).....	7
<b>Tabla 2.2.</b> Distribución de la potencia eólica instalable con aerogeneradores de 1.500 kW.....	8

## Índice de Figuras

<b>Capítulo 2. Las energías renovables en Canarias.....</b>	<b>4</b>
<b>Figura 2.1.</b> Energía primaria y sus componentes en Canarias.....	7
<b>Figura 2.2.</b> Potencia eólica instalada a 31 de diciembre, por islas.....	9
<b>Figura 2.3.</b> Producción de energía eléctrica de origen eólico a 31 de diciembre, por islas.....	9
<b>Figura 2.4.</b> Producción de energía eléctrica de origen eólico en 2012.....	9
<b>Figura 2.5.</b> Potencia eólica instalada y producción de energía eléctrica de origen eólico a 31 de diciembre.....	10
<b>Figura 2.6.</b> Producción mensual de energía eléctrica de origen eólico en 2012, por islas.....	10
<b>Figura 2.7.</b> Coste variable medio anual del régimen ordinario y de la energía eólica en los sistemas eléctricos canarios.....	11
<b>Figura 2.8.</b> Coste variable medio anual de la energía eólica, por islas.....	11
<b>Figura 2.9.</b> Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación eólica en Canarias y Península.....	12
<b>Figura 2.10.</b> Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación eólica, por islas.....	12
<b>Figura 2.11.</b> Factor de capacidad medio anual de funcionamiento en generación eólica, por islas.....	12
<b>Figura 2.12.</b> Potencia instalada por km <sup>2</sup> y CCAA.....	13
<b>Figura 2.13.</b> Potencia instalada por habitante y CCAA.....	13
<b>Figura 2.14.</b> Importaciones de combustibles fósiles evitadas acumuladas de generación eólica.....	14
<b>Figura 2.15.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas acumuladas de generación eólica.....	14
<b>Figura 2.16.</b> Primas pagadas a la generación eólica y el ahorro por evitar emisiones de CO <sub>2</sub> y sustituir importaciones de combustibles fósiles.....	15
<b>Figura 2.17.</b> Potencia fotovoltaica instalada a 31 de diciembre de 2012.....	16
<b>Figura 2.18.</b> Potencia fotovoltaica instalada y conectada a la red en 2012.....	17
<b>Figura 2.19.</b> Potencia fotovoltaica de las instalaciones aisladas de la red.....	18
<b>Figura 2.20.</b> Producción de energía eléctrica de origen fotovoltaica.....	18
<b>Figura 2.21.</b> Producción mensual de energía eléctrica de origen fotovoltaica en 2011 y 2012.....	19
<b>Figura 2.22.</b> Importaciones de combustibles fósiles evitadas acumuladas en generación fotovoltaica.....	19
<b>Figura 2.23.</b> Emisiones de CO <sub>2</sub> evitadas acumuladas en generación fotovoltaica...	20
<b>Figura 2.24.</b> Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación fotovoltaica, por islas.....	20
<b>Figura 2.25.</b> Factor de capacidad medio anual de funcionamiento en generación fotovoltaica, por islas.....	20

<b>Capítulo 3. Otras fuentes de energía renovables.....</b>	<b>21</b>
<b>Figura 3.1.</b> Capacidad térmica instalada a 31 de diciembre, por islas.....	21
<b>Figura 3.2.</b> Superficie de paneles solares térmicos subvencionados e instalados, por islas.....	22
<b>Figura 3.3.</b> Superficie de paneles solares térmicos instalados en el ámbito del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (a partir de 5 kW), por islas.....	22
<b>Figura 3.4.</b> Energía eléctrica con origen en el biogás en el Complejo Medioambiental de Arico, por meses.....	23

## RESUMEN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Los sobrecostes de la generación de la electricidad en los denominados sistemas energéticos insulares y extra peninsulares explican, entre otros, que la generación de electricidad sea deficitaria en España. La dependencia energética existente en la Comunidad Autónoma de Canarias, muy superior al conjunto nacional y a la media europea, la convierte en una zona especialmente vulnerable donde las energías renovables se presentan como una interesante oportunidad, permitiendo un desarrollo económico sostenible usando fuentes locales. En este trabajo se estudia el grado de aprovechamiento de las distintas energías renovables disponibles en Canarias y se concluye que en el Archipiélago existe una cifra muy baja de penetración de las fuentes renovables, prácticamente circunscrita a la energía eólica y la solar fotovoltaica.

**Palabras claves:** energías renovables, sistemas eléctricos aislados, dependencia energética, costes de generación de electricidad.

## ABSTRACT

Energy consumption is an indicator of economic development and social welfare. Isolated electrical systems exhibit a series of characteristics that contribute to increase the cost of the electricity generation. This explains the reasons behind the “electricity deficit” in Spain, among others. Furthermore, the Canary Islands are extremely dependent on external sources of energy and the diversification in the Canaries is greatly inferior comparing the situation with the mainland and the average UE. Due to its peculiarities, the role of renewable energies offers a solid path to achieving the main energy policy goals of the Islands. The purpose of this document is to assess the current situation. The analysis highlights that exists very low penetration of renewable energy sources, limited to wind and solar power.

**Key words:** renewable energies, isolated electrical systems, electrical energy dependence, electricity generating cost.

# 1. INTRODUCCIÓN

El consumo de energía es uno de los grandes medidores del progreso y bienestar de una sociedad. Un modelo económico como el actual, cuyo funcionamiento depende de un continuo crecimiento, exige también una demanda igualmente creciente de energía<sup>1</sup>. El concepto de crisis energética surge cuando las fuentes de energía de las que se abastece la sociedad se agotan<sup>2</sup>.

Las fuentes de energía se pueden clasificar en permanentes o renovables y temporales o no renovables. Las principales energías no renovables son la energía nuclear y los combustibles fósiles (el petróleo, el gas natural y el carbón). La energía más utilizada en el mundo es la energía fósil<sup>3</sup>. Puesto que las fuentes de energía fósil y nuclear son finitas<sup>4</sup>, es inevitable pensar que en un determinado momento la demanda no pueda ser abastecida y todo el sistema se colapse, salvo que se descubran y desarrollen nuevos métodos para obtener energía. Por otra parte, el empleo de las fuentes de energía actuales acarrea consigo problemas como la progresiva contaminación o el aumento de los gases efecto invernadero (Marzo-Carpio, 2012). Una fuente de energía alternativa es aquella que puede suplir a las energías o fuentes energéticas actuales, ya sea por su menor efecto contaminante o, fundamentalmente, por su posibilidad de renovación.

Las fuentes renovables de energía pueden dividirse en no contaminantes o limpias y contaminantes. Entre las primeras cabe mencionar la llegada de masas de agua dulce a masas de agua salada (energía azul), el viento (energía eólica), el calor de la Tierra (energía geotérmica), los ríos y corrientes de agua dulce (energía hidráulica o hidroeléctrica), los mares y océanos (energía mareomotriz), el Sol (energía solar) y las olas (energía undimotriz). Las fuentes de energía contaminantes se obtienen a partir de la materia orgánica o biomasa<sup>5</sup> y de los residuos urbanos de los lodos de las centrales depuradoras y potabilizadoras de agua<sup>6</sup>. Las energías de fuentes renovables contaminantes tienen el mismo problema que la energía producida por combustibles fósiles, en la combustión emiten dióxido de carbono, gas de efecto invernadero y, a menudo, son aún más contaminantes puesto que la combustión no es tan limpia, emitiendo hollines y otras partículas sólidas<sup>7</sup>.

---

<sup>1</sup> El descenso del consumo energético entre 2008 y 2010, coincidiendo con la crisis económica mundial, se concentró en los países de la OCDE y del área de la antigua URSS; sin embargo, los fuertes crecimientos económicos de los países no-OCDE han provocado el aumento de la demanda energética mundial y del precio de la energía desde 2008 (La energía en España, 2011).

<sup>2</sup> Sin un cambio en las prácticas actuales, el planeta demandará en 2020 entre un 50 y 80 % de energía superior a los niveles registrados en 1990 y se espera que el consumo de energía mundial se incremente 22 billones de kWh por año (IEA, 2011). Véase también Marzo-Carpio (2012) y Ballenilla & Ballenilla (2008).

<sup>3</sup> En 2010, cerca del 81% del consumo mundial de energía procede de combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural (Departamento de Hacienda y Administración Pública del Gobierno Vasco, 2008).

<sup>4</sup> Según los cálculos a partir de las reservas identificadas, aunque no estén explotadas, y las reservas probables que se podrían descubrir, el planeta puede suministrar energía durante 40 años más, si sólo se utiliza el petróleo, y más de 200, si se sigue utilizando el carbón (IEA, 2011).

<sup>5</sup> Se pueden utilizar directamente como combustible (madera u otra materia vegetal sólida), bien convertida en bioetanol o biogás, mediante procesos de fermentación orgánica, o en biodiésel, mediante reacciones de transesterificación.

<sup>6</sup> En caso de no aprovecharse, esta materia tendría un alto efecto contaminante debido a la emisión de gas natural y dióxido de carbono que tiene lugar en los procesos de pudrición de la materia orgánica.

<sup>7</sup> Se encuadran dentro de las energías renovables porque mientras puedan cultivarse los vegetales que las producen, no se agotarán. También se consideran más limpias que sus equivalentes fósiles porque, teóricamente, el dióxido de carbono emitido en la combustión ha sido previamente absorbido al transformarse en materia orgánica mediante fotosíntesis. En realidad no es equivalente la cantidad absorbida previamente con la emitida en la combustión porque en los procesos de siembra, recolección,

Las energías renovables han constituido una parte importante de la energía utilizada por los humanos desde tiempos remotos, especialmente la solar, la eólica y la hidráulica. La navegación a vela, los molinos de viento o de agua y las disposiciones constructivas de los edificios para aprovechar la energía del sol son buenos ejemplos de ello. Con el invento de la máquina de vapor por James Watt se abandonaron estas formas de aprovechamiento por considerarse inestables en el tiempo y caprichosas y se empezaron a utilizar cada vez más los motores térmicos y eléctricos. En una época en la que el consumo era todavía relativamente escaso, no hacía prever un agotamiento de las fuentes ni otros problemas ambientales que más tarde se presentaron. Hacia la década de los años 70 del siglo pasado<sup>8</sup>, las energías renovables se consideraron una alternativa a las energías tradicionales, tanto por su disponibilidad presente y futura garantizada, como por su menor impacto ambiental como ocurre en el caso de las energías limpias. Actualmente muchas de estas energías son una realidad y están cobrando mayor importancia a causa del agravamiento del efecto invernadero y el consecuente calentamiento global, acompañado por una mayor toma de conciencia a nivel internacional con respecto a dicho problema. El protocolo de Kioto de 1997 fijó un nuevo escenario en el que los países se comprometían sobre la limitación de las emisiones de dióxido de carbono a la atmósfera y la creación de un mercado de derechos de emisión, que si bien ha ejercido un cierto efecto como instrumento de control de las emisiones no puede decirse que haya cambiado el rumbo en su crecimiento a nivel global<sup>9</sup>. Ante este escenario, no es extraño que las energías renovables hayan ocupado durante los últimos años un papel central en las políticas energéticas nacionales, tanto impulsadas por los acuerdos internacionales y Directivas Europeas como por la propia necesidad interna de disminuir los niveles de dependencia exterior alcanzados.

En España, la generación de electricidad es deficitaria<sup>10</sup>. El déficit anual deriva de los costes de las empresas convencionales<sup>11</sup> y del régimen primado que en su momento se estableció a favor de las energías renovables<sup>12</sup>. Pero también abarca los sobrecostes de

---

tratamiento y transformación también se consume energía con sus correspondientes emisiones. Además, gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> se pueden atrapar para alimentar cultivos de micro algas, ciertas bacterias y levaduras y la gasificación y la combustión completa, en combinación con medios descontaminantes de emisiones, resuelven el problema de las partículas.

<sup>8</sup> La crisis del petróleo puso en evidencia la vulnerabilidad de muchas economías por su dependencia de los combustibles fósiles y estas economías vieron cómo las elevaciones de los precios del petróleo incidían decididamente en sus niveles de crecimiento y bienestar. Los intentos de rebajar estos niveles de dependencia estuvieron en la base de las políticas en la época de los años 80, para incrementar tanto la eficiencia energética como la búsqueda de fuentes nacionales de energías alternativas a las importaciones de productos petrolíferos. Sin embargo, la aparición de nuevos yacimientos de petróleo espoleados por las elevaciones de los precios y la entrada destacada del gas como nueva e importante fuente primaria, generó un respiro a las tensiones de los mercados e hizo aparecer una etapa de confianza y seguridad en los abastecimientos que, de esta forma, aseguraron un nuevo periodo de estabilidad para el crecimiento económico (Sevilla-Jiménez, Golfo-Laville & Driha, 2013).

<sup>9</sup> Según datos del Banco Mundial, entre 1997 y 2009 las emisiones de dióxido de carbono mundial crecieron más del 32% y más del 14% en términos per cápita.

<sup>10</sup> En 2012, el desfase rondó los 4.500 millones de euros y un acumulado de más de 26.000 millones, cuyos intereses la hacen crecer de manera imparable (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013).

<sup>11</sup> El sector eléctrico nacional adolece de problemas estructurales que están en la base de lo que se conoce como déficit tarifario, es decir, costes incorporados por las tecnologías maduras, sobredimensionamiento de la potencia instalada de energía convencionales, utilización de energías procedentes del carbón nacional, moratoria nuclear, ... (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013).

<sup>12</sup> En 2012, el Ejecutivo paralizó las primas a las futuras instalaciones de energías renovables en todo el país. En 2013, las suprime tanto a los proyectos como a los parques ya instalados para fijar la denominada rentabilidad razonable a partir del bono del Tesoro a 10 años más 300 puntos básicos equivalentes a un 7,5%. El Ministerio de Industria, Energía y Turismo ha publicado la orden ministerial (Real Decreto

la generación de la electricidad en los denominados sistemas energéticos insulares y extra peninsulares<sup>13</sup>. La dependencia energética existente en la Comunidad Autónoma de Canarias, muy superior al conjunto nacional y a la media europea, la convierte en una zona especialmente vulnerable donde las energías renovables se presentan como una interesante oportunidad (García-Rodríguez, 2002, y Marrero-Díaz & Ramos-Real, 2010), permitiendo un desarrollo económico sostenible usando fuentes locales<sup>14</sup>. En este sentido, la Revisión del Plan Energético de Canarias 2006-2015 propone alcanzar en 2015 el 8% de autoabastecimiento de energía primaria en Canarias, frente al 0,6% en 2005, lo que significaría que un 30% de la generación de electricidad tenga su origen en fuentes de energía renovable, frente al 3,9% al inicio del periodo de planificación. Por otro lado, y como muestra del proceso de transformación que está teniendo lugar en Canarias, es importante reseñar los diversos proyectos de investigación terminados y en curso en el ámbito de las energías renovables como la aplicación de las renovables en la desalación de agua potable para consumo humano y agrícola, la construcción de casas bioclimáticas, ... Y en particular, la central hidroeléctrica recientemente inaugurada en la isla de El Hierro.

Para evaluar el grado de aprovechamiento de las energías renovables existen múltiples criterios de comparación de viabilidad y disponibilidad de las distintas fuentes energéticas (costes monetarios directos, dependencia de otros recursos, impacto medioambiental, ...) y seleccionar la mejor alternativa. La tasa de retorno energético<sup>15</sup> es una forma de medir la relación entre la cantidad de energía que aporta un determinado proceso de transformación de energía y la energía que hay que invertir en su explotación y mantenimiento y se espera que la energía que aporta una fuente sea mayor que la que se emplea en su explotación. Es un criterio que sólo se basa en aspectos energéticos para seleccionar alternativas y, en este sentido, presenta un cierto sesgo al no incluir como input en la producción de energía ciertos recursos no energéticos como el agua, el suelo o los impactos medioambientales. La complejidad en el cómputo de la tasa de retorno energético sugiere abordar el dictamen sobre el grado de aprovechamiento de las energías renovables en Canarias con otros criterios. En concreto, la participación de las energías renovables sobre el consumo bruto de energía final<sup>16</sup>; la intensidad energética (Teq/millones de euros) o energía necesaria para la producción de una unidad monetaria, consumo de energía según origen por habitante, tiempo de funcionamiento equivalente de la potencia instalada (horas/año) (TIEPI), rendimiento térmico o relación entre la carga media durante el tiempo que está

---

413/2014) de parámetros retributivos a las tecnologías de energía renovables, cogeneración y residuos en la que se incluyen distintos tipos de incentivos en función de 1.400 estándares distintos de instalaciones. Sin embargo, los decretos de la nueva regulación de los sistemas extrapeninsulares aún no han sido aprobados. En Canarias se espera el mantenimiento de las primas dado que el coste de generar luz con energías renovables es mucho menor, 200 €/MWh con petróleo y 89 €/MWh con eólica (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013).

<sup>13</sup> Este concepto supone por sí solo 1.800 millones de euros adicionales (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013).

<sup>14</sup> El Ministerio de Agricultura y Medio Ambiente autorizó el pasado 29 de mayo los sondeos exploratorios que permitirán a Repsol investigar si existen o no reservas de hidrocarburos bajo aguas próximas a las islas más orientales del archipiélago. Según estimaciones de Repsol, la explotación de este yacimiento supondría para España ahorrar la importación de 5,2 millones de toneladas de crudo al año equivalente al 10% del consumo del país, reducir el déficit comercial en 28.400 millones de euros y recaudar 700 millones de euros al año vía impuesto de sociedades durante los 20 años de producción estimada (Padrón-Fumero, Ramos-Real, Hernández-Martín & Rodríguez-Rodríguez, 2013).

<sup>15</sup> Hernández-Martín (2013).

<sup>16</sup> Directiva 2009/28/CE de fomento de las energías renovables.

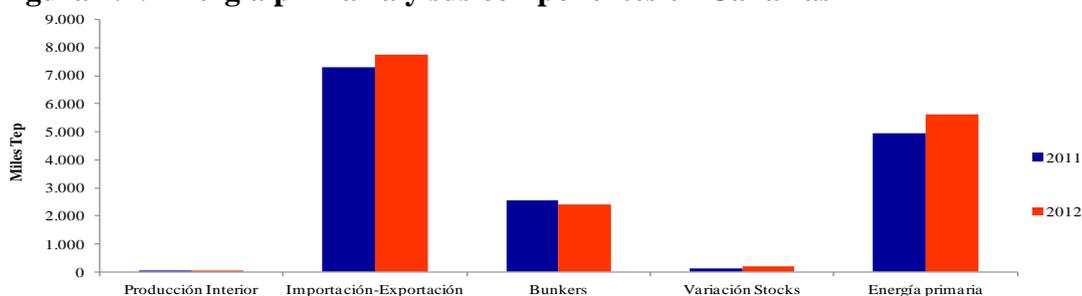
funcionando y la potencia nominal son algunos de los criterios utilizados en este trabajo.

En el epígrafe siguiente se analiza la posición de Canarias en la producción y demanda de energías renovables y, en concreto, se evalúa la energía eólica y solar fotovoltaica a partir de la estimación de indicadores de viabilidad y disponibilidad. El epígrafe tercero se dedica a otras fuentes de energía de origen renovable en Canarias. Una fuente energética renovable puede contribuir a la reducción de los costes de producción de un recurso escaso. Este es el caso de la aplicación de las energías renovables en el proceso de desalación de agua potable en Canarias. La complementariedad entre dos recursos es brevemente descrito en el epígrafe cuarto. Finalmente, se resume la posición de Canarias respecto a las energías renovables.

## 2. LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN CANARIAS

Siguiendo la metodología de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, por sus siglas en inglés), la energía primaria se compone de la producción interior de energía y la suma de las importaciones netas de recursos energéticos primarios, deduciendo las exportaciones de estos productos, los suministros a la navegación marítima internacional y las variaciones de existencias. En la Figura 2.1 se muestran las magnitudes energéticas en 2011 y 2012 necesarias para determinar la energía primaria en Canarias. La producción interior constituye una fracción muy pequeña de la energía primaria y representa la aportación conjunta de todas las energías renovables<sup>17</sup> en el Archipiélago. A pesar de las cambiantes condiciones meteorológicas, su participación total es prácticamente la misma y su aportación al conjunto de la energía primaria está en torno al 1%. La participación de las energías renovables en el proceso productivo sufrió un ligero ascenso entre 2011 y 2012 debido a la confluencia del aumento en la producción interior y al descenso del PIB. Un 51,22% de la energía primaria de origen renovable procede de la energía eólica, un 36% de la solar fotovoltaica, un 11,45% de la solar térmica, 1,08% del biogás de vertedero y un 0,25 de la minihidráulica. Esta participación de las energías renovables en el balance de energía primaria de Canarias es muy inferior a la que se registra en el resto de España y en el conjunto de la UE como consecuencia del peso que en estas zonas tienen la energía hidroeléctrica y la biomasa<sup>18</sup>. La práctica inexistencia en Canarias de recursos hidráulicos y la dificultad de conseguir aprovechamientos rentables de biomasa hacen que en el Archipiélago exista una cifra muy baja de penetración de las fuentes renovables, prácticamente circunscrita a la energía eólica y solar fotovoltaica.

**Figura 2.1: Energía primaria y sus componentes en Canarias**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

<sup>17</sup> Para calcular la energía primaria necesaria en las centrales hidráulicas y eólicas se consideran los equivalentes de energía convencional necesarios para obtener la misma producción (EUROSTAT).

<sup>18</sup> En 2010, las energías renovables representaron el 11,6% de la energía primaria producida en España. Y la energía hidráulica y la biomasa representaron conjuntamente el 56% de la energía de origen renovable (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2011).

La demanda final de energía, que recoge todos los consumos energéticos de los procesos que se utilizan para la producción de un bien o servicio de uso final, se obtiene deduciendo de la energía primaria las pérdidas globales del sector energético (generación en centrales, mermas, autoconsumos, transporte y distribución de energía eléctrica). Según el balance de energía en Canarias de 2012 destaca la demanda de productos derivados del petróleo por parte de los consumidores domésticos o empresariales (79,4%) y la demanda de electricidad (20,3%)<sup>19</sup>. En el año 2012 los sistemas eléctricos de Canarias cubrieron el 91,3% de la demanda eléctrica insular con instalaciones térmicas con combustibles derivados del petróleo (fuel-oil y gasóleos). La producción de electricidad con fuentes renovables es una de las aplicaciones de estas fuentes, sin duda la más importante para Canarias. Marrero-Díaz & Ramos-Real (2010) muestran que el actual sistema de generación eléctrica en Canarias es ineficiente en términos de coste y concluyen que la generación eléctrica con gas natural es el método de menor coste de producción, situando a los costes de generación eléctrica con energía eólica en niveles similares al de los ciclos combinados. El estudio macroeconómico del impacto del sector eólico en España para 2010 elaborado por *Deloitte* muestra que la situación particular en los sistemas eléctricos de Canarias conlleva a que el precio del MWh generado con eólica sea inferior al coste medio variable de la generación convencional. En 2009 la generación renovable en Canarias fue rentable, y las previsiones sugieren que lo sea aun más si los precios de los derivados fósiles siguen alcanzando niveles tan altos como los registrados en 2010<sup>20</sup>. Esto significa que la sustitución de generación convencional con combustibles fósil por energía eólica contribuye a reducir considerablemente el coste de la generación en los sistemas eléctricos de Canarias.

Las tecnologías de cogeneración tienen rendimientos superiores a los grupos eléctricos convencionales. Sin embargo, mientras el gas natural no se instale en Canarias, las plantas de cogeneración deberán consumir gasóleo cuyo precio está sometido a los vaivenes e incertidumbres que pesan sobre la cotización del crudo de petróleo. El consumo de gasóleo acorta la vida útil de las plantas, obligando a un mantenimiento más exhaustivo y dilatado que cuando se utiliza gas natural. La explotación de las unidades de ciclo combinado en los sistemas insulares ha puesto de manifiesto que un fallo en una de las turbinas de gas operando a plena carga originaría una pérdida de generación que obligaría a interrumpir el suministro en determinadas zonas de la isla para reducir el consumo y equilibrarlo con la generación. Para evitar esta pérdida de calidad las plantas de ciclo combinado deberían operar por debajo de su potencia nominal afectando a su rendimiento térmico y perdiéndose la ventaja de menor consumo de combustible en comparación con las centrales de vapor.

La diferencia entre el coste de producción del kWh de origen térmico en la Península y Canarias ofrece un margen adicional para las medidas de fomento de la producción con energías renovables, ya que esta energía sustituirá a la producida con energías fósiles, en general de mayor precio a la producida en la Península, reduciendo la necesidad de medidas compensatorias<sup>21</sup>. Así, en este momento concreto en el que la UE se ha trazado

---

<sup>19</sup> Anuario Energético de Canarias 2012.

<sup>20</sup> El año 2009 fue un año donde los precios de los combustibles fósiles sufrieron una caída muy importante respecto a los valores máximos registrados en 2008. No obstante, en 2010 los precios aumentaron debido al incremento en la demanda en países emergentes y a la inestabilidad política y económica que afectó a algunos de los principales productores de estos combustibles.

<sup>21</sup> Memoria del análisis de impacto normativo del proyecto de Real Decreto por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

como objetivo cubrir el 20% de la generación eléctrica con recursos renovables<sup>22</sup>, Canarias debe apostar por alcanzar el objetivo comunitario, apoyándose principalmente en un desarrollo intensivo de la energía eólica.

## 2.1 ENERGÍA EÓLICA

Apenas un 2% de la energía solar que llega a la Tierra se convierte en energía eólica<sup>23</sup> y sólo podemos aprovechar una pequeña parte de ella. Aún así, se ha calculado que el potencial eólico es unas veinte veces el actual consumo mundial de energía, lo que hace de la energía eólica una de las fuentes de energía renovable más importantes. De entre todas las aplicaciones existentes de la energía eólica es la de parques eólicos para producción eléctrica la más extendida y en la que actualmente se está dando mayor grado de crecimiento. Así, de toda la potencia eólica instalada en España, el 95% corresponde a parques eólicos.

Las Islas Canarias presentan óptimas condiciones para la explotación a gran escala de la energía eólica. Uno de los factores que determina el clima de Canarias, además de la corriente marina fría, el relieve y la proximidad al continente africano, son los vientos Alisios. El régimen de vientos en Canarias manifiesta una clara variación estacional y una marcada componente direccional, siendo la frecuencia de los vientos de componente noroeste mínima en los meses de invierno, del orden del 50%, y máxima en los meses de verano, entre el 90-95%. Además, la magnitud de tales vientos hace que en lugares donde la cercanía al mar combina el Alisio con corrientes locales (brisas) y con aceleraciones debidas a la orografía se produzcan potenciales eólicos muy elevados, óptimos para su explotación energética<sup>24</sup> (véase Anexo I).

Un aerogenerador produce la electricidad a través de una transformación de la energía del viento. Existen diversos diseños y la energía transferida al rotor por el viento depende de la densidad del aire, del área de barrido del motor y de la velocidad del viento. En el mar, el viento se encuentra con una superficie de rugosidad limitada, las olas, y sin obstáculos, lo que implica que la velocidad del viento no experimente grandes cambios; además, el viento es, por lo general, menos turbulento que en tierra, con lo que se amplía el periodo de trabajo útil de un aerogenerador. El gran problema para su implantación a gran escala en Canarias radica en que deben instalarse en aguas profundas, circunstancia no frecuente en el litoral canario.

La inversión en una instalación eólica varía bastante dependiendo de la potencia nominal de la máquina que se instale, de la accesibilidad a la zona, de la ubicación relativa del punto de conexión a la red, ... En los últimos 15 años, la tecnología eólica ha experimentado un crecimiento espectacular pasando de aerogeneradores de 55 kW de potencia nominal a los aerogeneradores comerciales actuales de 2.500 kW, existiendo máquinas con potencia superior destinadas a la instalación *off-shore*. Las máquinas de gran potencia de última generación son máquinas de gran envergadura y tonelaje que dificultan las tareas de transporte e instalación y aumentan los costes. Este efecto es aún mayor en las Islas Canarias. Actualmente el coste unitario del kW dentro de las diferentes gamas de potencia de aerogeneradores tiene una tendencia descendiente hasta los de potencia en torno a los 900 kW. A partir de esta potencia, los costes unitarios suben no reflejándose los efectos de las economías de escala, quizás por la combinación

---

<sup>22</sup> Plan de Energías Renovables 2011-2020.

<sup>23</sup> El viento es, fundamentalmente, una consecuencia de la radiación solar que incide sobre la Tierra y que origina el calentamiento de las masas de aire que la circundan. Al calentar de forma desigual la superficie del planeta en función de la latitud, se provocan unas diferencias de presión que el flujo de aire tiende a igualar.

<sup>24</sup> Martín-Mederos, Medina-Padrón & Feijóo-Lorenzo (2011).

de factores como la menor competencia en esta gama de potencias y la todavía amortización del I+D de dichas máquinas. Estas circunstancias han motivado que sean las máquinas de potencia inferior a los 700 kW las que en mayor proporción se han instalado en Canarias (véase Anexo II). Cabe pensar que el coste unitario de los aerogeneradores de más de un MW disminuya y se vayan incorporando a la oferta de parques eólicos de Canarias en los próximos años. La distribución de las potencias unitarias de los aerogeneradores existentes actualmente es la que se muestra en la Tabla 2.1.

**Tabla 2.1: Distribución de las potencias unitarias de los aerogeneradores (kW)**

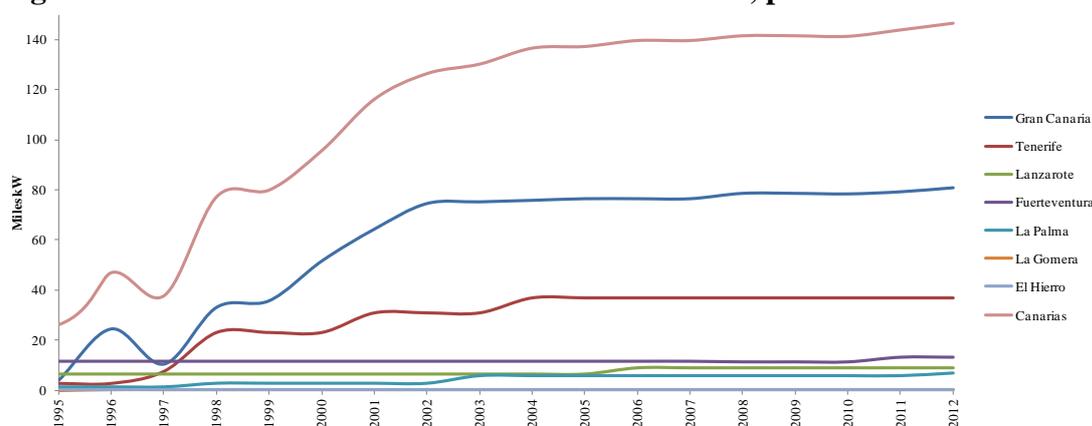
	P≤300	300<P≤660	660<P≤1.000	P>1.000
Gran Canaria	125	75	5	0
Tenerife	62	23	7	0
Lanzarote	5	0	9	0
Fuerteventura	50	0	2	0
La Palma	0	5	5	0
La Gomera	2	0	0	0
El Hierro	1	0	0	0
<b>TOTAL</b>	<b>245 (65,16%)</b>	<b>103 (27,40%)</b>	<b>28 (7,45%)</b>	<b>0 (0%)</b>

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

Teniendo en cuenta el rango de kW de potencia en el que oscilan la mayor parte de los aerogeneradores en Canarias, se puede establecer 1.000 € como inversión media por kW eólico instalado, con un coste de generación medio de 0,035 €/kWh en 2012<sup>25</sup>. La entrada de aerogeneradores de mayor potencia puede ser frenada por los costes de logística antes mencionados y las limitaciones estratégicas<sup>26</sup>. El desarrollo tecnológico en el sector eólico puede mejorar la eficiencia de las máquinas eólicas y el rendimiento económico a través de una disminución del coste específico del kW eólico.

La evolución de la potencia eólica instalada en Canarias ha ido creciendo hasta alcanzar 146.610 kW el 31 de diciembre de 2012 (Figura 2.2). Del total de la potencia instalada en el Archipiélago, Gran Canaria representa un 55,0%, seguida de Tenerife con un 25,0% y Fuerteventura con 8,9%. La disminución registrada entre 1996 y 1997 se debió a la puesta fuera de servicio temporal por reparación del parque eólico de Llanos de Juan Grande en la isla de Gran Canaria que posteriormente fue reactivado (véase Anexo III).

**Figura 2.2: Potencia eólica instalada a 31 de diciembre, por islas**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

<sup>25</sup> Revisión del Plan Energético de Canarias 2006-2015.

<sup>26</sup> Muchas de las zonas aptas para la instalación se encuentran en áreas de sensibilidad aeroportuarias limitando las alturas máximas permitidas para los aerogeneradores.

Las cifras de la Tabla 2.1 muestran que más del 50% de los aerogeneradores instalados en las islas tienen una potencia unitaria inferior o igual a 300 kW. Teniendo en cuenta que actualmente existen aerogeneradores comerciales de hasta 1.800 kW, se podría aumentar la penetración eólica simplemente utilizando el espacio ocupado por los parques eólicos actuales y sustituyendo los aerogeneradores instalados por otros de superior potencia unitaria. Considerando aerogeneradores de 1.500 kW de potencia, los 146.610 kW de potencia instalados en 2012 pasarían a 564.000 kW, 417.390 kW más que en la actualidad (Tabla 2.2). Según estas cifras, la potencia instalable es del 285% superior a la instalada.

**Tabla 2.2: Distribución de la potencia eólica instalable con aerogeneradores de 1.500 kW**

	<b>Potencia actual</b>	<b>Potencia instalable</b>	<b>Capacidad de repotenciación</b>
	<b>kW</b>	<b>kW</b>	<b>%</b>
Gran Canaria	80.640	307.500	281,32
Tenerife	36.680	138.000	276,23
Lanzarote	8.775	21.000	139,32
Fuerteventura	13.085	78.000	496,10
La Palma	6.970	15.000	115,21
La Gomera	360	3.000	733,33
El Hierro	100	1.500	1.400,00
<b>TOTAL</b>	<b>146.610</b>	<b>564.000</b>	<b>284,69</b>

Fuente: Elaboración propia.

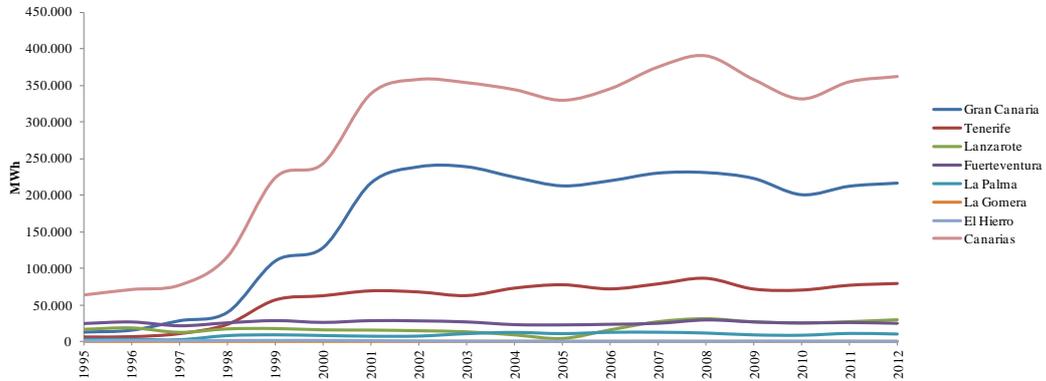
La evolución de la producción de energía eléctrica de origen eólico alcanzó en el conjunto del Archipiélago, durante el año 2012, los 362 GWh (Figura 2.3). La mayor parte de la producción se concentró en Gran Canaria (59,9%) motivada por la mayor cantidad de potencia eólica instalada en esta isla, seguida por Tenerife (21,9%) (Figura 2.4). Las islas menores presentaron índices de producción mucho más bajos debido a las dimensiones de sus parques eólicos. La relación entre producción de energía eléctrica y potencia eólica instalada es un indicador del rendimiento térmico de la energía de origen eólico (Figura 2.5). En Canarias la producción de energía eólica ha seguido la misma tendencia que la potencia eólica instalada haciendo que el rendimiento térmico fluctúe en torno al 2,5 MWh por cada kW instalado.

Uno de los factores más importantes para incrementar la penetración eólica es la infraestructura eléctrica. En este sentido es necesario conocer la máxima potencia eólica que podría soportar la red sin que disminuya la calidad de la energía entregada a los clientes finales. En el pasado, los incrementos de la potencia convencional instalada en todos los sistemas insulares motivaron concesiones de explotación eólica que originaron aumentos en la potencia eólica conectable. Si se hiciera una revisión de la potencia eólica conectable en cada isla en función de la evolución de la potencia térmica convencional instalada, la producción de energía eléctrica de origen eólico sobrepasaría el objetivo de la UE de producir un 20% de la energía con fuentes renovables.

La interconexión entre los sistemas aporta un plus de seguridad al aprovechar los diferentes potenciales eólicos existentes entre las islas. Actualmente, están conectadas Lanzarote y Fuerteventura y está en proceso una nueva inversión para reforzar esta unión. El estudio de infraestructuras de interconexión eléctrica para la maximización de Energías Renovables Marruecos-Canarias del Instituto Tecnológico de Canarias valora la posibilidad de conexión entre Fuerteventura y Gran Canaria. Sin embargo, el enlace de las dos islas capitalinas significa duplicar la profundidad máxima a la que se ha llegado en el mundo, casi el doble del límite técnico actual; mientras que, la

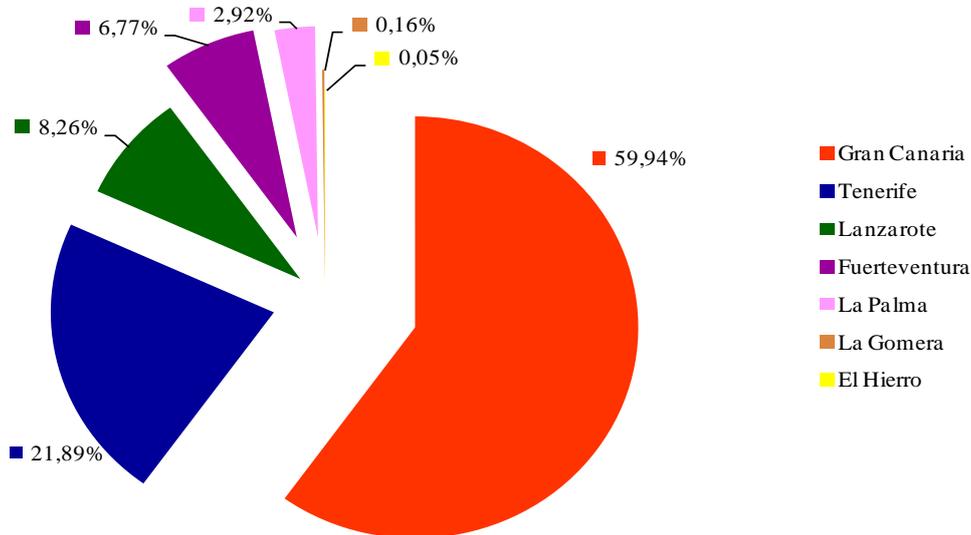
profundidad de las aguas de las islas orientales está por debajo de los 3.000 metros, dentro de ese límite tecnológico.

**Figura 2.3: Producción de energía eléctrica de origen eólico a 31 de diciembre, por islas**



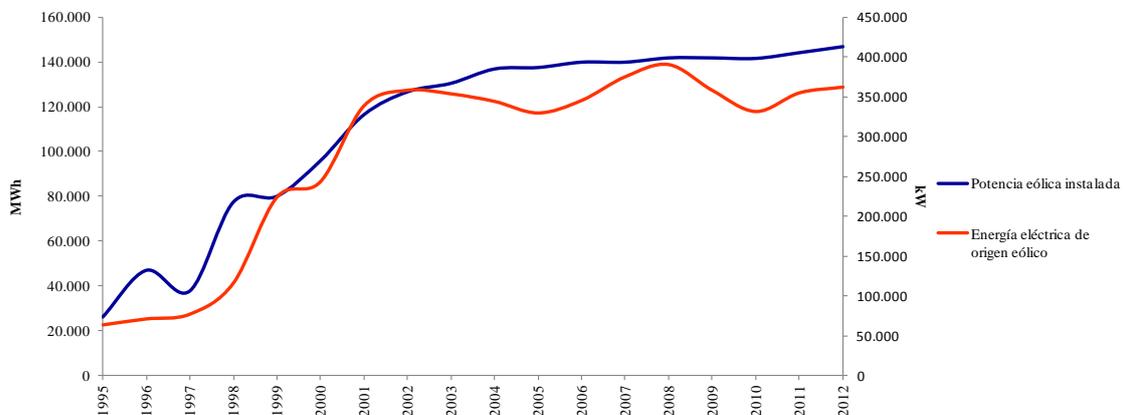
Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

**Figura 2.4: Producción de energía eléctrica de origen eólico en 2012**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

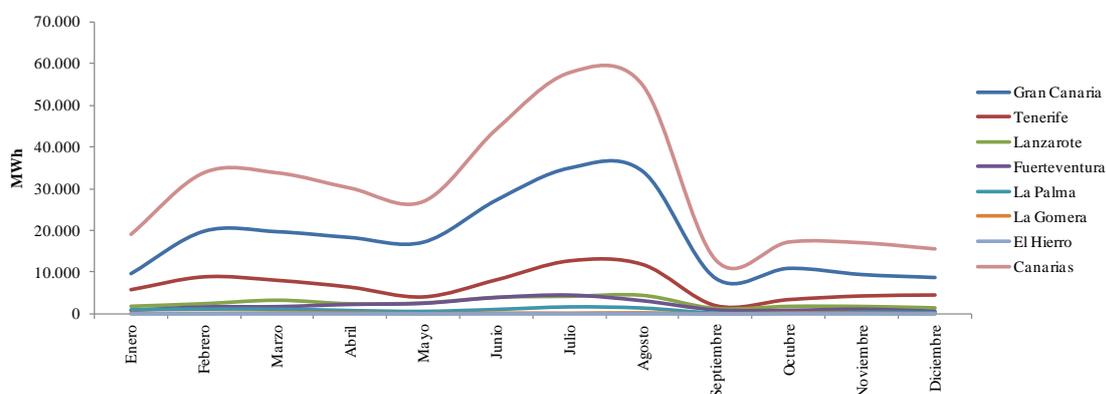
**Figura 2.5: Potencia eólica instalada y producción de energía eléctrica de origen eólico a 31 de diciembre**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

Las cifras de producción eléctrica eólica mensual ponen de manifiesto la influencia de la marcada variabilidad del régimen de vientos en los índices de producción de los parques eólicos al concentrarse, en el año 2012, la mayor parte de la producción en el segundo y tercer trimestre (62,5%), destacando los meses de junio a agosto y, en especial, el mes de julio donde se observa la máxima producción (Figura 2.6).

**Figura 2.6: Producción mensual de energía eléctrica de origen eólico en 2012, por islas**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

La inclusión de sistemas electrónicos que acoplen elementos de acumulación energética de muy alta capacidad que disminuya y mitigue el significativo impacto de la fluctuación de esta energía sobre la operación de la red eléctrica es otra de las actuaciones que podrían aumentar la capacidad de penetración de la eólica. Estos dispositivos se acoplarían a la salida de los parques y absorberían las fluctuaciones de potencia, manteniendo dentro de un determinado margen la variación de potencia en un intervalo de tiempo determinado. Por otro lado, se podrían incluir sistemas de control de la potencia de tal manera que cada parque se acoplaría a la consigna de potencia si la velocidad del viento es suficiente y, en caso contrario, producirían la potencia máxima para acercarse a la consigna de potencia que tienen asignada<sup>27</sup>.

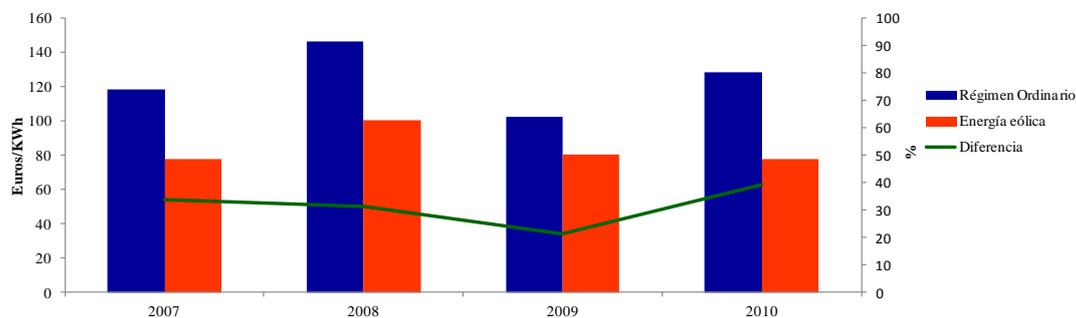
De acuerdo con la información de Red Eléctrica de España, el coste variable medio de la generación en los seis sistemas eléctricos de Canarias ha sido casi siempre superior a 100 €/MWh (Figura 2.7). Se observa que en 2010 el coste variable medio de todos los sistemas aumentó desde los 102,6 €/MWh registrados en 2009 hasta los 128,4 €/MWh. Asimismo, de acuerdo con los datos publicados por la Comisión Nacional de la Energía, el coste medio de generación eólica fue 77,9 €/MWh en 2010. Los 331.367 MWh de generación de origen eólico en 2010 le costaron al sistema eléctrico español 25,81 millones de Euros. Si esa energía de origen eólico se hubiera generado con combustibles fósiles líquidos derivados del petróleo hubieran costado 42,54 millones de Euros, es decir 16,73 millones € más. Teniendo en cuenta que el coste de generación convencional es ascendente y que el de la generación eólica tiende a disminuir, el ahorro en el coste de generación es aún mayor. A este ahorro en el coste de generación debe añadirse el precio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> necesarios para generar con combustible fósil (0,786 tn de CO<sub>2</sub> por MWh<sup>28</sup>). Dado que el valor medio del derecho

<sup>27</sup> Estas medidas dependerán de las opciones que ofrezcan los fabricantes de generadores eólicos.

<sup>28</sup> Este factor se calcula considerando que la fuente renovable sustituye a un parque generador convencional con un rendimiento entre el 32 y 36% (Anuario energético de Canarias 2012).

de emisiones de CO<sub>2</sub> fue 14,32 €/tn en 2010<sup>29</sup>, la generación eólica supuso 260.454,462 tn de CO<sub>2</sub> y un ahorro de 3.729.707,9 euros.

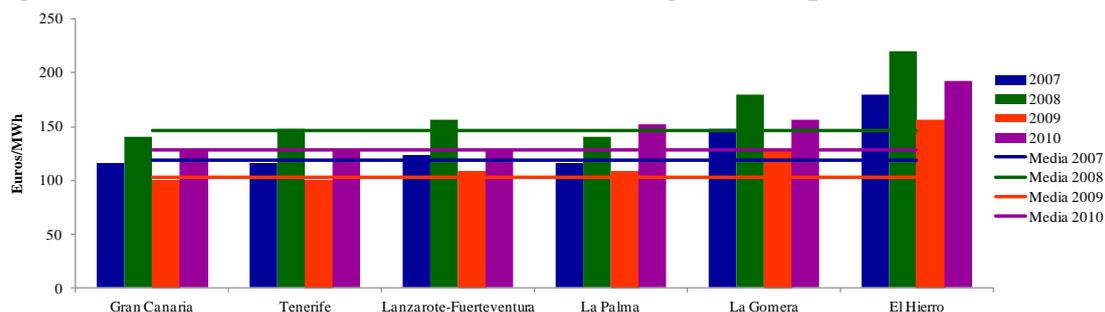
**Figura 2.7: Coste variable medio anual del régimen ordinario y de la energía eólica en los sistemas eléctricos canarios**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por Red Eléctrica de España y la Comisión Nacional de la Energía.

Las particulares características de los parques eólicos de las islas y la densidad y velocidad del viento en cada una de ellas provocan rendimientos económicos por MWh dispares. Las islas mayores son las que mejores rendimientos obtienen, seguida de La Palma y, en último lugar, la isla de El Hierro (Figura 2.8).

**Figura 2.8: Coste variable medio anual de la energía eólica, por islas**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por la Comisión Nacional de la Energía.

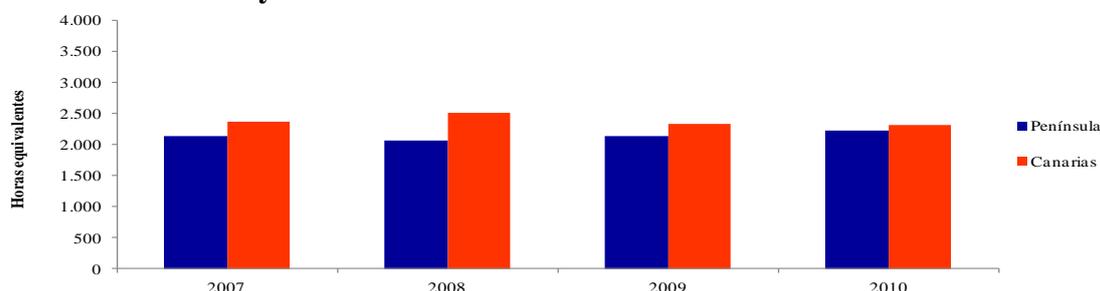
Una ventaja adicional que posee Canarias es su mayor disponibilidad del recurso eólico, con un número de horas de funcionamiento equivalentes superior que las registradas en la península (Figura 2.9). Las horas equivalentes medias anuales de funcionamiento de los parques y aerogeneradores de Canarias oscila entre 2.894 horas en Lanzarote y 1.507 en La Gomera en 2010 (Figura 2.10). Nótese que en el cálculo de las horas equivalentes no se han considerado las instalaciones que por razones técnicas han funcionado por debajo de lo normal, obteniendo horas equivalentes muy bajas que no se corresponden con el potencial eólico de las zonas en las que están ubicados. En este sentido, los factores de capacidad medios en 2010 variaron entre el 33% de Lanzarote y el 17,2% de La Gomera en 2010 (Figura 2.11).

Sin embargo, no hay que olvidar que existe una gran dispersión de la distribución de las horas equivalentes anuales de cada isla debido a las diferencias en la tecnología instalada en cada parque. En el futuro, se espera que el número de horas de funcionamiento equivalentes para la generación aumente debido al uso de mejores emplazamientos y máquinas más eficientes. En este sentido, la incertidumbre y la inseguridad jurídica generada, incluyendo una nueva legislación que no considera la

<sup>29</sup> El precio medio de los derechos de emisión de CO<sub>2</sub> necesarios para generar con combustibles fósiles fue 14,32 €/tn en 2010, 13,05 €/tn en 2009 y 22,01 €/tn en 2008 (European Union Allowance).

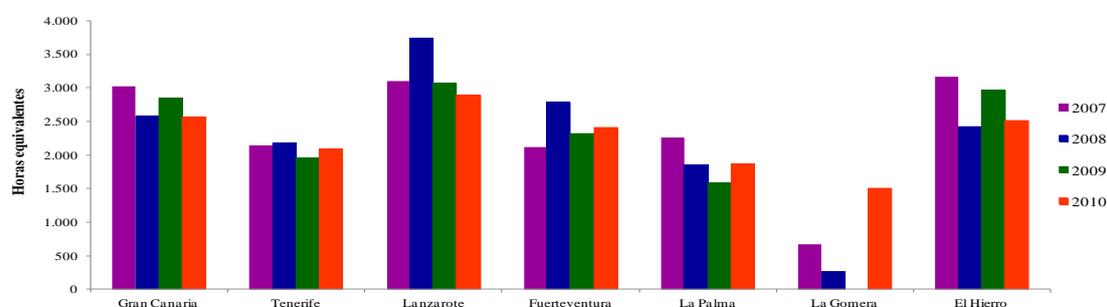
singularidad de los sistemas aislados, y los requisitos administrativos excesivos, suponen una barrera muy importante para el desarrollo de la eólica en Canarias.

**Figura 2.9: Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación eólica en Canarias y Península**



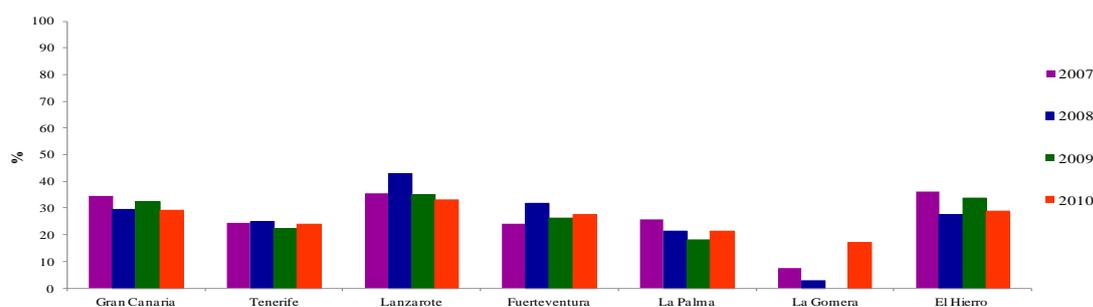
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados por Red Eléctrica de España y la Comisión Nacional de la Energía.

**Figura 2.10: Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación eólica, por islas**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

**Figura 2.11: Factor de capacidad medio anual de funcionamiento en generación eólica, por islas**



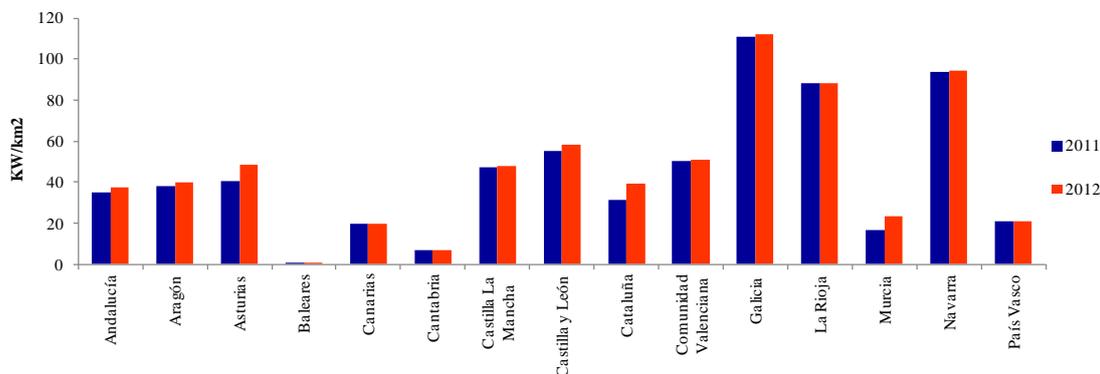
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

En torno al 38% de la energía eléctrica está destinada a usos domésticos. Suponiendo un consumo medio de 120,87 kWh/día en una vivienda unifamiliar canaria, la producción de energía eléctrica eólica generada en 2012 cubrió la demanda de 91.251 hogares<sup>30</sup>. El ratio potencia eólica instalada en relación con la extensión territorial (19,7 kW/Km<sup>2</sup>) situó a Canarias en una de las últimas posiciones del ranking de comunidades autónomas españolas que tienen potencia eólica instalada, por delante de Cantabria y Baleares (Figura 2.12). El comportamiento de este ratio a lo largo del tiempo depende no sólo de las variaciones en la potencia eólica instalada sino también de las variaciones en la población. En efecto, la población en Canarias disminuyó un 0,4% respecto a

<sup>30</sup> Perfil Ambiental de España 2012.

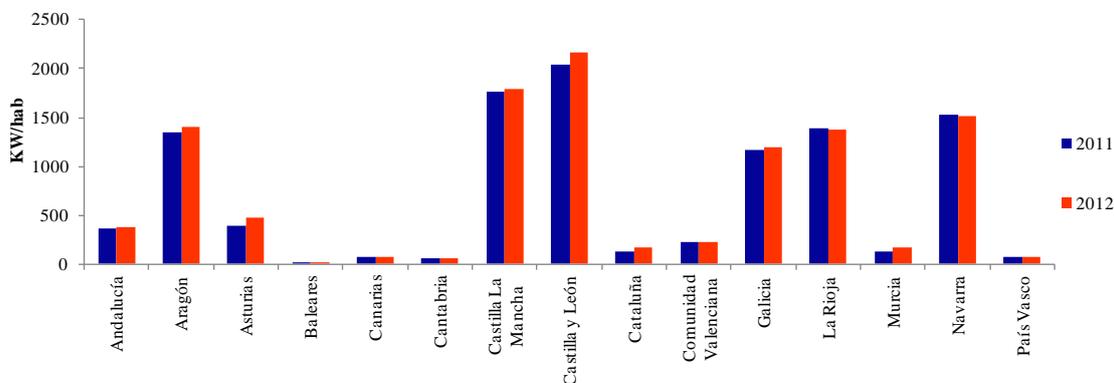
2011<sup>31</sup>, de modo que el ratio asciende a 68 W de la potencia eólica instalada por habitante en 2011 y 69 W en 2012 (Figura 2.13).

**Figura 2.12: Potencia instalada por km<sup>2</sup> y CCAA**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

**Figura 2.13: Potencia instalada por habitante y CCAA**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

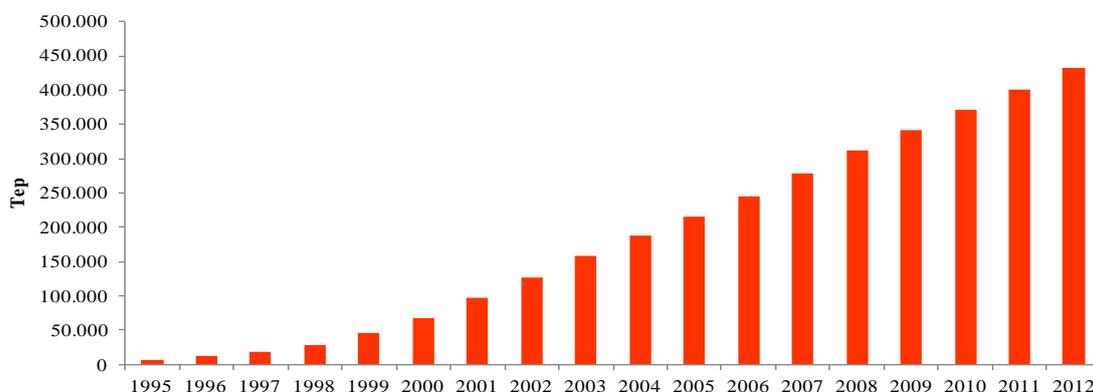
Las alteraciones que las instalaciones eólicas producen en el medio socioeconómico son muy positivas, tanto a nivel local, como regional e incluso nacional. Las razones fundamentales se deben a que se generan puestos de trabajo (directos e indirectos) con un nivel de cualificación profesional medio alto. A finales de 2012, la capacidad eólica instalada y la energía generada en Canarias por esta tecnología fue aproximadamente de 146 MWh y 362 GWh, respectivamente. Utilizando ratios de valor añadido por ingreso y empleo por MW instalado<sup>32</sup>, los productores de energía aportaron 10,66 millones de € al PIB y aproximadamente 41 empleos directos. Un ejemplo de transferencia de conocimiento y tecnología es la colaboración del ITC con Marruecos para instalar una planta desaladora 100% renovable en cuatro comunidades rurales de Marruecos. Actualmente, el mantenimiento y el seguimiento de las cuatro instalaciones están asumidos por una empresa canaria que cuenta con el apoyo de las instituciones locales. Por otro lado, la localización de los combustibles fósiles más allá de las fronteras nacionales genera una alta dependencia energética del exterior y la transferencia de importantes cantidades de dinero al extranjero. En 2012, se evitó la importación de 31.136 toneladas equivalentes de petróleo (Figura 2.14). Además, los precios de los combustibles fósiles presentan una alta volatilidad, mucho mayor que las previsiones de costes de generación con eólica. La dependencia energética de Canarias hace que la volatilidad de los precios y el riesgo de importar una importante parte de los inputs

<sup>31</sup> El número de habitantes en Canarias pasó de 2.126.769 en 2011 a 2.118.344 en 2012.

<sup>32</sup> Según estudio macroeconómico del impacto del sector eólico en España (Deloitte, 2010).

energéticos amenacen el correcto funcionamiento de la economía canaria. Cerca del 35% de la energía eléctrica se destina al sector servicios.

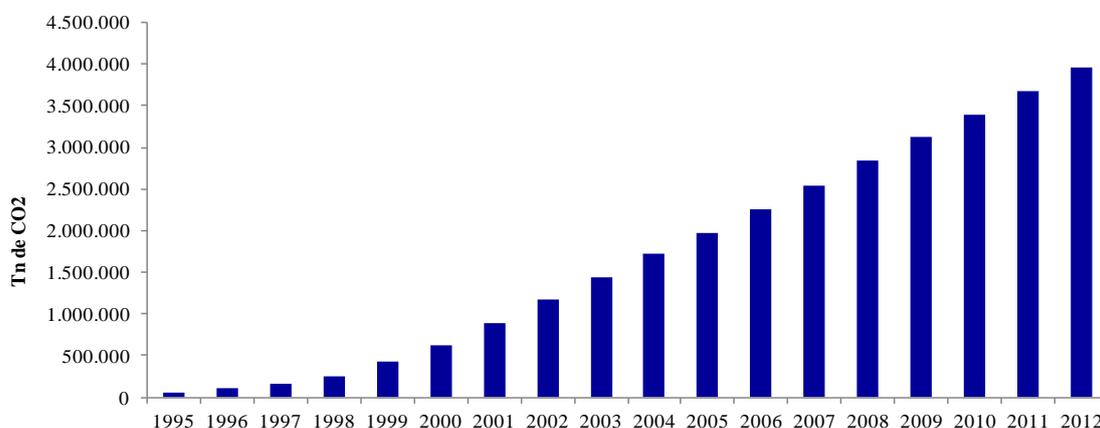
**Figura 2.14: Importaciones de combustibles fósiles evitadas acumuladas de generación eólica**



Fuente: Elaboración propia.

La generación de electricidad a partir de combustibles fósiles presenta externalidades no incluidas en los costes de producción con energía eólica. Las energías convencionales emiten gases contaminantes como dióxido de azufre, partículas, ... y CO<sub>2</sub> que contribuyen al calentamiento global. Sin embargo, el problema ambiental actual es la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> porque, aun existiendo procedimientos operativos para reducir los niveles de SO<sub>2</sub> y NO<sub>2</sub>, no existen tecnología para reducir los de CO<sub>2</sub>. Nótese que la emisión de CO<sub>2</sub> es inexistente en la energía eólica. La eólica supuso, en términos de beneficio para el medio ambiente, evitar la emisión de 431.872 tn de CO<sub>2</sub> en 2012 (Figura 2.15).

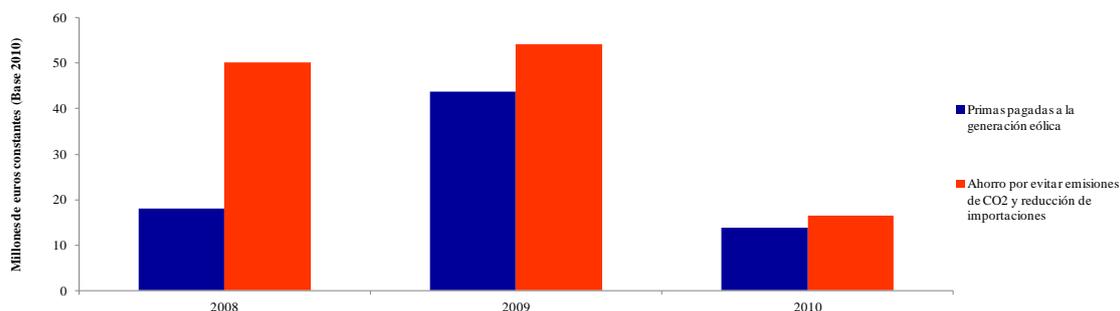
**Figura 2.15: Emisiones de CO<sub>2</sub> evitadas acumuladas de generación eólica**



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los ahorros calculados previamente, se ha realizado una comparación con las primas pagadas a la generación eólica en Canarias. Para el trienio 2008-2010, las primas siempre fueron inferiores. En términos acumulados, los ahorros superan en más de 45 millones de euros las primas recibidas (Figura 2.16).

**Figura 2.16: Primas pagadas a la generación eólica y el ahorro por evitar emisiones de CO<sub>2</sub> y sustituir importaciones de combustibles fósiles**



Fuente: Elaboración propia.

Otra ventaja es su compatibilidad con otras actividades humanas debido a la escasa ocupación real del terreno. Las estructuras de un parque eólico ocupan sólo el 1% del área, al contrario que, por ejemplo, la energía solar fotovoltaica. De hecho, los aerogeneradores sólo ocupan un 0,2% del terreno, mientras que el 0,8% restante tiene que ver con áreas de servicios y enlaces de carreteras. Por tanto, una vez terminadas las labores de construcción, un 99% de la tierra puede seguirse utilizando para la agricultura, ganadería y diversas edificaciones o permanecer como hábitat natural. Los parques deben distribuirse en el terreno y diversificar al máximo los puntos de enganche de los parques a la red eléctrica para evitar que los «huecos de aire» provoquen cortes de potencia instantáneos no programados.

Los impactos medioambientales dependen fundamentalmente del emplazamiento elegido para la instalación, de su tamaño y de la distancia a las zonas de concentración de población. Aunque muchos se encuentran en emplazamientos reservados, el impacto en detrimento de la calidad del paisaje, los efectos sobre la avifauna y el ruido son los efectos negativos que generalmente se citan como inconvenientes medioambientales de los parques eólicos. Un estudio del impacto ambiental del parque eólico del Monte Olvedo (Muñoz-Martínez, 2012) concluye que el impacto sobre las aves es muy pequeño frente al producido por causas naturales, ya que los pájaros aprenden a evitar los obstáculos existentes en su propio territorio e incluso las aves migratorias desvían su trayectoria cuando el parque eólico se encuentra en dirección de su vuelo. El nivel de ruido de un aerogenerador a 400 m de su localización es de 37 dBA. El impacto visual, que es muy difícil de evaluar por su carácter subjetivo, es plenamente reversible para el medio ya que ninguna otra forma de generación eléctrica permite restaurar tan fácilmente el entorno al final de su vida útil. Finalmente, la alineación de los aerogeneradores provoca un efecto pantalla que limita la visibilidad y posibilidades de control, razón de ser de sus respectivos emplazamientos. A estas limitaciones visuales se añaden las previsible interferencias electromagnéticas en los sistemas de comunicación.

## 2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

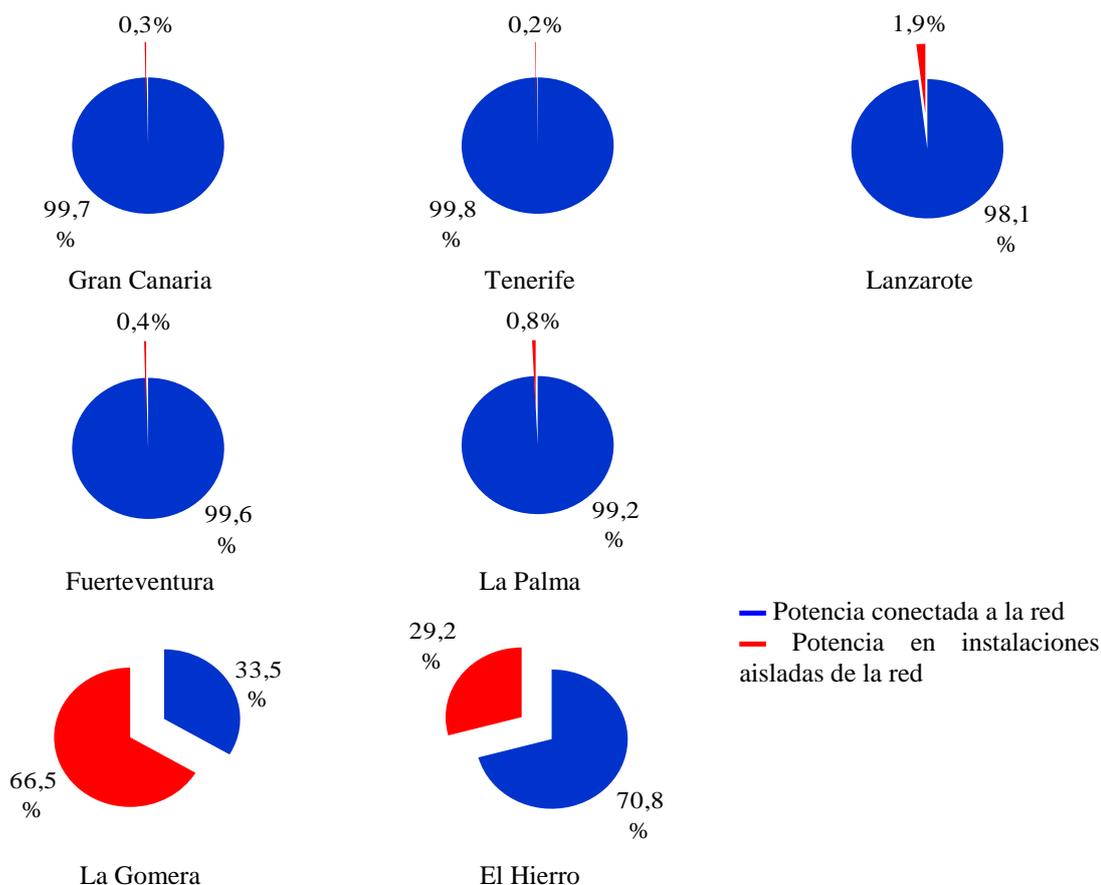
La energía solar es una fuente de vida y origen de la mayoría de las demás formas de energía en la Tierra. Cada año la radiación solar aporta a la Tierra la energía equivalente a varios miles de veces la cantidad de energía que consume la humanidad. Canarias dispone del mayor número de horas de sol de toda Europa con la intensidad apropiada para su utilización como fuente de energía. El mes de julio es, en general, el mes en el que se registran los valores máximos de irradiación global y directa y en diciembre se registran los valores mínimos; además, el aumento en la irradiancia durante los meses en torno al equinoccio de otoño es más lento que la disminución de la irradiancia en los

meses próximos al equinoccio de primavera. La curva de irradiancia media presenta una forma más plana con valores por encima de los 6 kWh por m<sup>2</sup> y día de abril a septiembre. En los meses de otoño, invierno y primavera la cantidad de radiación recibida supera claramente a la de la península Ibérica (véase Anexo IV).

Recogiendo de forma adecuada la radiación solar, puede transformarse en otras formas de energía como energía térmica o energía eléctrica. Mediante colectores solares, la energía solar puede transformarse en energía térmica y, utilizando paneles fotovoltaicos, la energía luminosa puede transformarse en energía eléctrica. Ambos procesos nada tienen que ver entre sí en cuanto a su tecnología. Así mismo, en las centrales térmicas solares se utiliza la energía térmica de los colectores solares para generar electricidad.

La energía solar fotovoltaica representa, junto con la energía eólica, el 87,22% de la energía producida en Canarias. Este tipo de energía desarrolla una doble función. Por un lado, aplicaciones en poblaciones aisladas y alejadas de las redes de distribución de electricidad y, en segundo lugar, instalaciones conectadas a la red con la finalidad de vender la electricidad generada. A partir de los datos de 2012, se aprecia que la primera de estas funciones tiene una relevancia muy limitada en Canarias desde el punto de vista energético, ya que el número de instalaciones aisladas es escaso y de una dimensión reducida. La escasa participación de la energía fotovoltaica en Canarias y, en particular, el uso en poblaciones aisladas se limita a La Gomera y El Hierro dadas sus particulares características orográficas (Figura 2.17).

**Figura 2.17: Potencia fotovoltaica instalada a 31 de diciembre de 2012**

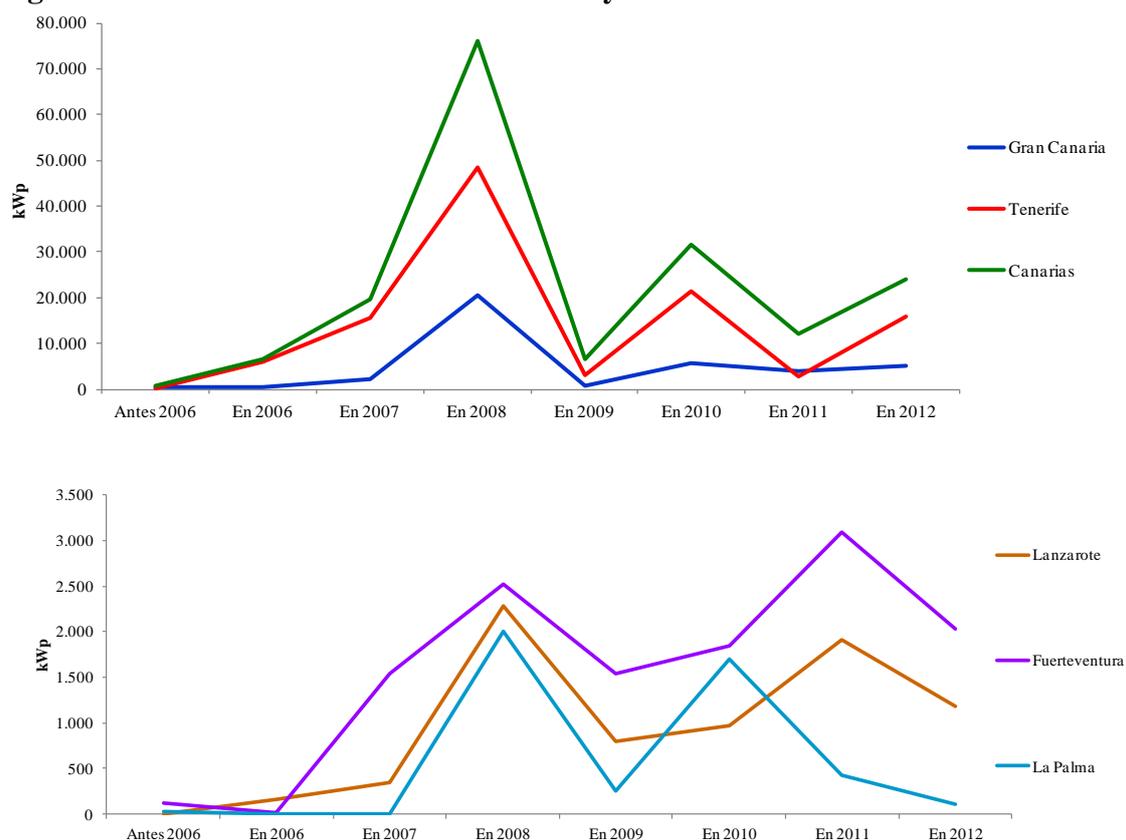


Fuente: Elaboración propia.

La potencia fotovoltaica total instalada en Canarias a 31 de diciembre de 2012 fue de 177.626 kWp y su penetración se circunscribe a las islas de Tenerife y Gran Canaria, en ese orden.

La potencia instalada de las instalaciones conectadas a la red, que representa el 99,7% del total, muestra un comportamiento muy dispar a lo largo de los últimos años. Aunque en 2012 se produjo un incremento de potencia instalada, éste fue muy inferior al registrado en 2010 y, en mayor medida, a la potencia instalada en 2008, cuando entró en vigor el Real Decreto 1578/08 de 26 de septiembre de 2008 que establece la política de primas a la producción de energía fotovoltaica durante los primeros 25 años. El mayor peso de la potencia instalada está en Tenerife (63,9%), seguida de Gran Canaria (22%). La participación de La Gomera y El Hierro es despreciable (representan el 0,024% de la potencia total instalada en Canarias) y el resto de las islas tienen una representación inferior al 10% (Figura 2.18).

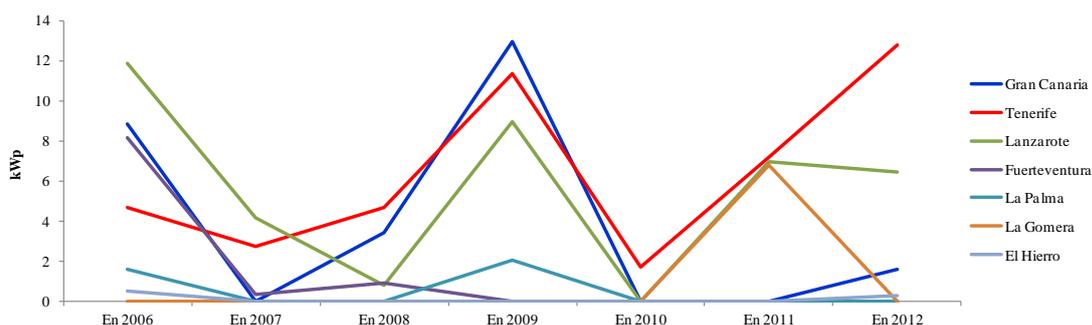
**Figura 2.18: Potencia fotovoltaica instalada y conectada a la red en 2012**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

A diferencia de la potencia conectada a la red, el 76,86% de las centrales fotovoltaicas en poblaciones aisladas de la red se instalaron antes de 2006; sin embargo, en el periodo comprendido entre 2006 y 2012, el mayor volumen de instalaciones tuvo lugar en 2009 y 2011 (Figura 2.19).

**Figura 2.19: Potencia fotovoltaica de las instalaciones aisladas de la red**

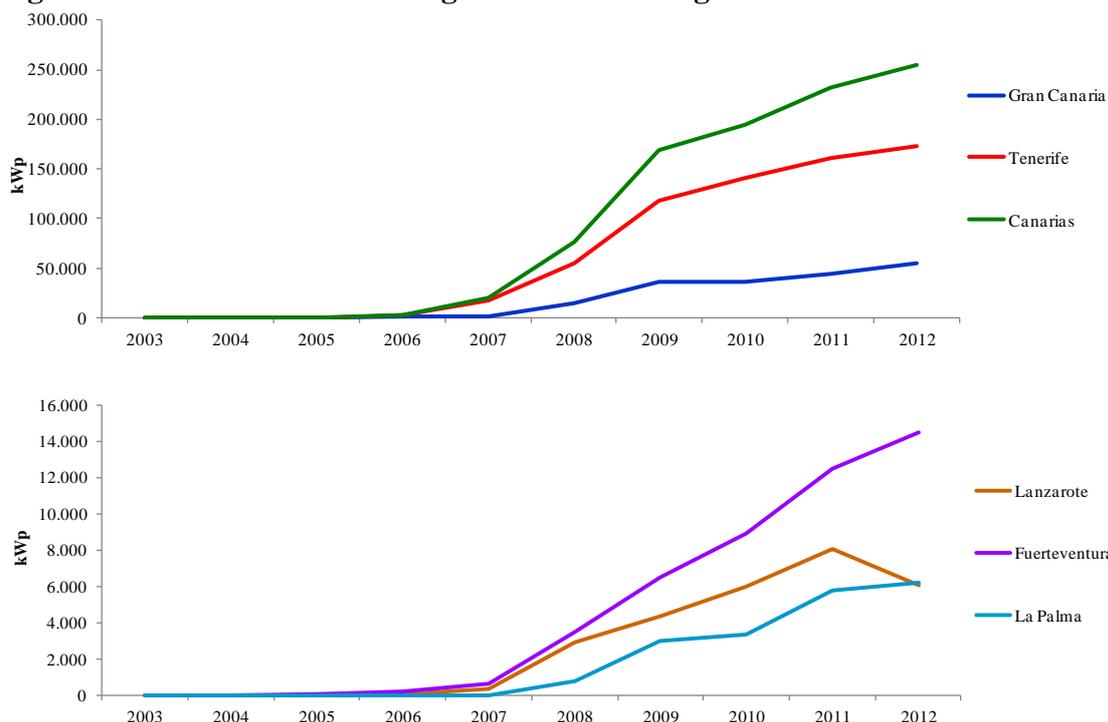


Nota: Se ha optado por representar la potencia fotovoltaica de las instalaciones aisladas a la red después de 2006 para que la cifra de instalaciones en 2006 no ocultara el comportamiento en los últimos años.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

La energía luminosa se transforma en energía eléctrica utilizando paneles fotovoltaicos. La producción de energía eléctrica de origen fotovoltaico alcanzó 254,4 GWh en 2012 o 83,9 Wp/hab, ligeramente por debajo de la media por CCAA que poseen placas fotovoltaicas (97,8 Wp/hab). Además, con un consumo medio de 10,87 kWh/día en un hogar canario, esta producción representa el consumo de 64.118 hogares. El 67,8% de la energía se originó en Tenerife, donde se encuentran los parques de mayor tamaño. La energía eléctrica generada en La Gomera y El Hierro representó el 0,037% de la energía total generada en Canarias (Figura 2.20).

**Figura 2.20: Producción de energía eléctrica de origen fotovoltaica**

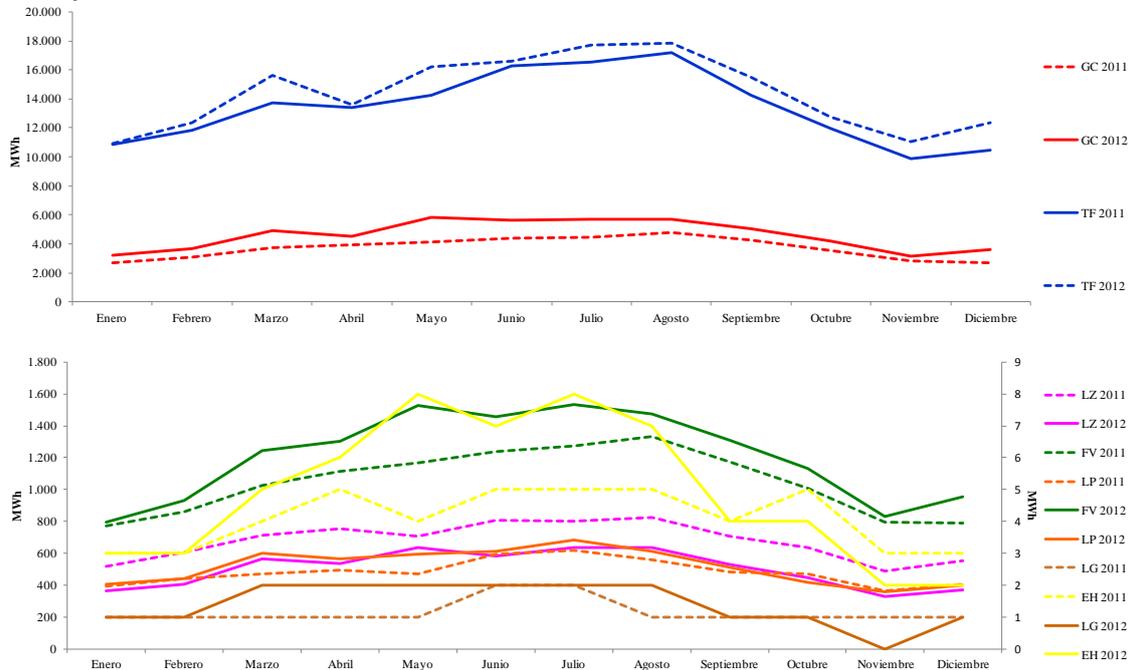


Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

Las curvas de producción eléctrica mensual repiten el comportamiento de las curvas de irradiancias medias. En los primeros meses del año hay un incremento de producción de energía y, una vez alcanzado el nivel más alto entre los meses de mayo y agosto, desciende hasta alcanzar el nivel mínimo de producción en el mes de diciembre. Además, estas curvas de producción eléctrica mensual son asimétricas. El comportamiento no es igual en la fase de crecimiento que en la fase de decrecimiento y,

en concreto, el ritmo de desaceleración en el proceso de producción es más brusco. En 2012, el nivel máximo de producción de energía eléctrica fue 26.274 MWh durante el mes de julio (Figura 2.21).

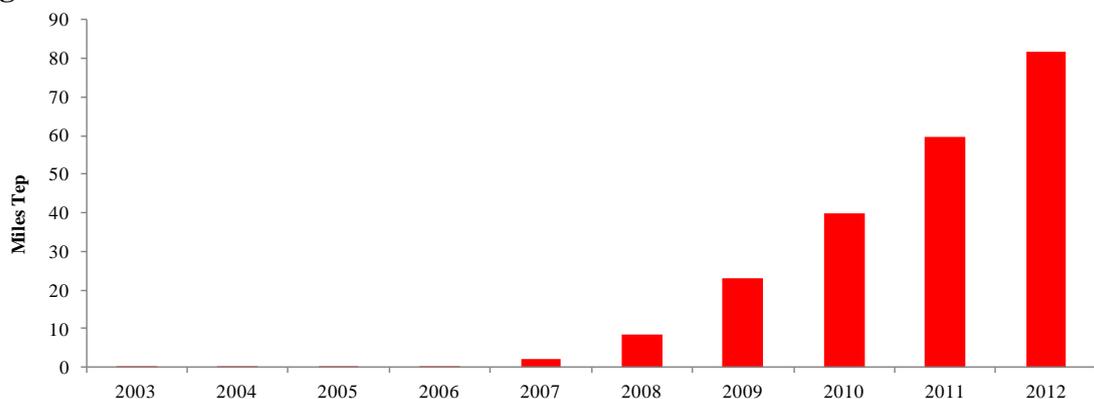
**Figura 2.21: Producción mensual de energía eléctrica de origen fotovoltaica en 2011 y 2012**



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012.

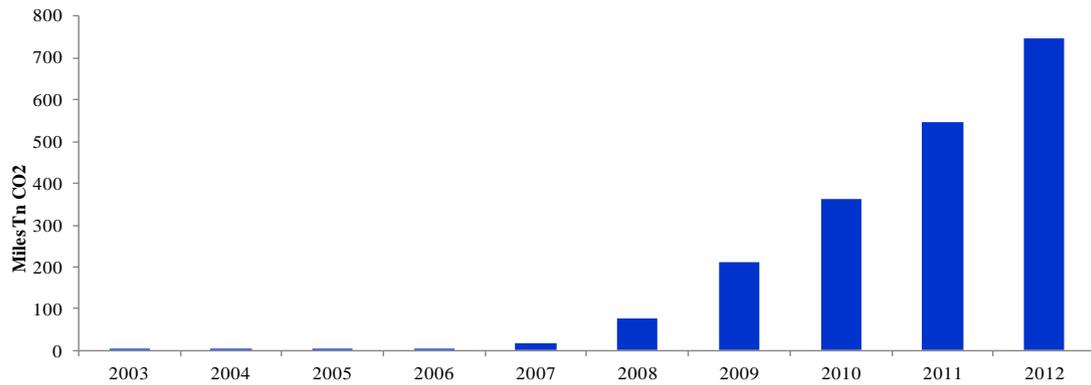
El input del proceso de producción de energía eléctrica a través de placas fotovoltaicas es la radiación solar. Este hecho la convierte en una fuente de energía inagotable y limpia. La energía generada en 2012 sustituye la utilización de 21.878 Tep de combustibles fósiles y evita la emisión de 199.953 toneladas de dióxido de carbono. Entre 2008 y 2012, la generación de energía significó un ahorro superior a los 114 millones de euros en concepto de importación de combustibles fósiles y de más de 22 millones de euros en el pago de los derechos de emisión de dióxido de carbono (Figura 2.22 y Figura 2.23). Sin embargo, el debate que se ha generado en torno a esta forma de energía es sobre la gran cantidad de energía necesaria para producir los paneles fotovoltaicos y el tiempo que tarda en amortizarse esa cantidad de energía.

**Figura 2.22: Importaciones de combustibles fósiles evitadas acumuladas en generación fotovoltaica**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

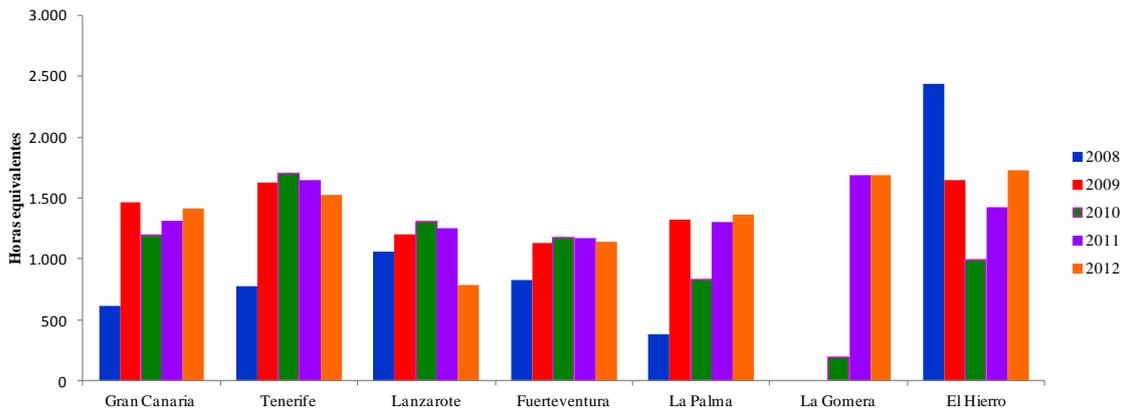
**Figura 2.23: Emisiones de dióxido de carbono evitadas acumuladas en generación fotovoltaica**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

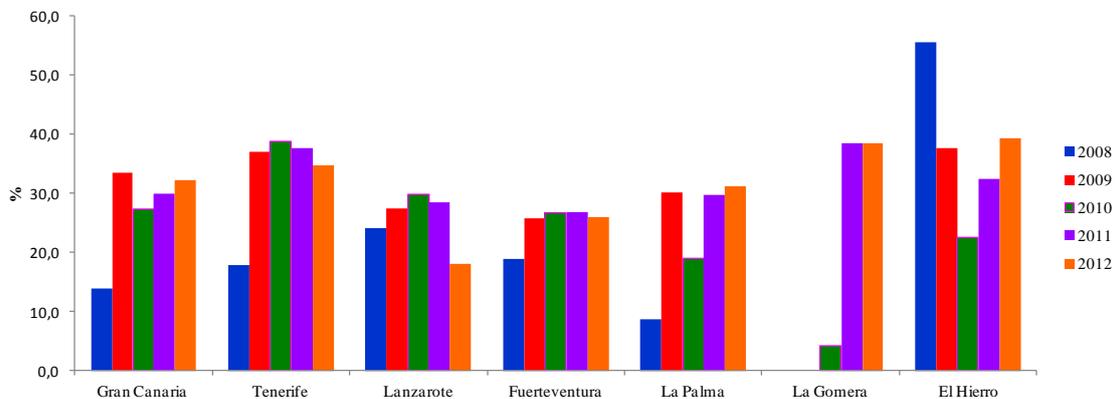
La relación entre la energía producida y la potencia total instalada en los últimos años es muy dispar. Gran Canaria y La Palma presentan una tendencia alcista del número de horas equivalentes mientras que en Tenerife, Lanzarote y Fuerteventura es descendente. Sin embargo, son La Gomera y el Hierro las islas que registran mayor número de horas equivalentes, incluso superior a las de las islas capitalinas. Los factores de capacidad en el periodo 2011-2012 fluctúan entre el 25% y 40% (Figura 2.24 y Figura 2.25).

**Figura 2.24: Horas equivalentes medias anuales de funcionamiento en generación fotovoltaica, por islas**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

**Figura 2.25: Factor de capacidad medio anual de funcionamiento en generación fotovoltaica, por islas**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

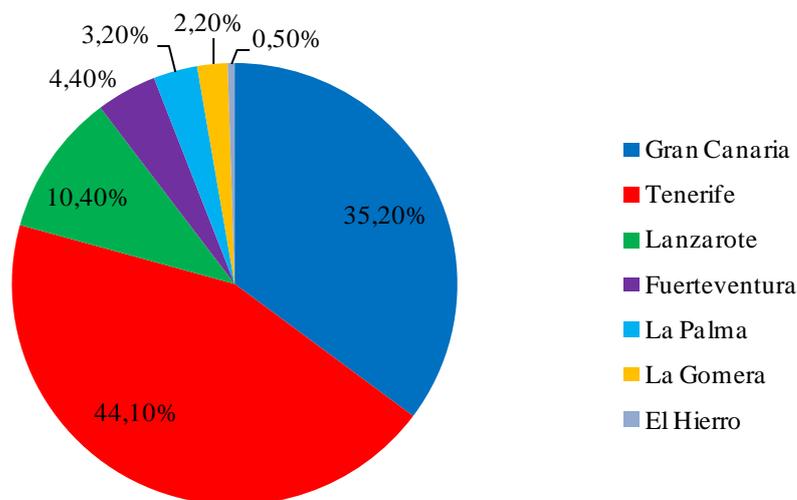
El coste de inversión se sitúa en torno a 6.000 €/kW y el coste de generación a nivel global a 0,25 €/kWh.

### 3. OTRAS FUENTES DE ENERGÍA RENOVABLES

#### 3.1 Energía solar térmica

En Canarias hay 99.416 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos con una capacidad térmica media de 69.591 kWt. Tenerife y Gran Canaria son las islas con mayor capacidad térmica, un 44,1% y 35,2%, respectivamente (Figura 3.1). La presencia de esta fuente de energía en Canarias ha evitado la importación de 26.267 Tep valorada en más de 32 millones de euros y la emisión de 171.490 toneladas de dióxido de carbono que en el mercado de derechos de emisión representan un poco más de cuatro millones de euros.

**Figura 3.1: Capacidad térmica instalada a 31 de diciembre de 2012, por islas**



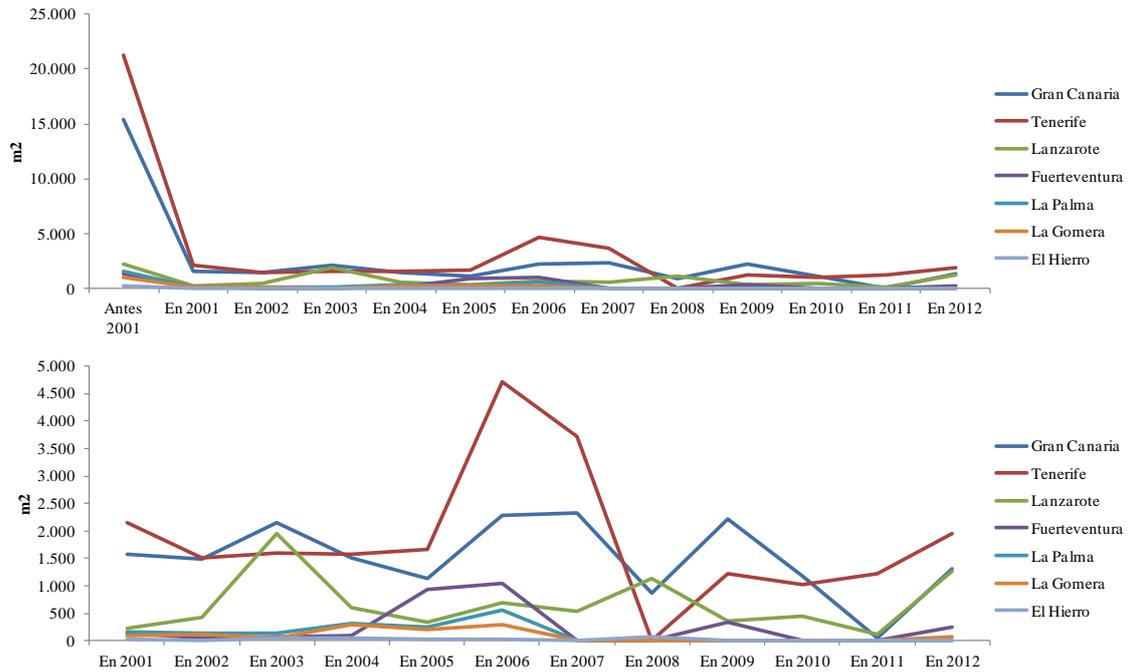
Nota: La capacidad térmica instalada se determina a partir del factor de conversión 0,7kWt/m<sup>2</sup>, independientemente del tipo de colector utilizado.

Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

Una de las aplicaciones de esta fuente de energía es cubrir la demanda de agua caliente y calefacción o refrigeración de los hogares, hoteles, colegios y fábricas. Suponiendo que las necesidades de agua caliente sanitaria de una persona se podrían cubrir con un metro cuadrado de colector solar, el potencial teórico en Canarias está en torno a los 2.000.000 m<sup>2</sup>; sin embargo, según los datos del Anuario Energético de Canarias (2012) sólo hay instalados 97.482 m<sup>2</sup> (Figura 3.2). El Código Técnico de la Edificación, en vigor desde 2006<sup>33</sup>, obliga a que los edificios de nueva construcción incluyan sistemas de agua caliente sanitaria con energía solar térmica. Según datos del mismo anuario, 2006 fue el año en el que se subvencionaron e instalaron el mayor número de paneles solares térmicos. La explosión de la burbuja inmobiliaria en 2008 frenó las expectativas de la industria de la energía solar térmica. Frente a los 9.605 m<sup>2</sup> de paneles solares térmicos instalados en 2006, llama la atención los 2.086 m<sup>2</sup> y 1.397 m<sup>2</sup> instalados en 2008 y 2011, respectivamente (Figura 3.3).

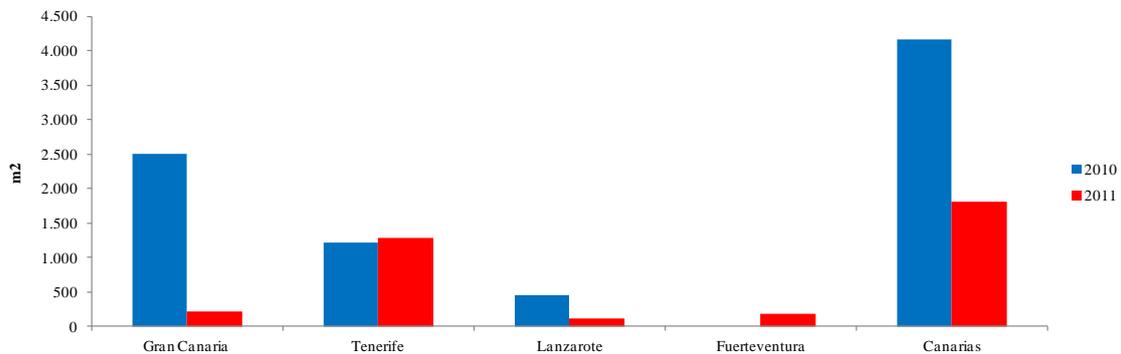
<sup>33</sup> Actualmente incorporado en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por el Real Decreto 1027 /2007, de 20 de julio.

**Figura 3.2: Superficie de paneles solares térmicos subvencionados e instalados, por islas**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

**Figura 3.3: Superficie de paneles solares térmicos instalados en el ámbito del Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios (a partir de 5 kW), por islas**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

Sin embargo, esta fuente de energía tiene otras aplicaciones. En agricultura, los invernaderos solares mejoran el rendimiento y calidad de las cosechas, los secaderos agrícolas, si se combinan con un sistema solar, consumen mucha menos energía y plantas de purificación o desalinización de aguas pueden funcionar sin consumir combustible alguno.

Los inconvenientes para el desarrollo de esta energía radican en su elevado coste y en que precisa de una gran cantidad de suelo para generar cifras importantes de electricidad. Según las previsiones del Plan Energético de Canarias para 2015, el coste de inversión de estos sistemas rondará los 450 €/m<sup>2</sup> o 640 €/kW aproximadamente, que situará el coste de generación en 0,05 €/kWh. El segundo de los inconvenientes es de vital importancia en el caso de Canarias y, debido a esta circunstancia, los 99.416 m<sup>2</sup> de placas fotovoltaicas se concentran en suelos ya ocupados como cubiertas de edificaciones. A pesar de la disponibilidad limitada de superficies susceptibles de ser utilizadas para la instalación de estos sistemas, mediante su integración arquitectónica

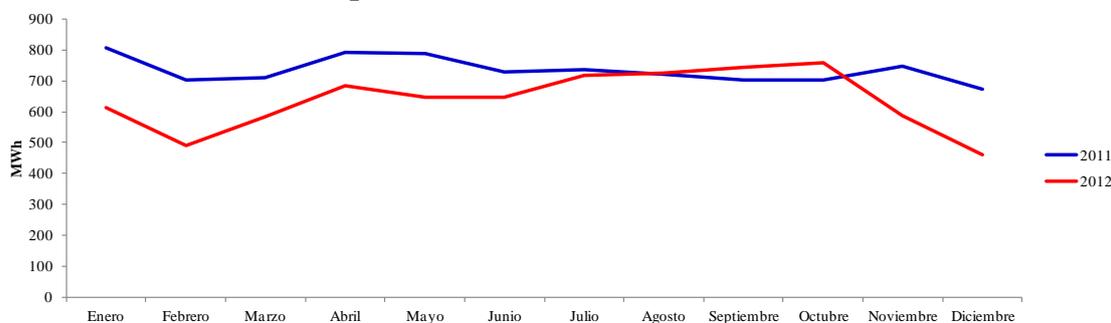
es posible generar energía en el mismo lugar de consumo y eliminar casi por completo las pérdidas relacionadas con el transporte.

### 3.2 Energía de origen biomasa

El biogás es la mezcla de gases resultantes de la descomposición de materia orgánica por la acción bacteriana en condiciones anaerobias. En Canarias se obtiene biogás a partir de los residuos sólidos urbanos y a partir de tratamiento de lodos de depuración de aguas residuales urbanas. En el primer caso, existen instalaciones que obtienen el biogás de forma natural o de forma artificial. De las instalaciones existentes en Canarias destacan las de Juan Grande<sup>34</sup> en Gran Canaria, Zonzamas en la isla de Lanzarote y el vertedero de Arico en Tenerife en la producción de biogás a partir de residuos sólidos de forma natural, la de Zonzamas en Lanzarote y Salto del Negro<sup>35</sup> en Gran Canaria a partir de residuos sólidos de forma artificial y las instalaciones en Santa Cruz de Tenerife y Adeje en Tenerife y la de Barranco Seco en Gran Canaria en la producción a partir de lodos. Según las previsiones del plan energético de Canarias para 2015, el coste de inversión de estos sistemas rondará los 2.000 €/kW y el coste de generación en torno a 0,09 €/kWh.

La planta de aprovechamiento de residuos sólidos urbanos instalada, desde 2008, en el complejo medioambiental de Arico tiene una potencia de 1,6 MW y ha generado, en el periodo 2009-2012, 7.978,5 kWh de energía eléctrica. La producción eléctrica mensual es algo irregular, variando entre los 500 MWh y 800 MWh (Figura 3.4). La planta ha tenido un rendimiento medio de 4.987 horas equivalentes a una capacidad media del 57%. Ha evitado la importación de 2.744,5 Tep de combustibles fósiles que valorados a precios de mercado suponen 1,3 millones de euros.

**Figura 3.4: Energía eléctrica con origen en el biogás en el Complejo Medioambiental de Arico, por meses**



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos publicados en el Anuario Energético de Canarias 2012.

El complejo Ambiental de Zonzamas en Lanzarote cuenta con una planta de biometanización, que aprovecha los restos de comida y los lodos de depuradoras de aguas residuales para generar energía. La capacidad de tratamiento de la planta es de unas 36.000 tn de materia orgánica aproximadamente. Como consecuencia de este proceso se genera biogás, digestato y calor. Con el biogás se pueden llegar a producir 2 MW de electricidad que permite el autoconsumo de la planta y la venta de excedente a la red eléctrica, el digestato permite obtener unas 4.500 Tn/año de compost de calidad y la energía térmica generada se utiliza para enfriar el circuito y ahorrar mensualmente 5.000 litros de gasoil aproximadamente.

<sup>34</sup> A principios de junio de este año no han terminado las obras de acondicionamiento de este complejo ambiental.

<sup>35</sup> Su puesta en funcionamiento tuvo lugar el 27 de febrero de 2014 (El Diario, 2014).

### **3.3 Energía de origen minihidráulico**

La energía hidroeléctrica se obtiene aprovechando la diferencia de cota existente entre dos puntos mediante transformación de la energía potencial del agua en energía cinética. Una característica típica de las instalaciones hidroeléctricas en Canarias es que disponen de saltos importantes pero de poco caudal. En la isla de la Palma está la central de El Mulato, primera central minihidráulica de Canarias cerrada desde 2004, con una potencia instalada de 800 kW, y en la isla de Tenerife se encuentran las instalaciones de Vergara-La Guancha y Altos de Icod-El Reventón, con potencias instaladas de 463 kW y 757 kW, respectivamente (véase Anexo V). Se trata de una tecnología bastante madura de la que no se esperan reducciones importantes en términos de coste de inversión y generación, que rondan los 2.100 €/kW y 0,05 €/kWh, respectivamente.

### **3.4 Otras fuentes de energía**

Actualmente no existe ninguna instalación que aproveche el movimiento de las olas para producir energía. Sin embargo, el potencial energético de las olas en las islas podría posibilitar la construcción de centrales que integren las tecnologías de aprovechamiento de este tipo de energía en diques o muelles, sobre todo en casos de nueva construcción o ampliación de los existentes. El archipiélago está situado en una zona de potencial medio de aproximadamente 25 kW/m, siendo la costa norte de las islas la de mayor potencial. Según las previsiones del plan energético de Canarias para 2015, el coste de inversión de estos sistemas rondará los 1.300 €/kW y el coste de generación en 0,05 €/kWh.

La diferencia de altura entre mareas es determinante para la producción de energía mareomotriz ya que son las subidas y bajadas del nivel del mar el fundamento de este tipo de energía. La energía mareomotriz presenta varios problemas como la ubicación, el desgaste, el mantenimiento de los equipos y la continuidad en la producción. Sólo es rentable una planta en un lugar de buenas mareas y donde sea fácil construir un buen depósito, circunstancia que restringe los posibles enclaves y hace prácticamente inviable su aplicación en Canarias.

Una central maremotérmica es un sistema capaz de aprovechar los gradientes térmicos oceánicos para producir energía eléctrica. Se trata de utilizar el agua superficial como fuente de calor, mientras que el agua de las profundidades actúa como refrigerante. La transformación de la energía térmica en eléctrica se logra mediante la evaporación de un líquido y su paso por una turbina. Las bajas temperaturas de las aguas canarias son un importante obstáculo para la posible instalación de plantas maremotérmicas en Canarias.

Se conoce como biocarburantes al conjunto de combustibles líquidos proveniente de distintas transformaciones de la materia vegetal o animal (bioetanol y biodiesel) que pueden ser utilizados en vehículos en sustitución de los derivados de combustibles fósiles convencionales. No se conocen estudios detallados de estimación de aprovechamiento de esta fuente en Canarias debido a los altos costes de las instalaciones de pequeño tamaño que serían las susceptibles de ser montadas en el Archipiélago.

No existe en Canarias ninguna instalación que emplee la energía proveniente de la biomasa y no es previsible que exista alguna instalación de este tipo debido fundamentalmente a la escasa producción de estos residuos y costes de recogida y transporte que conlleva la utilización de esta energía.

La inyección de agua caliente a través de roca seca aprovecha el calor almacenado en el subsuelo y produce vapor que al ser extraído y turbinado en la superficie produce electricidad. El potencial de recursos geotérmicos en el subsuelo de Canarias ha

propiciado estudios sobre esta energía como complemento a otras fuentes renovables no gestionables como la eólica o fotovoltaica. En esta línea, el Instituto Tecnológico de Canarias participa desde mayo del año pasado en un proyecto de hibridación de tecnologías.

#### **4. USOS DE LA ENERGÍA RENOVABLE EN CANARIAS**

Hasta ahora se ha abordado el análisis de las energías renovables como fuente de generación de electricidad que, como mostrará la central hidroeléctrica de El Hierro puesta en marcha el pasado 27 de junio<sup>36</sup>, puede convertir a la isla en un ejemplo de autoabastecimiento energético. No obstante, estas energías aportan su granito de arena, entre otros, en el estudio de técnicas más eficientes y en la reducción del impacto ambiental que genera el sector de la construcción mediante su integración en la arquitectura con, por ejemplo, viviendas bioclimáticas y en la desalación de agua potable para consumo humano y agrícola. A este respecto, los diversos proyectos en los que participa el Instituto Tecnológico y de Energías Renovables de Canarias son un ejemplo de la dimensión de Canarias como laboratorio de ensayo en el ámbito de las energías renovables y del posible alcance en términos económicos, en caso de resultar exitosas.

El abastecimiento de agua potable en la mayoría de las Islas Canarias, tanto para consumo humano como agrícola, ha constituido un problema debido a su crónica escasez, paliada en los últimos años por la creciente producción industrial de agua mediante la desalación de agua de mar. Según la Fundación Centro Canario del Agua (FCCA) se necesita anualmente alrededor de 490 hm<sup>3</sup> de agua para cubrir las necesidades hidráulicas en el archipiélago Canario. Mediante la desalación se produce unos 214,6 hm<sup>3</sup>, lo que representa el 44 % del consumo del total requerido. En la actualidad existen unas 334 plantas desaladoras diseminadas por todas las Islas y la situación es muy diferente en cada una de ellas. En un extremo se encuentran Lanzarote, donde el 99% del agua potable es agua de mar desalada, seguida de Fuerteventura, con el 86%. En el otro extremo se encuentran las islas de La Gomera y La Palma, donde el 100% del agua potable procede de aguas basales y de lluvia.

La desalación de agua de mar no presenta problemas técnicos pero sí los derivados de la gran cantidad de energía que se precisa para su obtención, entre 3 y 5 kWh de energía eléctrica por cada m<sup>3</sup> de agua desalada. En conjunto, la desalación de agua en Canarias supone más de 770.000 MWh. Cada año, este consumo de energía equivale a más de 180.000 tn de combustibles fósiles y la emisión de más de 450.000 tn de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Teniendo en cuenta los altos consumos energéticos de los sistemas de desalación, el problema de la disponibilidad de agua potable en Canarias se traslada a la disponibilidad de recursos energéticos fósiles, petróleo y gas natural.

Sólo un 1% de las plantas existentes se abastecen con energías renovables. Sin embargo, en el futuro jugarán un papel importante como fuente de suministro energético para la obtención de agua potable donde existan potenciales energéticos naturales (viento y sol) suficientes para suplir las necesidades de las plantas desaladoras<sup>37</sup>. En este sentido, Calero-Pérez, Carta-González, Medina-Sánchez & Martín-Hernández (2011) muestran que la desalación de agua de mar con el uso exclusivo de la energía eólica es factible tanto técnica como económicamente en Canarias. Además, y en combinación con

---

<sup>36</sup> Según datos del Cabildo de El Hierro, la puesta en marcha del proyecto evitará el consumo anual de 6.000 tn de diesel lo que equivale a 40.000 barriles de petróleo que tendrían que llegar importados y en barco a la isla, lo que supone un ahorro de más de 1,8 millones de euros anuales. Asimismo, se evitará la emisión a la atmósfera de 18.700 tn al año de CO<sub>2</sub>.

<sup>37</sup> Véase García-Rodríguez (2002).

determinadas fuentes renovables, el sector del agua puede ayudar a regular el propio sistema eléctrico en algunas islas. En efecto, las plantas desaladoras permiten una producción continuada de agua y disponen de medios de almacenamiento considerable, lo que ayudaría a estabilizar la demanda eléctrica en horas valle, solucionar problemas de falta de potencia eléctrica en momentos pico de la demanda e incluso para regular el funcionamiento horario de la generación eléctrica.

Ávila-Prats, Alesanco-García & Veliz-Alonso (2011) analizan sistemas híbridos con base en las energías renovables (fotovoltaica-eólica) que garantizan las necesidades energéticas de plantas desaladoras de agua de mar con el principio de ósmosis inversa<sup>38</sup> para una producción diaria de hasta 50 m<sup>3</sup> de agua potable en Canarias. Teniendo en cuenta la demanda energética requerida por la planta desalinizadora y los potenciales energéticos naturales existentes en las Islas Canarias, estos autores consideran óptimo un sistema eólico- diesel compuesto por dos aerogeneradores, un banco de baterías y un generador diesel, demostrando además que la velocidad del viento es la variable termodinámica determinante para la configuración de los sistemas híbridos estudiados.

## 5. CONCLUSIONES

La comunidad autónoma de Canarias ha tenido históricamente una menor calidad en el servicio de suministro de la energía eléctrica justificado por la fragmentación de mercados y otros factores geográficos y orográficos que introducen costes de suministro extra al cliente final. Además, las posibilidades teóricas de aumentar la competencia en los mercados energéticos de Canarias son mucho más limitadas que en el resto del territorio español con lo que la liberalización del mercado eléctrico, producida el uno de enero de 2003, no ha aportado posibilidades reales de una reducción del precio para la inmensa mayoría de los consumidores de la región. En este sentido, es necesario adoptar medidas técnicas y económicas adecuadas para minimizar estos factores diferenciales negativos y garantizar que las tarifas en Canarias sean iguales a las del resto del territorio español. Sin embargo, una fiscalidad diferenciada para Canarias es posible por considerar que una planificación centralizada y uniforme para el conjunto de España en los sectores de electricidad y gas natural es insuficiente, por no tomar en consideración las especiales características que concurren y que requieren de actuaciones específicas por parte de las instituciones públicas. Tal y como ha quedado de manifiesto en este trabajo, a la hora de fijar los parámetros retributivos a la generación eólica, debería tomarse en consideración el ahorro por las emisiones de dióxido de carbono e importaciones de combustibles fósiles evitadas.

La vulnerabilidad en materia energética en Canarias es muy superior a la del conjunto de España, que a su vez es muy superior a la de la media de la Unión Europea. Por otro lado, el consumo de energía y, por ende, de las emisiones de CO<sub>2</sub> ha crecido en los últimos años. La conjunción de estas circunstancias exige diseñar una estrategia energética que favorezca el uso racional de la energía, potencie las energías autóctonas a un coste razonable y con baja o nula producción de CO<sub>2</sub>, diversifique su balance energético con la introducción del gas natural y permita la adopción de medidas específicas para situaciones de crisis. Si además se tiene en cuenta la dimensión medioambiental en el proceso de toma de decisiones en materia energética, la diversificación energética de Canarias y el esfuerzo de reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> justifican, además de la introducción del gas natural, la máxima utilización de las

---

<sup>38</sup> Calero-Pérez *et al.* (2011) constataron que el sistema de desalación por osmosis inversa era el más apropiado para la desalación de agua de mar a gran escala a partir de la energía eólica, desechándose los sistemas de compresión de vapor y electrodiálisis.

energías renovables, dejando el petróleo como fuente energética solidaria en los territorios menos poblados de la región.

Las energías renovables son fuentes endógenas que permiten reducir la dependencia exterior y podrían actuar de colchón de las oscilaciones de precios internacionales de la energía. Las afecciones al medio provocadas por la utilización de energías renovables suelen ser inferiores a las ocasionadas por las fuentes convencionales. Algunos recursos como la energía eólica y la solar son abundantes y están disponibles en todo el archipiélago y, además, el coste de suministro de la energía es mayor que en sistemas continentales integrados. Por tanto, la sustitución de la producción convencional por fuentes renovables, de naturaleza descentralizada, aporta un mayor valor añadido y reduce la necesidad de compensación económica. Además, son actividades socialmente integradoras porque su nivel tecnológico, de grado medio en muchos casos, permite generar un mayor nivel de empleo local que las energías convencionales y las tareas de mantenimiento se ven simplificadas.

Sin embargo, no es posible ignorar que las energías renovables tienen efectos secundarios y limitaciones como ocupación del suelo, impacto paisajístico o su propio carácter de variabilidad que las limitan a ser un complemento importante de los balances energéticos, pero que impide que puedan ser, salvo situaciones muy específicas como el caso de la isla de El Hierro, la columna vertebral de las necesidades energéticas de Canarias.

Los argumentos presentados anteriormente justifican la penetración de las energías renovables en Canarias y el estudio del grado de aprovechamiento de las energías disponibles desarrollado en este trabajo lleva a concluir que en el Archipiélago existe una cifra muy baja de penetración de las fuentes renovables, prácticamente circunscrita a la energía eólica y la solar fotovoltaica.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ávila-Prats, D., Alesanco-García, R. & Veliz-Alonso, J. (2011). Sistemas híbridos con base en las energías renovables para el suministro a plantas desaladoras. *Ingeniería Mecánica*, 14(1), 22-30.

Ballenilla, M. & Ballenilla, F. (2008). La tasa de retorno energético. *El ecologista*, 55.

Calero-Pérez, R., Carta-González, J.A., Medina-Sánchez, P. & Martín-Hernández, J., (2011). Las energías renovables y la desalación de agua de mar, pilares del desarrollo sostenible de Canarias. *Anuario de Estudios Atlánticos*, 57, 105-136. Las Palmas de Gran Canaria.

Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias. Revisión Plan Energético de Canarias 2006-2015.

Consejería de Empleo, Industria y Comercio del Gobierno de Canarias. Anuario Energético de Canarias 2012.

*Deloitte* (2011). Estudio macroeconómico del impacto del sector eólico en España.

Departamento de Hacienda y Administración Pública del Gobierno Vasco. 2008. El petróleo y la energía en la economía. Los efectos económicos del encarecimiento del petróleo en la economía vasca. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. Vitoria. Recuperado de <http://www.euskadi.net/ejgvbiblioteca>.

El Diario (2014, 27 de febrero). Gran Canaria estrena nueva planta de tratamiento de residuos. Recuperado de [http://www.eldiario.es/canariasahora/sociedad/Gran-Canaria-estrena-tratamiento-residuos\\_0\\_233427657.html](http://www.eldiario.es/canariasahora/sociedad/Gran-Canaria-estrena-tratamiento-residuos_0_233427657.html).

García-Rodríguez, L. (2002). Seawater desalination driven by renewable energies: a review. *Desalination*, 143, 103-113.

- Hernández-Martín, D.V. (2013). El cénit del petróleo: implicaciones energéticas y socioeconómicas. Trabajo fin de Grado. Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales (sección Economía). Universidad de La Laguna.
- Instituto para la diversificación y Ahorro de la Energía del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Plan de Energías Renovables 2011-2020. Recuperado de [http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_PER\\_2011-2020\\_def\\_93c624ab.pdf](http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_PER_2011-2020_def_93c624ab.pdf).
- International Energy Agency (2008): World Energy Outlook 2011. OECD, París, 659 pp.
- Marrero-Díaz, G.A. & Ramos-Real, F.J. (2010). Electricity generation cost in isolated system: the complementarities of natural gas and renewable in the Canary Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2808-2818. doi:10.1016/j.rser.2010.06.007.
- Martín-Mederos, A.C., Medina-Padrón, J.F. & Feijóo-Lorenzo, A.E. (2011). An offshore wind atlas for the Canary Islands. *Renewable and sustainable energy Reviews*, 15: 612-620. doi:10.1016/j.rser.2010.08.005.
- Marzo-Carpio, M. (2012). El suministro mundial de petróleo y gas. Riesgos e incertidumbre. *Economía Industrial*, 384: 51-62.
- Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2011). La energía en España 2011.
- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Perfil ambiental de España 2011. Recuperado de <http://publicacionesoficiales.boe.es/>.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Memoria del Análisis de impacto normativo del proyecto de Real Decreto por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. (2013). Recuperado de <http://www.energias-renovables.com/ficheroenergias/Propuesta de Real Decreto por el que se regula la actividad de produccion de energia electrica a partir de fuentes de energia renovables cogeneracion y residuos.pdf>.
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo. Informe sobre el Anteproyecto de Ley del Sector Eléctrico (2013). Recuperado de [www.lamoncloa.gob.es/ConsejodeMinistros/Referencias/2013/refc20130712.htm#Energia](http://www.lamoncloa.gob.es/ConsejodeMinistros/Referencias/2013/refc20130712.htm#Energia).
- Muñoz-Martínez, E. (2012). Estudio del Impacto Ambiental del Parque Eólico del Monte Olvedo. Trabajo fin de grado de la Escuela de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos y de Ingeniería de Minas de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Padrón-Fumero, N., Ramos-Real, F., Hernández-Martín, R. & Rodríguez-Rodríguez, Y. (2013). Turismo y prospecciones petrolíferas en Canarias. Cátedra de CajaCanarias-ASHOTEL-ULL, La Laguna.
- Ramos-Real, F.J. (2002). *Las energías renovables y las políticas de ahorro energético en las Islas Canarias*. Boletín Económico de ICE, 2750.
- Sancho-Ávila, J.M., Riesco-Martín, J., Jiménez-Alonso, C., Sánchez-De Cos Escuin, M.C., Monero-Cadalso, J. & López-Bartolomé, M. (2012). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- Sevilla-Jiménez, M., Golfo-Laville, E. & Driha, O.A. (2013). Las energías renovables en España. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(1): 35-58.

## Anexo I. Mapa eólico de las Islas Canarias

Figura I.1. Velocidad media estacional del viento a 80 m de altura

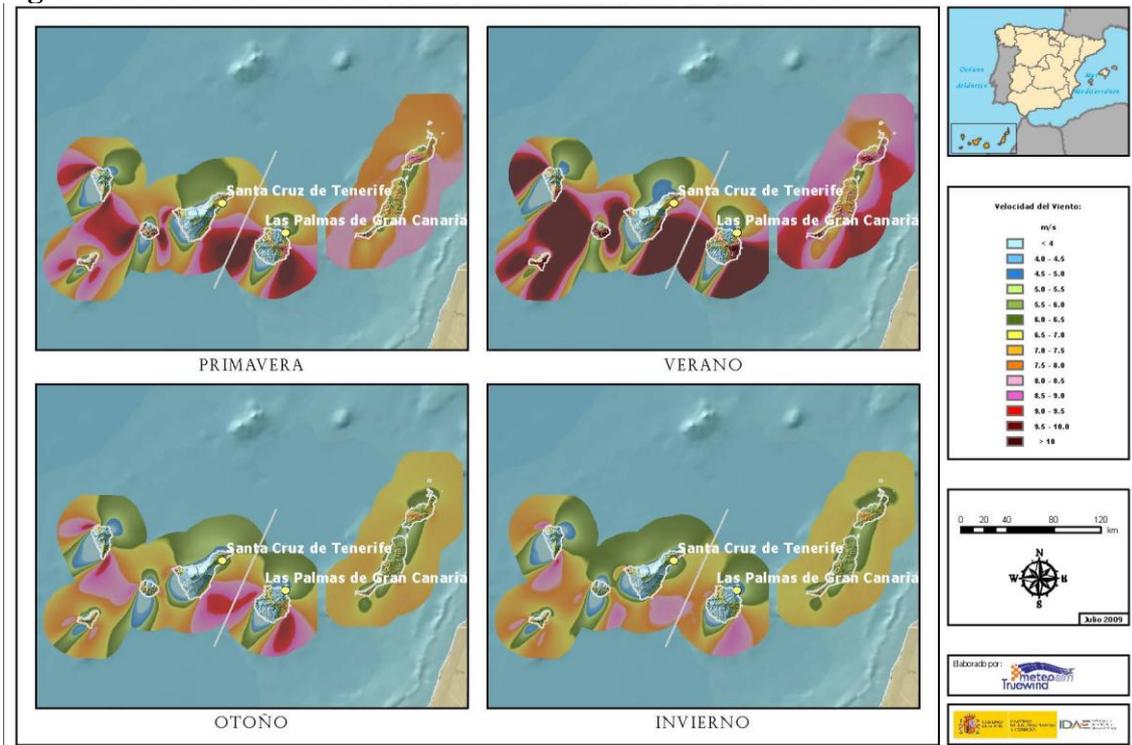
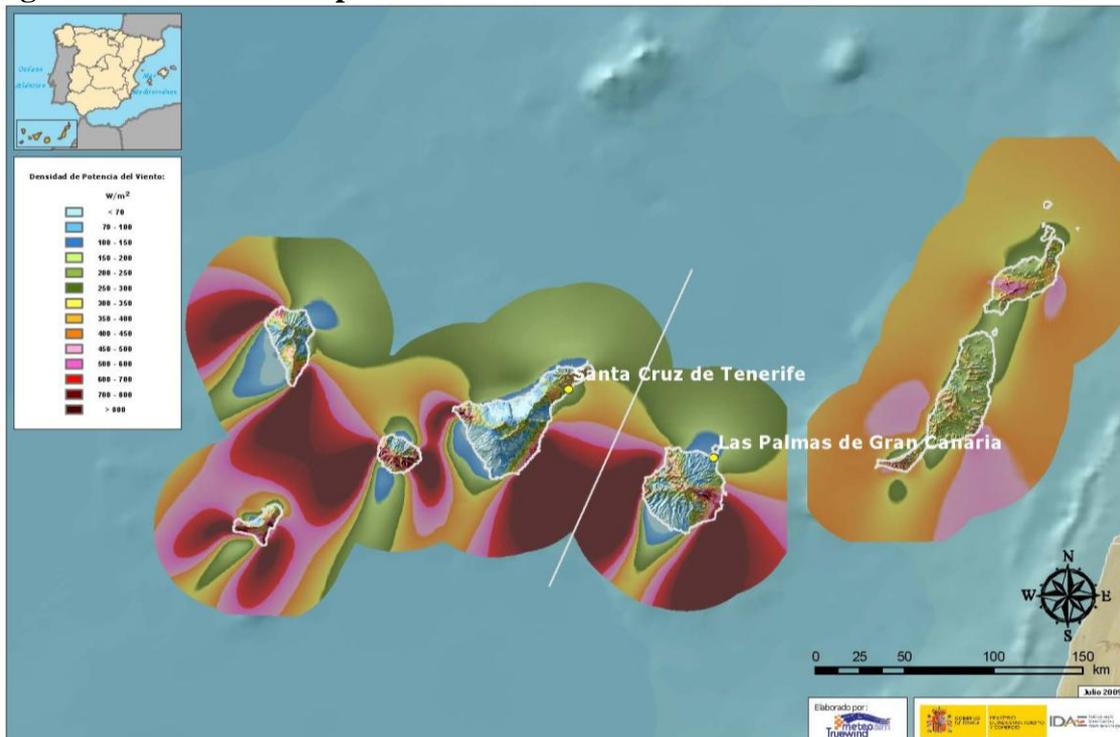


Figura II.2. Densidad de potencia media anual del viento a 80 m de altura



Fuente: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo.

## Anexo II. Descripción de los parques eólicos

DENOMINACIÓN	FABRICANTE	Nº	POTENCIA POR AEROGENERADOR (kw)	POTENCIA DEL PARQUE (kw)	Kw/m2	TIPO	MUNICIPIO	AÑO
<b>GRAN CANARIA</b>								
P.E. Arinaga - GC01	VESTAS	4	90	360	0,324	VTR	AGÜIMES	1990
P.E. Arinaga Depuradora	VESTAS	1	200	200	0,407	VTR	AGÜIMES	1991
Aerogenerador Fábrica ACSA	VESTAS	1	225	225	0,393	VTR	AGÜIMES	1992
Aerogenerador Pozo Piletas	VESTAS	1	225	225	0,393	VTR	AGÜIMES	1992
P.E. Artes Gráficas del Atlántico	VESTAS	4	225	900	0,393	CA	AGÜIMES	1998/2002
P.E. Lomo El Cabezo	ENERCON	3	600	1800	0,47	VTR	AGÜIMES	1999
P.E. Montaña Francisco - Fase 1	VESTAS	5	225	1125	0,393	VTR	AGÜIMES	2001
P.E. La Florida-Soslares Canarias	GAMESA	4	660	2500	0,38	CA	AGÜIMES	2002
P.E. Carreteras de Arinaga	ENERCON	1	200	6920	0,429	VTR	AGÜIMES	2002/2012
	MADE	7/1	660/300					
P.E. Concasur	IZAR BONUS	1	600	600	0,395	CA	AGÜIMES	2004
P.E. Pesban, Arinaga	GAMESA	1	850	800	0,377	CA	AGÜIMES	2005
P.E. Seinco, Arinaga	VESTAS	1	100	100	0,318	CA	AGÜIMES	2008
P.E. Tenefé	VESTAS	5	225	1125	0,393	VTR	SANTA LUCÍA	1992
P.E. Santa Lucía	MADE	16	300	4800	0,467	VTR	SANTA LUCÍA	1998
P.E. Bahía de Fromas II	ENERCON	4	600	2000	0,392	VTR	SANTA LUCÍA	1998
P.E. ITC Tenefé (CIEA)	ENERCON	2	230	460	0,356	VTR	SANTA LUCÍA	1998
P.E. Punta Tenefé Ampliación	VESTAS	1/1	230/225	455	0,397	VTR	SANTA LUCÍA	1999
P.E. Bahía de Formas III	ENERCON	10	600	5000	0,392	VTR	SANTA LUCÍA	2000
P.E. Bahía de Fromas IV	ENERCON	10	600	5000	0,392	VTR	SANTA LUCÍA	2000
P.E. La Punta	ENERCON	11	500	5500	0,392	VTR	SANTA LUCÍA	2000
P.E. La Gaviota	ECOTECNIA	11	630	6930	0,414	VTR	SANTA LUCÍA	2001
P.E. Finca San Antonio	MADE	5	300	1500	0,467	VTR	SANTA LUCÍA	1999
P.E. Barranco Tirajana	MADE	7	180	1260	0,433	VTR	S.B. TIRAJANA	1994
P.E. Llanos de Juan Grande	DESA	67	300	20100	0,424	VTR	S.B. TIRAJANA	1996
P.E. Las Salinas del Matorral	GAMESA	3	850	2550	0,4	CA	S.B. TIRAJANA	2008/2012
P.E. La Florida-Juliano Bonny	GAMESA	1	850	850	0,4	CA	S.B. TIRAJANA	2011
P.E. Aguatona	VESTAS	2	100	200	0,318	VTR	INGENIO	1992
P.E. Lomo Ramírez-Muescanarias	ENERCON	1	330	330	0,377	CA	INGENIO	2008
P.E. C. de Contro Canarias AENA	MADE	1	660	660	0,397	CA	TELDE	2003
P.E. Montaña Pelada	MADE	7	660	4620	0,397	CA	GALDAR	2001
P.E. Cueva Blanca	MADE	4	330	1320	0,467	VTR	AGAETE	1997
Aerogenerador La Aldea	VESTAS	1	225	225	0,393	VTR	LA ALDEA DE SN	1996
<b>TOTAL</b>		<b>205</b>		<b>80640</b>				

Fuente: ITER.

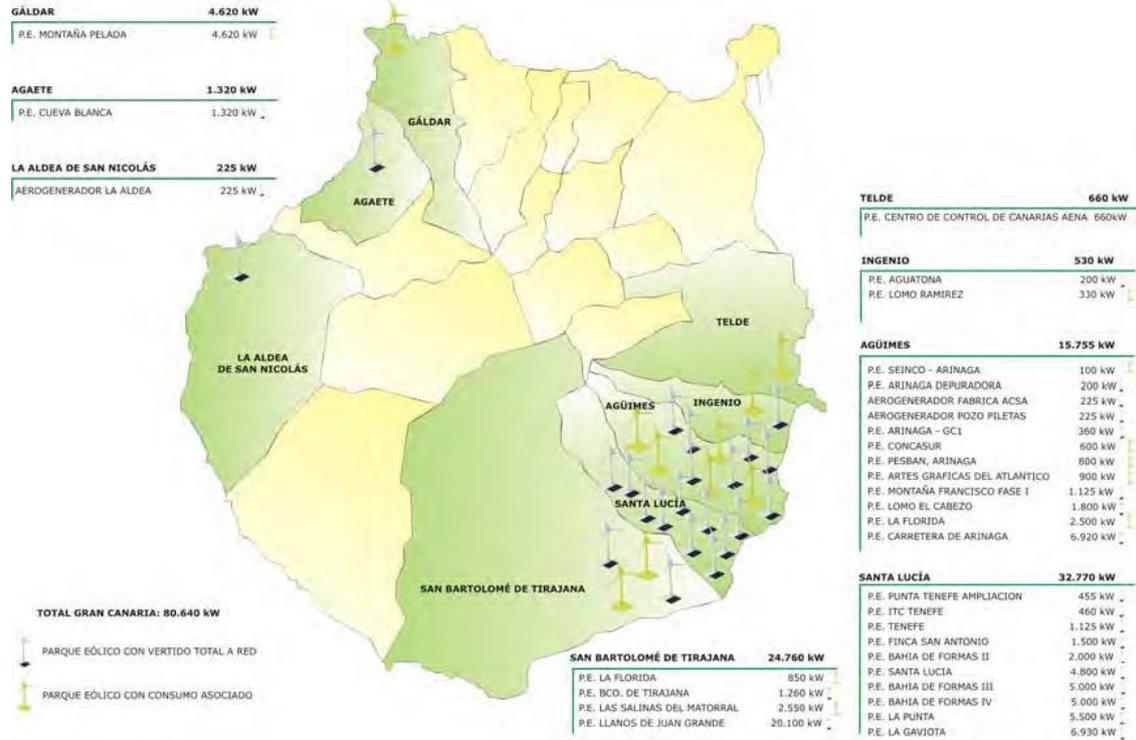
## DESCRIPCIÓN DE LOS PARQUES EÓLICOS (CONTINUACIÓN)

TENERIFE								
Aerogenerador MADE 150 ITER	MADE	1	150	150	0,477	VTR	GRANADILLA ABONA	1990
Aerogenerador MADE 300 ITER	MADE	1	300	300	0,565	VTR	GRANADILLA ABONA	1992
PE ITER General	ECOTECNIA	1	150	1680	0,401	VTR	GRANADILLA ABONA	1994
P Experimental - ECYRL	VESTAS	1	200					
	ENERCON	1	330					
	ENERCON	2	500					
PE Granadilla	MADE	8	600	4800	0,361	VTR	GRANADILLA ABONA	1997
PE Granadilla II	ENERCON	11	500	5500	0,392	VTR	GRANADILLA ABONA BUENAVISTA DEL	1998
PE Punta Teno	MADE	6	300	1800	0,467	VTR	NORTE	2001
PE Finca de Mogán	MADE	51	300	10500	0,457	VTR	ARICO	1998
		2	600	6000	0,457	VTR	ARICO	2001
PE Llanos de la Esquina	GAMESA	7	850	5950	0,4	VTR	ARICO	2004
<b>TOTAL</b>		<b>92</b>		<b>36680</b>				
LANZAROTE								
P.E. Montaña la Mina	VESTAS	5	225	1125	0,393	VTR	S.BARTOLOMÉ	1992
P.E. Los Valles I y II	GAMESA	9	850	7650	0,4	VTR	TEGUISE	1993/2006
<b>TOTAL</b>		<b>14</b>		<b>8775</b>				
FUERTEVENTURA								
P.E. Cañada de la Barca ACSA	VESTAS	5	225	1125	0,393	VTR	PÁJARA	1992
P.E. Cañada del Río	MADE	27	300/180	10260	0,45	VTR	PÁJARA	1994
	GAMESA	2	850	1700	0,4	CA	LA OLIVA	2011
<b>TOTAL</b>		<b>52</b>		<b>13085</b>				
LA PALMA								
P.E. Garafía - Juan Adalid	ENERCON	2	800	1600	0,442	VTR	GARAFÍA	1994/2012
P.E. Fuencaliente	ENERCON	3	900	2250	0,414	VTR	FUENCALIENTE	1998/2012
P.E. Aeropuerto La Palma	MADE	2	660	1320	0,415	CA	VILLA DE MAZO	2003
P.E. Manchas Blancas	IZAR BONUS	3	600	1800	0,395	VTR	VILLA DE MAZO	2003
<b>TOTAL</b>		<b>10</b>		<b>6970</b>				
LA GOMERA								
P.E. de Epina	MADE	2	180	360	0,433	VTR	VALLEHERMOSO	1996
<b>TOTAL</b>		<b>2</b>		<b>360</b>				
EL HIERRO								
P.E. Montaña San Juan	VESTAS	1	100	100	0,318	VTR	VALVERDE	1992
<b>TOTAL</b>		<b>1</b>		<b>100</b>				

Fuente: ITER.

## Anexo III. Distribución geográfica de los parques eólicos

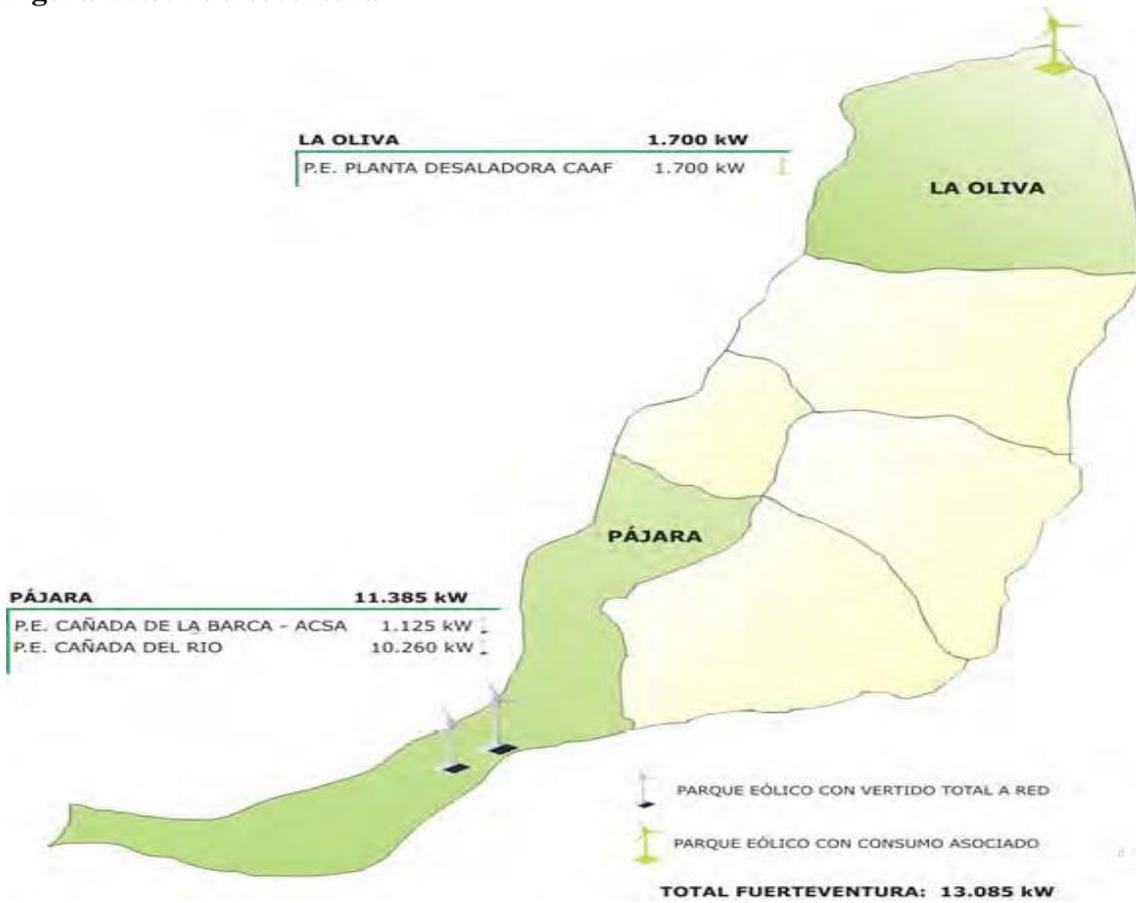
### Figura III.1. Gran Canaria



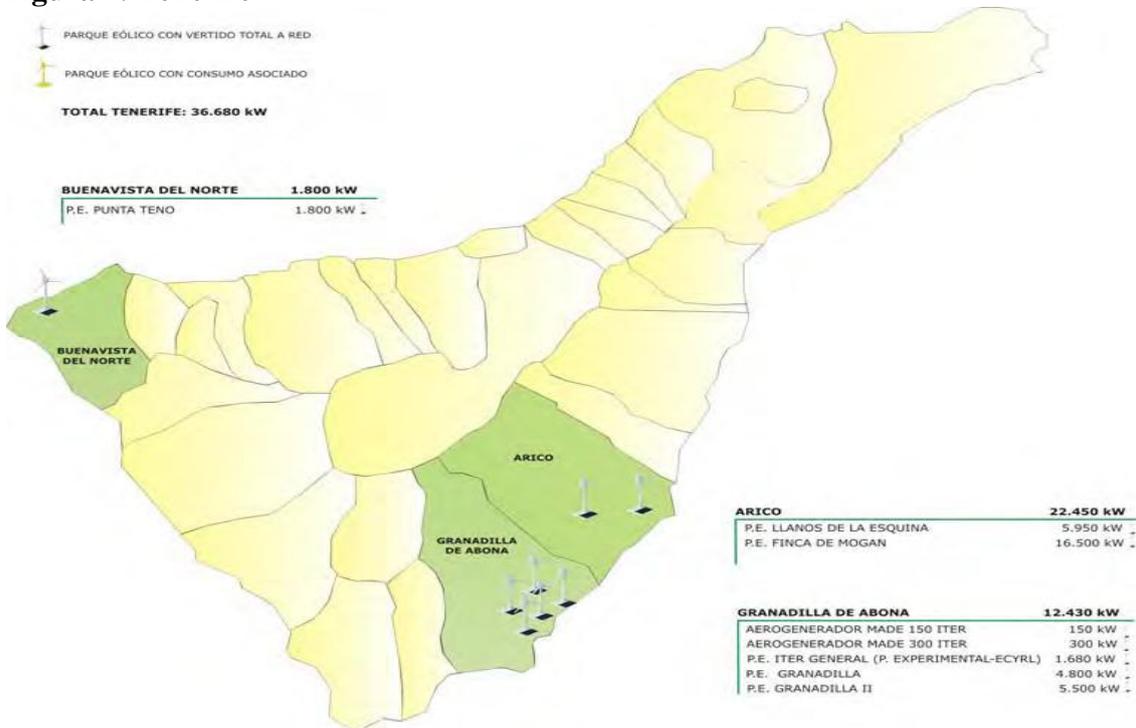
### Figura III.2. Lanzarote



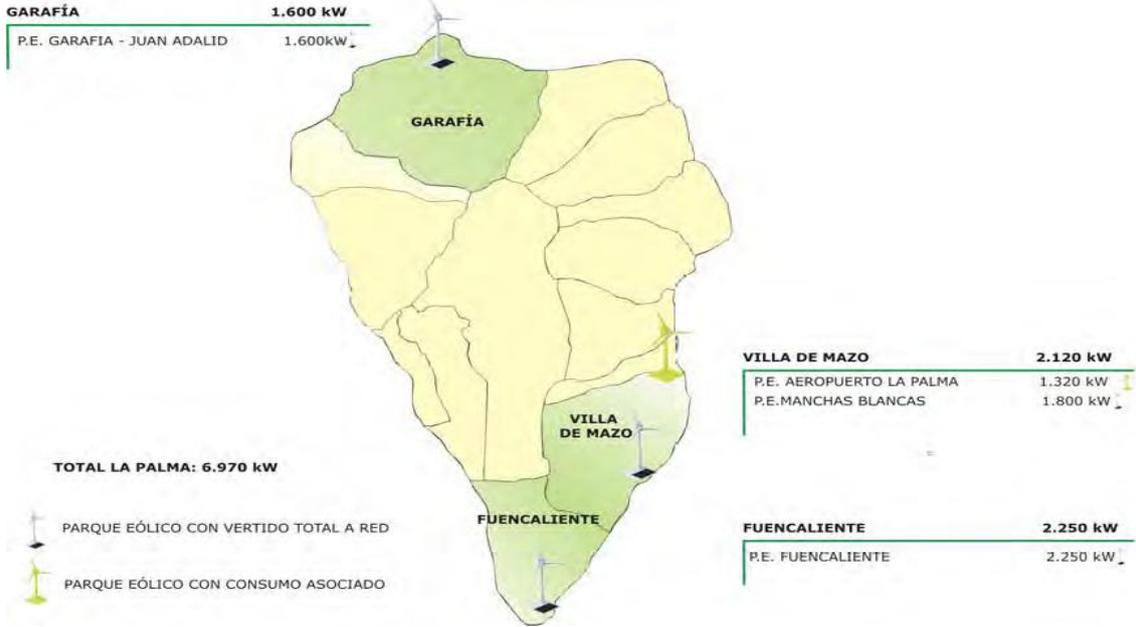
**Figura III.3. Fuerteventura**



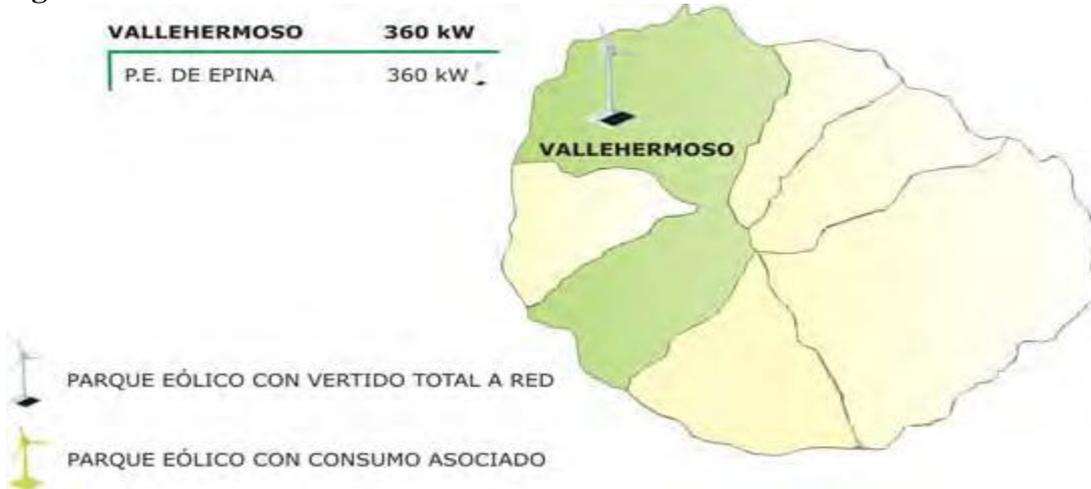
**Figura 4. Tenerife**



**Figura III.5. La Palma**



**Figura III.6. La Gomera**



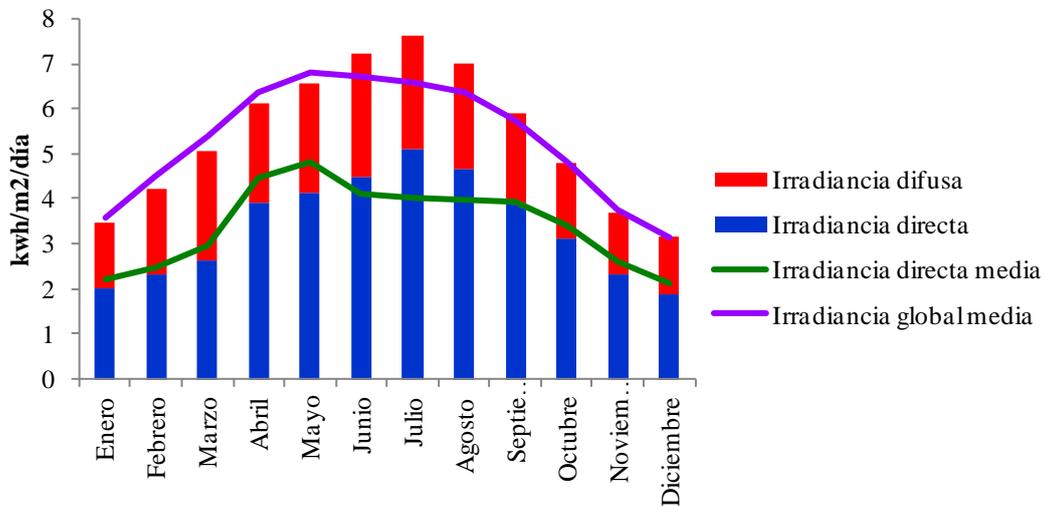
**Figura III.7. El Hierro**



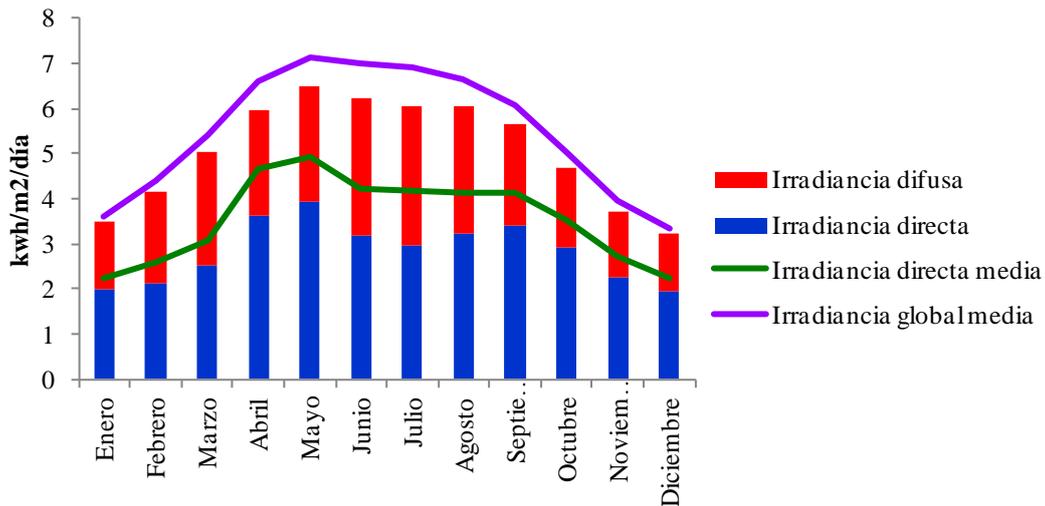
Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012. Consejería de Empleo, Industria y Comercio

## Anexo IV. Irradiancias Global, Directa y Difusa en las capitales de provincia (1983-2005)

Santa Cruz de Tenerife



Las Palmas de Gran Canaria



Fuente: Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT.

## Anexo V. Distribución geográfica de las centrales minihidráulicas

Figura V.1. Tenerife

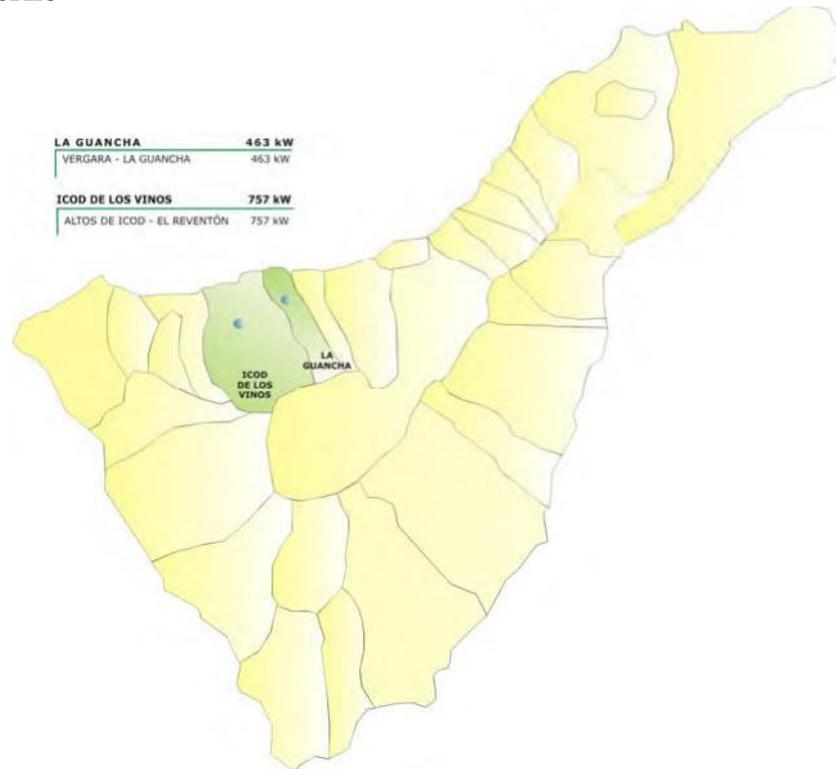
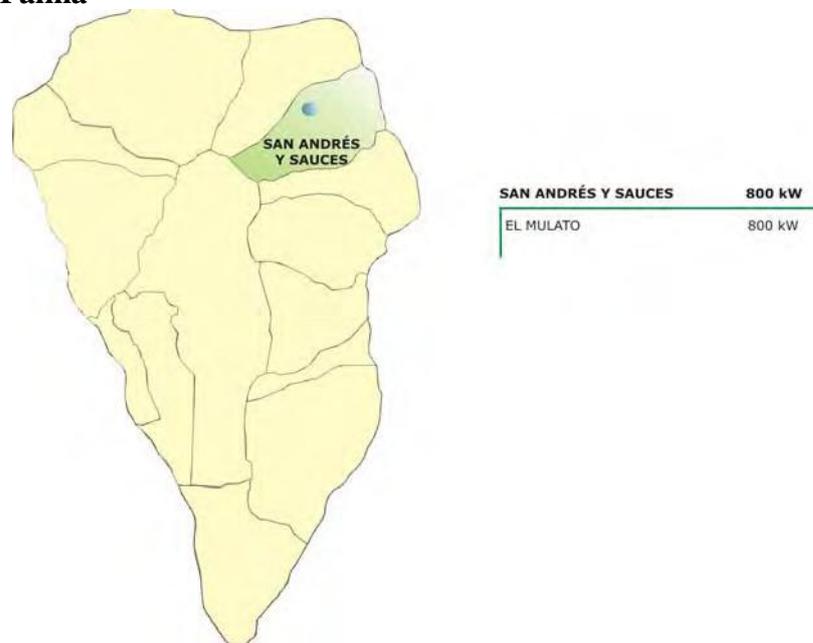


Figura V.2. La Palma



Fuente: Anuario Energético de Canarias 2012. Consejería de Empleo, Industria y Comercio