



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería Mecánica

**Impacto de las tecnologías de energías
renovables en la UVa para la
descarbonización ambiental**

Autor:

Saldaña Mínguez, Pablo

Tutores:

Rey Martínez, Fco. Javier

IEF Máquinas y Motores Térmicos

González González, Segio Lorenzo

**Oficina de Calidad Ambiental y
Sostenibilidad**

Valladolid, julio 2020.

A mis padres, por ser mi gran pilar
A mis amigos, por estar a mi lado siempre
A C.P., por su apoyo incondicional

RESUMEN

El cambio climático, asociado con los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera, representa en la actualidad una problemática de carácter global, y son muchos los organismos nacionales e internacionales que buscan una solución. El uso de las energías renovables es una de las alternativas más factibles para reducir las emisiones de estos gases, en particular del dióxido de carbono.

Este trabajo se centra en el impacto que tiene en el medio ambiente la utilización de fuentes de energía renovables por parte de la Universidad de Valladolid, en el contexto de la descarbonización ambiental. Con este fin se enumeran y describen las diferentes tecnologías renovables implantadas en la UVa, para posteriormente realizar un análisis del peso de las energías renovables en el consumo energético y en las emisiones de dióxido de carbono de la Universidad.

PALABRAS CLAVE: Energías renovables, impacto ambiental, descarbonización, dióxido de carbono, consumo de energía.

ABSTRACT

Climate change, associated with the presence of greenhouse effect gases in the atmosphere, represents nowadays a global problematic, and there are many international and national organisations searching for a solution. The use of renewable energies is one of the most feasible alternatives in order to reduce the emission of these gases, particularly carbon dioxide.

This Project is focused on the impact that the usage of renewable energy sources by the University of Valladolid has on the environment, in the context of environmental decarbonization. In order to do this, the different renewable technologies installed in the UVa are listed and described, to later analyze the impact that renewable energies have on the energetic consumption and carbon dioxide emissions of the University.

KEYWORDS: Renewable energies, environmental impact, decarbonization, carbon dioxide, energy consumption.

ÍNDICE

Introducción y objetivos	viii
Capítulo 1: Calentamiento global y políticas ambientales	1
1.1 La problemática del cambio climático en la actualidad.....	3
1.2 Objetivos de la ONU en cuanto a desarrollo sostenible y energías renovables.....	7
1.2.1 Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.....	7
1.2.2 Conferencia de París.....	8
1.2.3 COP25.....	9
1.2.4 Objetivos de desarrollo sostenible.....	9
1.3. Políticas de descarbonización de la Unión Europea.....	11
1.3.1 Acuerdo 20-20-20.....	11
1.3.2 Green Deal.....	12
1.4 Políticas de descarbonización en España.....	14
1.5 Política ambiental y de sostenibilidad de la Universidad de Valladolid..	16
Capítulo 2: Energías renovables en la UVa	19
2.1 Energía solar térmica.....	21
2.1.1 Descripción.....	21
2.1.2 Implantación en la UVa.....	24
2.2 Energía solar fotovoltaica.....	26
2.2.1 Descripción.....	26
2.2.2 Implantación en la UVa.....	29
2.3 Biomasa.....	31
2.3.1 Descripción.....	31
2.3.2 Implantación en la UVa.....	33

2.4 Bomba de calor.....	34
2.4.1 Descripción.....	34
2.4.2 Implantación en la UVa.....	37
2.5 Climatización geotérmica.....	38
2.5.1 Descripción.....	38
2.5.2 Implantación en la UVa.....	40
Capítulo 3: Datos y análisis energético.....	41
3.1 Estudio desglosado de las tecnologías.....	43
3.1.1 Energía solar térmica.....	44
3.1.2 Energía solar fotovoltaica.....	47
3.1.3 Biomasa.....	51
3.1.4 Bomba de calor.....	52
3.1.5 Geotermia de aire.....	57
3.2 Estudio global de consumos y emisiones.....	59
3.2.1 Consumo de energía final.....	59
3.2.2 Consumo energético primario.....	67
3.2.3 Emisiones de dióxido de carbono.....	72
Capítulo 4: Conclusiones.....	75
Bibliografía y referencias.....	79
Anexos.....	85

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

El presente Trabajo Fin de Grado realiza un estudio acerca del grado de implantación, eficiencia e impacto que tiene el uso de las energías renovables en el consumo energético y las emisiones de dióxido de carbono de la Universidad de Valladolid.

Para ello, primero se darán unas ideas generales del concepto y la problemática del cambio climático, así como de las diferentes medidas y políticas adoptadas por organismos nacionales e internacionales, incluyendo la propia UVA, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para evitar su agravamiento.

Posteriormente, se realizará una descripción e inventario de las diferentes tecnologías de energías renovables implantadas en los cuatro campus de la Universidad de Valladolid.

A continuación, se realizará un análisis de los datos de consumos energéticos en la Universidad, diferenciando energía renovable de no renovable, para finalmente proceder a evaluar las emisiones de dióxido de carbono y en qué grado el uso de energías renovables ayuda a reducir estas emisiones.

Por tanto, los objetivos principales de este trabajo son los siguientes:

- Describir brevemente en qué consisten el cambio climático, el efecto invernadero y cómo influye en ellos el reducir las emisiones de dióxido de carbono.
- Enumerar las principales medidas y políticas adoptadas con respecto al cambio climático y a la emisión de gases de efecto invernadero.
- Describir el funcionamiento de las tecnologías de energías renovables implantadas en la UVA, así como su grado de implantación en la Universidad.
- Recopilar y analizar los datos de consumo energético de la UVA, evaluando el peso que representan en él las energías renovables.
- Calcular las cantidades de dióxido de carbono que la UVA emite anualmente a la atmósfera, y realizar una estimación acerca de la reducción que implica el uso de energías renovables en estos niveles de emisión.

Capítulo 1: Calentamiento global y políticas ambientales

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

1.1 LA PROBLEMÁTICA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ACTUALIDAD.

El **cambio climático** se puede definir como la variación del estado del sistema climático, el cual engloba a la atmósfera, a la hidrosfera y a la biosfera, entre otras. Puede, por tanto, afectar a los valores meteorológicos medios, así como a su variabilidad y a sus extremos. A lo largo de la historia de nuestro planeta, han tenido lugar numerosos cambios climáticos, siendo el más reciente la finalización del período glaciario, hace aproximadamente 10000 años.

No obstante, hasta la actualidad, estos cambios climáticos han sido originados por causas naturales (actividad volcánica, deriva continental, etc.) y de carácter más o menos abrupto, durando varios miles e incluso millones de años. En esto residen las diferencias con el cambio climático que está teniendo lugar en la actualidad: por un lado, es **antropogénico**, es decir, está originado por la acción del ser humano; y por otro, está transcurriendo a un ritmo comparativamente mucho más rápido que los anteriores, en el plazo de décadas, lo que hace difícil tanto para la naturaleza como para las sociedades humanas la adaptación a la nueva situación.

El consenso científico internacional es que las emisiones por parte del ser humano como consecuencia de la actividad industrial de gases de efecto invernadero a la atmósfera está provocando un cambio en la temperatura media terrestre, conocido como **calentamiento global**.

El **dióxido de carbono** es el principal causante de este efecto invernadero. Este es un fenómeno que ocurre a escala global, consistente en la absorción en la atmósfera de parte de la energía radiante emitida desde la superficie terrestre.

Esto se debe a que a la Tierra llega energía desde el Sol en un amplio espectro de radiación. Parte de ella es absorbida en la atmósfera antes de llegar a la superficie. Por ejemplo, la capa de ozono absorbe entre un 97% y un 99% de la radiación ultravioleta de baja frecuencia. Otra parte es reflejada al espacio por la atmósfera y las nubes que hay en ella, pero la mayor parte de la radiación solar en frecuencias de luz visible logra alcanzar la superficie del planeta.

Una vez esto ocurre, esta se calienta. El aumento de su temperatura hace que emita radiación en el espectro infrarrojo, que de no existir la atmósfera escaparía al espacio. No obstante, lo que ocurre es que esta radiación es absorbida y reemitida por los llamados gases de efecto invernadero, ocurriendo lo contrario que con la luz visible: mientras que eran “permeables” para la longitud de onda de aquella, con las frecuencias de radiación infrarroja tienen un comportamiento opuesto. Algunos de estos gases son el vapor de agua, el dióxido de carbono o el metano.

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

De este modo, parte de esa energía radiante no logra escapar de la atmósfera (otra porción sí que consigue ser emitida hacia el espacio), lo que repercute en un **aumento de la temperatura media** a la que se encuentra la superficie terrestre.

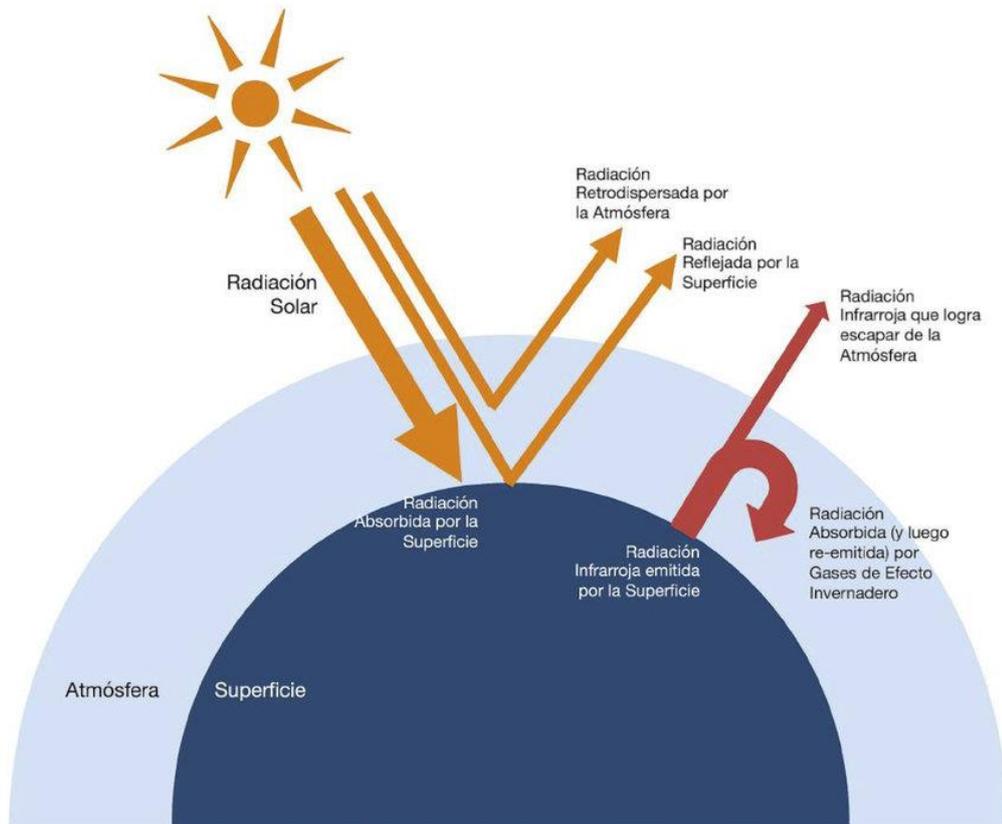


Figura 1.1: Esquema del funcionamiento del efecto invernadero. [1]

Cabe destacar que el efecto invernadero de por sí es un fenómeno natural en nuestro planeta, y que de por sí ha posibilitado el desarrollo de la vida como la conocemos en su superficie. Esto es así porque de no darse, se estima que la temperatura media de la superficie terrestre sería de unos -18°C , en comparación con los 14°C que realmente tiene.

A pesar de este dato, la causa de la problemática concerniente a este efecto se debe a que desde la época de la Revolución Industrial, los seres humanos hemos estado emitiendo grandes cantidades de gases de efecto invernadero (principalmente CO_2 proveniente de la combustión de combustibles fósiles). Esta emisión ha alterado los niveles en los que estos gases están presentes en la atmósfera, alterando su estado de equilibrio.

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

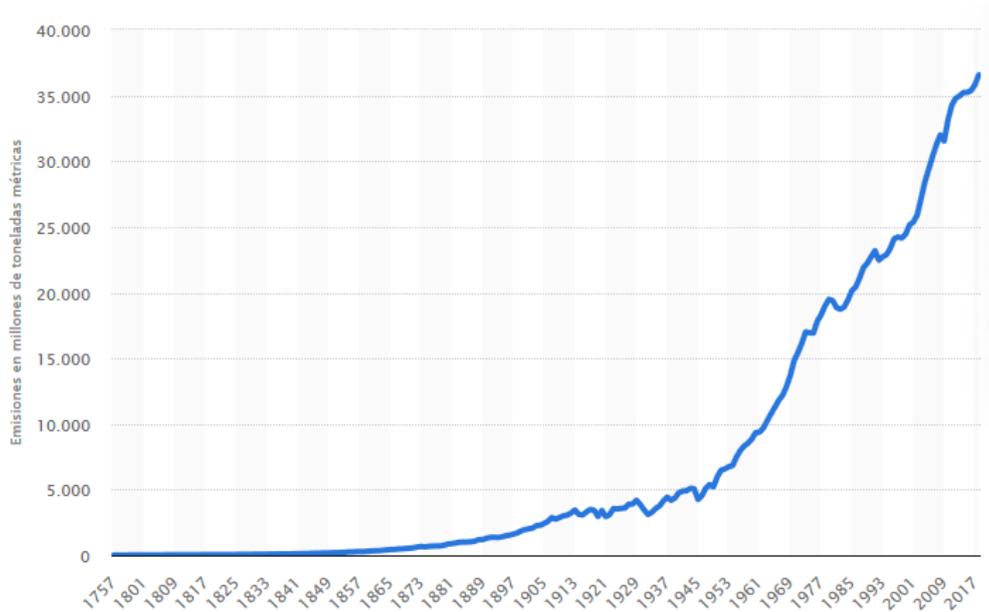


Figura 1.2: Evolución de las emisiones de CO2 frente a lo largo de la historia. [W12]

Como consecuencia, el balance energético de la Tierra se ha visto alterado: al haber más gases de efecto invernadero en la atmósfera, la cantidad de radiación que se retiene es mayor, lo que repercute en un aumento de la temperatura media de la superficie del planeta. Este fenómeno se conoce como “**Calentamiento global**”.

Se estima que las consecuencias de este proceso se darán a corto, medio y largo plazo, y que irán desde cambios a nivel local como eventos de importancia global, entre los que se encontrarán fenómenos climáticos extremos, aumento del nivel de los mares y océanos y extinción masiva de especies animales y vegetales.

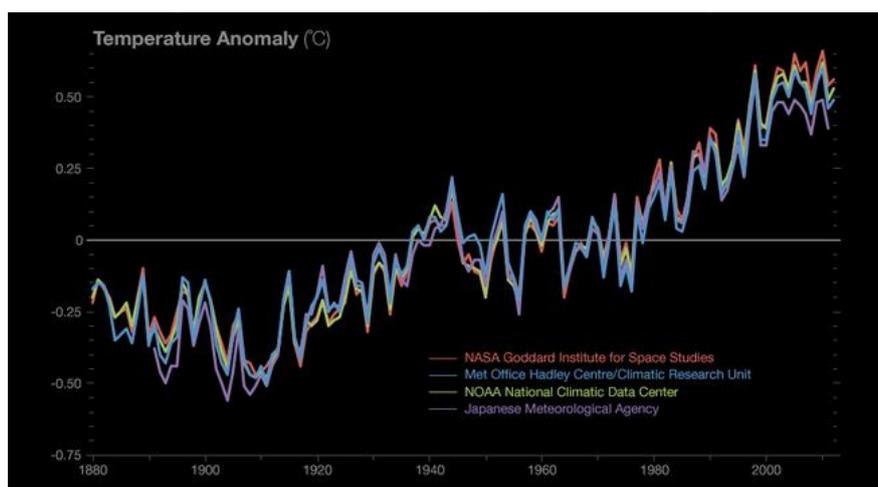


Figura 1.3: aumento de la temperatura en la superficie terrestre. [W1]

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

Es por todo esto que se ha alcanzado un cierto nivel de consenso internacional en cuanto a la problemática que supone, y se han buscado alternativas y soluciones para mitigar las consecuencias negativas que pueda tener a nivel mundial.

Uno de los principales focos se ha puesto en la búsqueda de fuentes alternativas de energía, entre las que se destacan las llamadas “**energías renovables**”. Este tipo de energía se caracteriza principalmente porque procede de depósitos o fuentes o bien inagotables, o bien que se rellenan a la misma velocidad a la que se consumen. Las fuentes donde se originan las energías renovables son el Sol, la gravedad, la rotación de la Tierra y el calor interno de la Tierra.

Aparte de la ventaja obvia que supone el aprovechamiento de un recurso que se puede explotar de forma indefinida en el tiempo, las energías renovables presentan otra característica, que las convierte en un pilar fundamental en la lucha contra el cambio climático: no emiten gases de efecto invernadero para generar energía. Por ello, el estudio y desarrollo de nuevos métodos de aprovechamiento de estas fuentes se ha incrementado en las últimas décadas, así como la inversión que se destina a su implantación y consolidación con vistas a que en el futuro vayan reemplazando a las fuentes tradicionales de generación de energía.

Dado que no emiten dióxido de carbono a consecuencia de su funcionamiento, son muchos los países y organismos que sugieren que el impulso de las energías renovables es una de las mejores opciones para lograr el objetivo de reducir las emisiones de CO₂, con el fin último de emitir el mínimo posible de este gas de efecto invernadero a la atmósfera. Esto es lo que se conoce como **descarbonización ambiental**.

1.2 OBJETIVOS DE LA ONU EN CUANTO A DESARROLLO SOSTENIBLE Y ENERGÍAS RENOVABLES

1.2.1 CONVENCIÓN MARCO DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO

La Organización de las Naciones Unidas (ONU) lleva varias décadas destinando recursos a la lucha contra el cambio climático.

El compromiso de las Naciones Unidas quedó materializado en el año 1994, cuando entró en vigor la **Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)**, de la que en la actualidad todos los estados miembros de las Naciones Unidas ya forman parte.

Los países miembros tomaron diferentes grados de participación, dependiendo fundamentalmente de su grado de desarrollo y estatus económico. No obstante, todos comparten el objetivo común de controlar la emisión de gases de efecto invernadero para limitar los efectos del cambio climático, sirviendo esta Convención como un medio de coordinación y negociación intergubernamental. Fruto de este trabajo conjunto, se han ido celebrando en los últimos años diferentes cumbres y convenciones.

En el año 1995 se elaboró el “**Protocolo de Kioto**”, con la finalidad de que los estados se comprometieran a reducir en un 5% a nivel global las emisiones de 6 tipos de gases de efecto invernadero a la atmósfera, en los años 2008 a 2012, con respecto a los niveles de emisiones de 1990. Estos gases son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), y otros tres gases de los llamados industriales fluorados: los hidrofluorocarbonos (HFC), los perfluorocarbonos (PFC), y el hexafluoruro de azufre (SF₆).

No todos los estados miembro firmaron y ratificaron el acuerdo, y el escaso cumplimiento de las cotas fijadas hizo necesaria la celebración de nuevas cumbres y acuerdos.

1.2.2 CONFERENCIA DE PARÍS

El siguiente de estos acuerdos fue alcanzado en la **Conferencia de París sobre el Clima (COP21)**, que se celebró en diciembre de 2015. Entonces, los gobiernos acordaron los siguientes puntos:

- Fijar a largo plazo el objetivo de aumentar mucho menos de 2°C la temperatura media global, respecto a los valores preindustriales.
- Limitar dicho aumento de la temperatura a un máximo de 1,5°C, con el fin de mitigar en gran medida los efectos adversos que pueda acarrear el cambio climático.
- Que el máximo de emisiones globales de gases de efecto invernadero sea alcanzado cuanto antes. No obstante, se reconoce que en los países en desarrollo esto podría conllevar más tiempo.
- Aplicar tras este máximo drásticas reducciones lo antes posible, basándose en los mejores criterios científicos disponibles.

Además de todo esto, los diferentes países acordaron también la realización de nuevas cumbres cada cinco años para estudiar el progreso y fijar nuevos objetivos. También se decidió que los estados informaran a la ciudadanía y entre ellos de los avances conseguidos, todo desde una perspectiva de transparencia y colaboración.

Como parte de este enfoque de transparencia, se estipuló que aunque cada país tomaría las medidas que considerase oportunas para cumplir los acuerdos, las diferentes naciones elaborarían las llamadas “**Contribuciones determinadas a nivel nacional**”, o NDC, por sus siglas en inglés. En ellas quedarían reflejadas las pautas y esfuerzos a seguir por cada nación para lograr los objetivos de los acuerdos, y deberían presentarse al resto de estados miembros.

1.2.3 COP25

El siguiente hito en la lucha contra el cambio climático tuvo lugar con la “**Vigesimoquinta Conferencia de las Partes**” (COP25), que se celebró en diciembre de 2019 en Madrid, y a la que asistieron representantes de 200 países de todo el mundo.

El propósito de esta cumbre fue evaluar la eficacia de las medidas tomadas en los últimos años por los países miembros, así como fijar la hoja de ruta a seguir en los próximos cinco años para conseguir alcanzar los objetivos fijados en la cumbre de París, principalmente el de limitar el ascenso de la temperatura media del planeta en el futuro.

Aunque sobre la mesa había medidas concretas para limitar la emisión de gases de efecto invernadero y referentes a otras cuestiones ambientales, finalmente la cumbre se cerró alcanzando un acuerdo entre los países para continuar adoptando medidas según el criterio de cada nación, reforzar las acciones y renovar al alza las expectativas y medidas de cara a la siguiente cumbre.

1.2.4 OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

El 25 de septiembre de 2015, los líderes mundiales adoptaron una serie de objetivos globales para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar la prosperidad como parte de una nueva agenda de desarrollo sostenible: los “**objetivos de desarrollo sostenible**”. Siendo un total de 17 objetivos, cada uno tiene unas metas específicas que deben alcanzarse en los próximos 15 años, mediante la participación tanto de gobiernos como del sector privado y la sociedad civil.

De entre todos estos objetivos, hay 3 que están estrechamente ligados con la eficiencia energética y el cambio climático:

- **Objetivo nº7: Energía asequible y no contaminante.** Este punto se centra en garantizar un suministro a nivel global de energía que se obtenga cada vez en mayor medida a partir de fuentes renovables. Algunas de las metas de este objetivo son:
 - 7.2 De aquí a 2030, aumentar considerablemente la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas.
 - 7.3 De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética.
 - 7.a De aquí a 2030, aumentar la cooperación internacional para fomentar la investigación y tecnología relativas a energía limpia, eficiencia energética y

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

tecnologías menos contaminantes de combustibles fósiles, promoviendo la inversión en infraestructura energética y tecnologías limpias.

- **Objetivo nº11: Ciudades y comunidades sostenibles.** Este objetivo pone el foco en las ciudades y en el propósito de lograr que sean sostenibles, ya que en el 2015 cerca de 4000 millones de personas vivían en ellas, y la previsión es que para 2030 esta cifra aumente hasta los 5000 millones. Por ello, algunas de sus metas son:
 - 11.6 De aquí a 2030, reducir el impacto ambiental negativo per cápita de las ciudades.
 - 11.b Aumentar considerablemente el número de ciudades y asentamientos humanos que adoptan e implementan políticas y planes integrados para promover el uso eficiente de los recursos y la mitigación del cambio climático.

- **Objetivo nº13: Acción por el clima.** En este punto, se destaca la gravedad del problema que supone el cambio climático, y se hace hincapié en la necesidad de trabajar y cooperar internacionalmente para lograr cumplir los objetivos fijados en el Acuerdo de París para reducir las emisiones y poder limitar el aumento de la temperatura media global. Algunas de sus metas más importantes son:
 - 13.2 Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales.
 - 13.3 Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana.
 - 13.a Cumplir el compromiso de los países desarrollados que son partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático de lograr el movilizar 100.000 millones de dólares anuales de forma conjunta con el fin de atender las necesidades de los países en desarrollo respecto de la adopción de medidas concretas en su mitigación y la transparencia de su aplicación.

1.3 POLÍTICAS DE DESCARBONIZACIÓN DE LA UNIÓN EUROPEA

1.3.1 ACUERDO 20-20-20

Por su parte, los países de la Unión Europea han adoptado también medidas a nivel comunitario e internacional, fijando acuerdos vinculantes entre los estados miembros con el fin de evolucionar hacia un modelo energético más eficiente y menos contaminante, que apueste por reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las resoluciones más importantes tomadas al respecto fue el llamado “**Acuerdo 20-20-20**”: un paquete de medidas de legislación vinculante que se adoptó en el año 2009, con vistas a que sus objetivos prioritarios fueran alcanzados con fecha límite en el año 2020. Estos objetivos son los siguientes:

- Reducir en un 20% la emisión de gases de efecto invernadero en la Unión Europea, en relación a los niveles de 1990.
- Aumentar hasta el 20% el uso de energías renovables.
- Mejorar la eficiencia energética en un 20%.

Para poner en marcha el plan de reducción de emisiones, se estableció un instrumento principal para controlarlas: el “**Régimen de comercio de derechos de emisión**”, o **RCDE**.

Este régimen supone la implantación de un sistema de limitación de emisiones a las empresas más contaminantes: centrales eléctricas, grandes plantas industriales y compañías aéreas, mediante la concesión o venta a estas empresas de derechos de emisión de determinadas cantidades de gases de efecto invernadero. Los gases que se contemplan son el dióxido de carbono (CO₂), el óxido nitroso (N₂O) y los perfluorocarbonos (PFC).

De esta forma, cada empresa puede comprar o vender derechos de emisión. Al final de cada año, se comprueba cuál ha sido la cuantía de las emisiones de cada empresa, y si superan el máximo que les corresponde según los derechos de emisión adquiridos, se les imponen fuertes sanciones. Y si, por el contrario, han logrado reducir sus emisiones, pueden conservar sus derechos con vistas a futuras necesidades, o bien venderlos a otra empresa que no tenga los suficientes.

Con ello, se logra que se reduzcan emisiones donde resulte económicamente más barato y rentable, y además que se invierta en energías limpias.

Este plan está orientado a ser implantado en **diversas fases consecutivas**, de manera que se puedan ir incluyendo más sectores y gases sobre los que se aplica, e ir reduciendo paulatinamente el límite máximo de emisiones totales cada año, entre otras medidas.

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

En total, actualmente se están regulando de esta manera en torno al 45% del total de emisiones de gases de efecto invernadero en la Unión Europea, en unas 11000 instalaciones de generación de energía y sectores industriales.

Mediante el RCDE y otras medidas, la Unión Europea va camino de alcanzar sus objetivos para el 2020:

- Se han logrado reducir las emisiones en un 23% entre 1990 y 2016, al tiempo que en ese mismo lapso de tiempo la economía crecía un 53%.
- Las emisiones disminuyeron un 0,7% en el año 2016, mientras que el PIB creció un 1,9%.

1.3.2 GREEN DEAL

En diciembre de 2019 se presentó en la Comisión Europea el **Green Deal, o el Pacto Verde de la UE**. Se trata de un plan que incluye cincuenta acciones concretas para la lucha contra el cambio climático, teniendo el objetivo último de convertir a Europa en el primer continente **climáticamente neutro para el año 2050**.

Con este pacto se pretende transformar la economía de la UE en una que sea plenamente sostenible. Para ello, y con el fin de garantizar una transición justa y paritaria en todos los países de la Unión, se va a crear un fondo de transición justa destinado a las regiones más dependientes de los combustibles fósiles que podrá abarcar hasta 100.000 millones de euros.

Algunos de los principales puntos de actuación en el ámbito de la energía y el cambio climático son los siguientes:

- **Energía limpia:** dado que la producción y el uso de energía representan más del 75% de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE, se pone el foco en revisar la legislación pertinente y en modificar los planes nacionales de energía y clima, con el fin de lograr una reducción del 50 al 55% de las emisiones para el 2030 y las cero emisiones netas de gases de efecto invernadero para el 2050.
- **Renovación y construcción eficiente:** dado que los edificios consumen el 40% de energía de la UE, adquiere especial relevancia el incentivar la mejora en la eficiencia energética de los edificios. Para ello, se aplicarán estrictamente normas acerca de esta eficiencia, y se procurará que los precios de las distintas fuentes de energía la incentiven.
- **Industria sostenible:** la industria representa el 20% de las emisiones de la Unión Europea. Por este motivo, se pretende modernizarla e incentivar la reutilización y reciclaje de materiales, así como la

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

descarbonización de los sectores de gran consumo de energía, como el del acero y el cemento. En concreto, la Comisión hará una propuesta para apoyar la fabricación de acero sin emisiones de carbono para el año 2030.

Con todo ello, la Unión Europea está dando pasos hacia neutralidad climática, marcando una hoja de ruta que otros países y continentes puedan tomar como referencia para limitar los efectos del cambio climático.

1.4 POLÍTICAS DE DESCARBONIZACION EN ESPAÑA

En España, se están dando también pasos hacia un modelo energético que ponga el foco en las energías renovables, como una alternativa limpia y autosuficiente frente a la situación energética actual del país. Todo ello enmarcado en las pautas dadas y compromisos adquiridos a nivel internacional con las metas fijadas por el COP25 y también por la Unión Europea, cuya normativa y legislación ambiental llevan ya años implantadas en la nación.

A tal efecto, en España se creó en el año 2018 el **Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO)**, entre cuyas funciones está la propuesta y ejecución de la política del Gobierno en materia climática, de energía y medio ambiente. Este ministerio elaboró el **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC)**, en el que se establece como meta en materia de descarbonización un aumento de la cuota de energía procedente de fuentes renovables del 18% para el año 2022, del 43% en el 2025 y del 65% en el 2027.

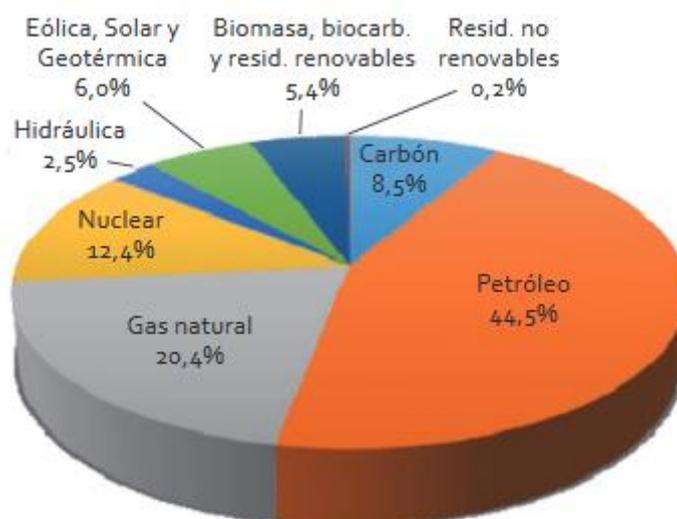


Figura 1.4: Consumo de energía primaria en España en 2016 (Gobierno de España; Ministerio de energía, turismo y agenda digital; secretaría de estado de energía: “La Energía en España en 2016”) [14]

Con todo esto en mente el MITECO elaboró el anteproyecto de la “**Ley de Cambio Climático y Transición Energética**”, cuyo proceso de tramitación ya está en marcha, y que establecerá la ruta a seguir por España en los próximos años para lograr un cambio de paradigma en el sector energético y ambiental del país. El

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

anteproyecto presenta, entre otros, los siguientes puntos en lo referido a cambio climático, energía y descarbonización ambiental:

- Ampliar el porcentaje de los Presupuestos Generales del Estado que se destinen a los objetivos en materia de cambio climático y transición energética, siendo en todo casos superiores en un 20% respecto a la cantidad que ha venido destinando hasta la actualidad.
- Actualizar el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima, para establecer una senda de descarbonización coherente con los objetivos fijados por la Unión Europea en la próxima década. Se prevé para ello poder alcanzar una reducción de las emisiones de entre un 50 y un 55% para 2030, con vistas a seguir progresando y lograr alcanzar la neutralidad en carbono no más tarde de 2050.

También figura como meta importante para 2030 el generar el 70% de la electricidad a partir de fuentes renovables, siendo ya para el 2050 del 100%.

- Se pretende también fomentar la implantación de energías renovables, convocando desde el 2021 subastas para impulsar la construcción de instalaciones de renovables por una potencia total de al menos 3000 MW.

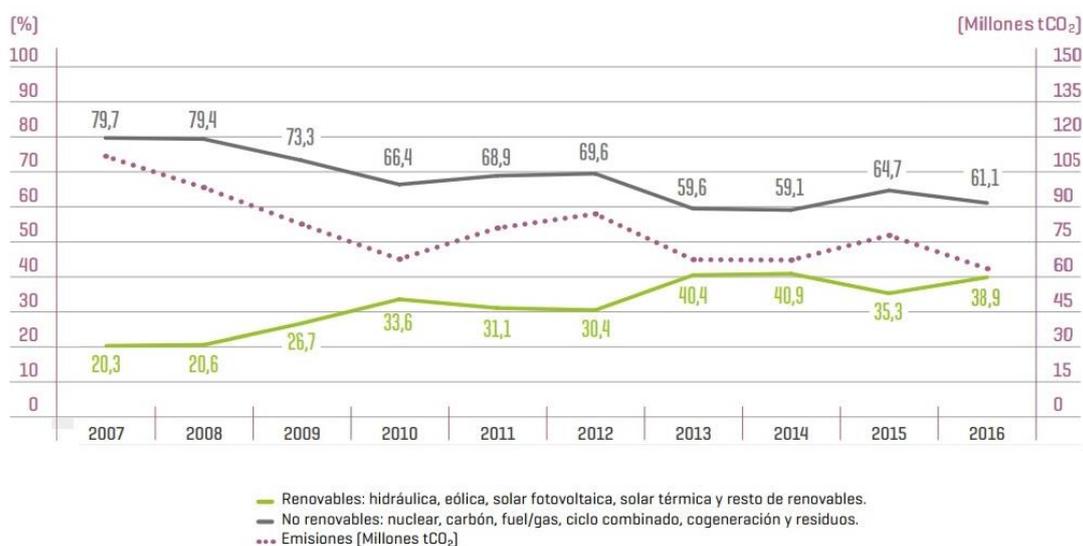


Figura 1.5: Evolución de la generación de energía eléctrica por renovables y no renovables en España, y emisiones de CO₂ asociadas a ella. [W2]

1.5 POLÍTICA AMBIENTAL Y DE SOSTENIBILIDAD DE LA UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

Desde la propia Universidad de Valladolid, también se han tomado medidas en lo que se refiera a sostenibilidad y medio ambiente. En sus propios estatutos se hace mención a este objetivo: artículo 3, apartado 1

(Título Preliminar, Disposiciones Generales, Capítulo I. Naturaleza y fines de la Universidad): “La Universidad de Valladolid, como expresión de su compromiso con la sociedad, está al servicio de su progreso intelectual y material y asume como valores inspiradores de su actividad la promoción de la paz y de la cooperación entre los pueblos, del desarrollo sostenible, y de la igualdad de géneros y oportunidades”.

Para ello, se elaboró el “**Plan de Calidad Ambiental de la Universidad de Valladolid**”, cuya meta es convertirse en un punto de referencia de la política ambiental universitaria, creando los instrumentos que permitan abordar todas las cuestiones que se plantee, teniendo en cuenta las necesidades y situación de los diferentes campus y centros.

Se pretende hacer de la Universidad de Valladolid un modelo que otras instituciones y organismos, tanto públicos como privados, puedan tomar como referencia. Para ello, se implantará el sistema necesario para llevar a cabo una política innovadora en cuanto a calidad ambiental en la universidad.

A tal efecto, se crean una serie de **agentes básicos** para la implantación y desarrollo del Plan:

- **Oficina de Calidad Ambiental**, que será el elemento vertebral del Plan de Calidad Ambiental, coordinando las tareas de ejecución y seguimiento de los protocolos derivados del Plan de Calidad Ambiental.
- **Comisión Técnica de Calidad Ambiental**, entre cuyas funciones destaca la elaboración de propuestas y desarrollo de actuaciones de carácter técnico.
- **Comisiones de Calidad Ambiental en los Centros**: que supervisarán el desarrollo de las actuaciones marcadas por el Plan, la Oficina de Calidad Ambiental y la Comisión Técnica en todas las materias que competan al centro.
- **Comité de Expertos**: formado por profesores de la UVa, que sean especialistas en las distintas áreas vinculadas a la gestión ambiental, y que asesorarán en todo momento sobre los procedimientos de desarrollo del Plan de Calidad Ambiental.
- **Foros de Calidad Ambiental**: servirán de complemento a los citados agentes, y serán creados por la Oficina de Calidad Ambiental para que representantes

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

de todos los ámbitos de la comunidad universitaria puedan participar con evaluaciones y sugerencias sobre el desarrollo de las actuaciones que se lleven a cabo.

En cuanto a los **contenidos referentes a la gestión energética** en la Universidad, figuran los siguientes:

- **Reducir el consumo de energía eléctrica** mediante la sustitución paulatina de las instalaciones presentes por luminarias que favorezcan el ahorro, instalación de sensores donde sea viable para reducir el consumo, y dar instrucciones de uso acerca del encendido y apagado.
- **Reducir el consumo de gas y gasóleo** con fines de calefacción, mediante la mejora, revisión y sustitución de las instalaciones, y un control centralizado de encendidos y apagados de calefacción para fomentar el ahorro.
- **Potenciar el uso de energías renovables** en los centros en que sea viable, poniendo especial atención en la producción de agua caliente.
- **Controlar los niveles de emisión** y la calidad del aire en los lugares en los que sea necesario.

Con ello, la Universidad de Valladolid pretende impulsar la **mejora de la eficiencia energética** en sus edificios, de manera que se reduzca así su consumo energético. Se pone también el foco en las **energías renovables**, ya sea ampliando y reforzando las ya instaladas y en funcionamiento, como la implantación de nuevas instalaciones y tecnologías que contribuyan al abastecimiento energético de los diferentes edificios y campus, de manera que se reduzca la demanda energética de la Universidad y se contribuya además a disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas con el desarrollo de su actividad.

Todo esto vendrá complementado con labores de información, sensibilización y formación, con el fin de que toda la comunidad universitaria sea partícipe en la mejora de la sostenibilidad de los campus.

Introducción: Calentamiento global y políticas ambientales

Capítulo 2: Energías renovables en la UVa

La Universidad de Valladolid, en concordancia con los objetivos y normativas fijados tanto por la Unión Europea como por el Gobierno de España, lleva años apostando por la implantación y uso de las energías renovables en sus instalaciones.

Evidentemente, dada tanto la situación geográfica de sus edificios como las propias características de demanda, el campo de posibilidades en cuanto a fuentes de energías renovables que se podrían incluir en su plan excluye algunas de estas, como hidráulica, mareomotriz, o eólica a gran escala.

No obstante, otras sí que están disponibles y han sido implantadas a pequeña y media escala de forma exitosa. A continuación se ofrece un listado de ellas, en el que se incluye una explicación del funcionamiento de cada una y su implantación en la Universidad de Valladolid (en la que se incluyen los campus de Valladolid, Soria, Palencia y Segovia).

2.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

2.1.1 DESCRIPCIÓN

El sol es una estrella que se encuentra a unos 150.000.000 km de la Tierra, y que está compuesta por un 78% de hidrógeno (de su masa total) y un 20% de helio (de su masa total). En su núcleo tienen lugar reacciones nucleares de fusión, que transforman el hidrógeno en helio, liberando una gran cantidad de energía en el proceso.

Esta energía es irradiada al espacio siguiendo un patrón esférico, y aunque a la Tierra solo le llegue una pequeña parte de toda la energía que se emite desde el sol, sigue siendo una gran cantidad de energía.

El aprovechamiento más directo que se puede hacer de la radiación solar que llega a la superficie terrestre se hace mediante **colectores solares**. Estos colectores son dispositivos que convierten la energía radiante en calor, a bajas temperaturas (<100 °C). Este calor se aprovecha en instalaciones de viviendas y otros edificios para calentar o precalentar el agua que se emplea en la calefacción de los espacios o de piscinas.

Existe otro tipo de aprovechamiento térmico directo de la energía solar, pero está limitado a las denominadas centrales solares térmicas, y no tiene aplicación en instalaciones de edificios y viviendas. Se emplean unos dispositivos denominados “concentradores de radiación”, para elevar la temperatura de un fluido hasta evaporarlo y de ese modo poder imprimir una rotación al eje de una turbina, que a su vez acciona un generador eléctrico, produciendo electricidad.

También se puede hacer uso de la energía solar térmica por medio de sistemas de **calefacción pasiva**. Para ello, se pretende que paredes, muros y cualquier otro elemento arquitectónico de un edificio sea capaz de absorber directamente la energía solar, de modo que reduzca o satisfaga totalmente las necesidades de calefacción del mismo.

Este último método se engloba en la llamada “**arquitectura bioclimática**”, que es una forma de edificar de modo que se haga un uso inteligente de las características climáticas de un lugar para hacer un uso mínimo de calefacción e iluminación artificiales. Esto se consigue adaptando la forma y orientación del edificio y sus espacios interiores, para favorecer este aprovechamiento y minimizar el gasto energético y por tanto la contaminación del edificio.

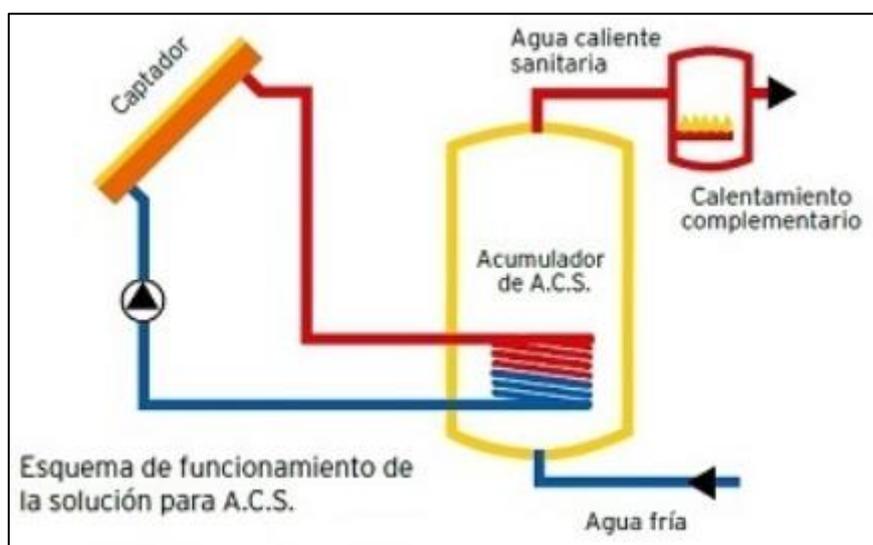


Figura 2.1: esquema del funcionamiento de una instalación de generación de ACS a partir de un colector solar. [W3]

El correcto diseño y dimensionamiento de este tipo de instalaciones es crítico, ya que son muchas las variables que influyen en el grado de aprovechamiento que se puede hacer de la energía solar radiante. Algunas de ellas son:

- **La demanda energética de agua caliente sanitaria (ACS);** vendrá dada por la cantidad estimada de agua que se consume, del calor específico del agua y de la diferencia de temperaturas que hay entre la de uso y la de suministro desde la red. Por ello, dependerá del mes considerado, ya que según el periodo del año la temperatura de suministro de la red irá variando, así como el consumo.
- **La demanda energética de calefacción:** en este caso es más complejo, porque deberán considerarse factores varios como las pérdidas de calor del local, el número de renovaciones de aire por hora, el volumen de aire del local, etc.

- **Demanda energética para calentamiento de piscinas:** esta es la aplicación óptima para el aprovechamiento de energía solar térmica, ya que la temperatura que se requiere en el agua para su uso (entre 24°C y 30°C) no supone una elevada demanda energética, por lo que se pueden emplear tecnologías de captación sencillas.
- **El aporte energético recibido:** en este caso, habrá que considerar la latitud terrestre en la que se ubique la instalación, la época del año y la inclinación del captador para poder estimar la energía que recibirá la superficie del colector.
- **El rendimiento de los equipos,** tanto del propio captador para aprovechar el máximo posible de la energía que le llega, como de las instalaciones por las que circule el agua caliente, ya que las pérdidas en ellas repercutirán negativamente en el grado de aprovechamiento de la energía.

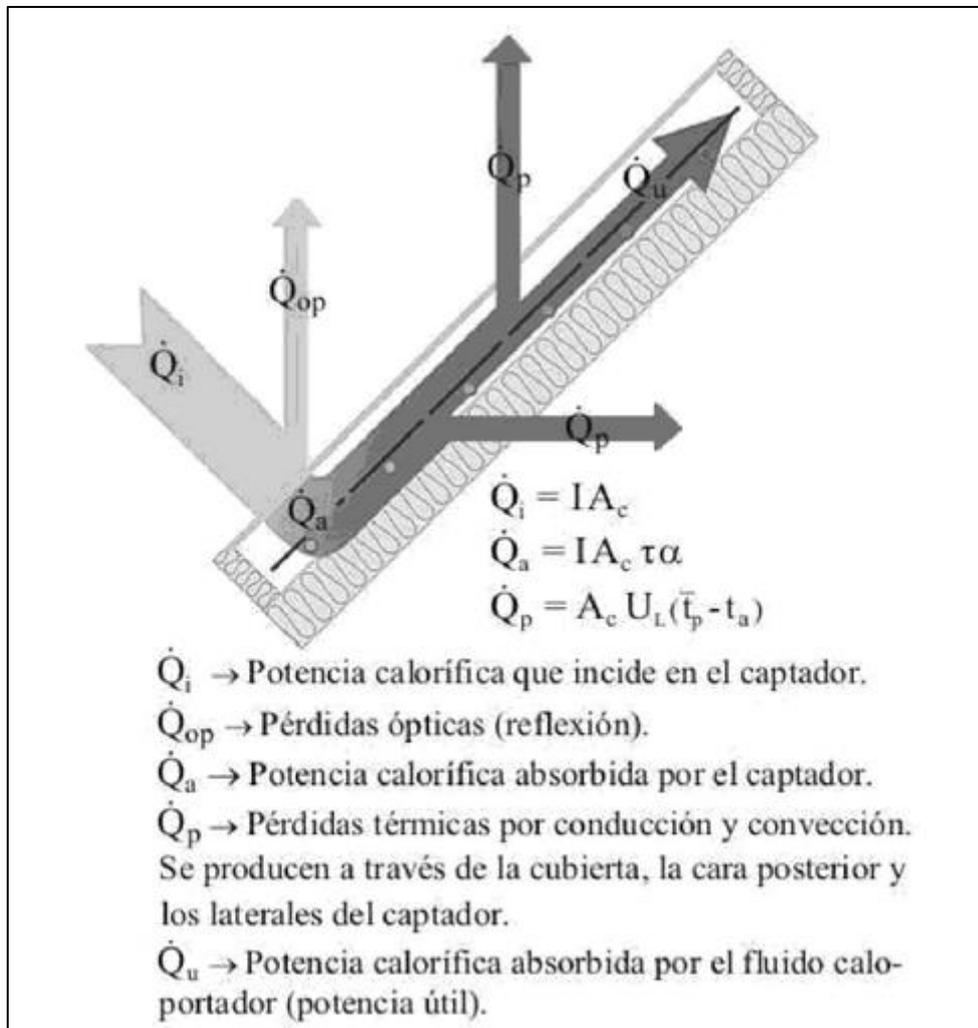


Figura 2.2: Balance energético de un captador solar plano. [9]

2.1.2 IMPLANTACIÓN EN LA UVa

Actualmente, en la Universidad de Valladolid hay dos edificios que cuentan con instalaciones de captadores solares térmicos:

- **Los Apartamentos Universitarios Cardenal Mendoza:** en este caso, se emplean captadores solares para calentar agua destinada a la producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS), por lo que se combinan con otros sistemas para lograr elevar la temperatura hasta la necesaria para el consumo. La energía captada por los colectores, por tanto, supone un ahorro frente a la que habría que aportar de otro modo si no se dispusiera de dicha instalación.



Figura 2.3: Apartamentos universitarios Cardenal Mendoza, en Valladolid [W4]

Energías renovables en la UVa

- **Las piscinas de Fuente la Mora**, pertenecientes al campus deportivo de la UVa.



Figura 2.4: instalación de paneles solares en el tejado de las piscinas de Fuente la Mora, en Valladolid [W5]

2.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

2.2.1 DESCRIPCIÓN

Otro modo de aprovechamiento de la energía solar es mediante la transformación de la energía radiante en energía eléctrica. Esto se consigue mediante la utilización de un dispositivo denominado **célula fotovoltaica**.

El principio de funcionamiento de estos dispositivos se basa en las propiedades de los llamados materiales **semiconductores**, siendo el silicio (Si) el más empleado en la actualidad. Este silicio es “**dopado**”: se le inyectan otros elementos o “impurezas” en pequeñas cantidades, que alteran su carga eléctrica neta.

De este modo, se le añade fósforo (P) para que en una zona el cristal de silicio tenga globalmente más cantidad de electrones y por tanto una carga negativa; y en otra zona se añade boro (B), para que tenga una menor cantidad de electrones (tenga “huecos”) y su carga global sea positiva.

En la zona de contacto de estas dos capas de material dopado, se crea la llamada “**región de agotamiento**”, en la cual los electrones sobrantes de una capa se combinan con los huecos de la otra, formando una zona intermedia de carga neutra. Esta unión positivo-negativo (p-n) crea ya de por sí un pequeño campo eléctrico en el material, pero no tiene lugar ninguna corriente eléctrica direccional al existir la región de agotamiento, que impide la libre circulación de los electrones.

Por otra parte, debemos considerar el **efecto fotovoltaico**. Este fenómeno fue descubierto en el siglo XIX por Becquerel, que constató que cuando un semiconductor es iluminado, experimenta un incremento en su conductividad. Esto se debe a que si los fotones que inciden sobre la superficie del semiconductor tienen la energía suficiente, son capaces de transferir dicha energía a los electrones de los orbitales enlazantes del semiconductor, liberándolos y formando pares electrón-hueco que se pueden mover libremente por el material.

Esto es lo que en las células fotovoltaicas ocurre en la región de agotamiento, de manera que en ella aparecen nuevos electrones y huecos que se pueden mover por el cristal. De este modo, y en presencia del campo ya existente p-n, los electrones se mueven de forma ordenada por el cristal, aumentando la concentración de electrones en la zona n y de huecos en la p, debido a los fenómenos de polaridad que existen en los límites de la región de agotamiento.

Así, si se cierra el circuito añadiendo un conductor que una los dos extremos p y n, los electrones circularán a través de él, produciendo una **corriente eléctrica continua**. Esta puede ser empleada directamente o bien transformada por medio de un inversor en corriente alterna, cuyo voltaje posteriormente puede elevarse para suministrar energía eléctrica a través de redes de alta tensión a grandes distancias.

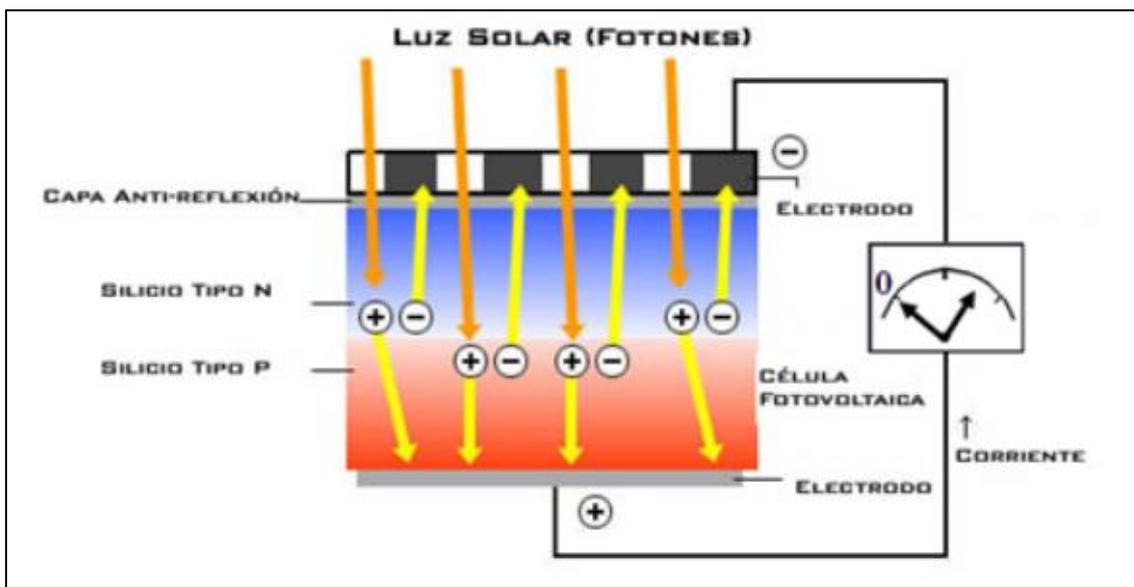


Figura 2.5: Funcionamiento de una célula fotovoltaica. [W6]

La eficiencia de los sistemas fotovoltaicos es variable, dependiendo de muchos factores. En general, se puede aprovechar un 45% de la radiación solar que llega a la superficie terrestre, la correspondiente a las longitudes de onda capaces de transferir su energía a los electrones del semiconductor con los efectos deseados.

Además influyen los materiales con los que se fabrica la célula fotovoltaica, las condiciones atmosféricas, la época del año, la latitud terrestre, o la orientación de la placa solar con respecto al sol, entre otros.

Originalmente, la aplicación de este tipo de dispositivos estaba limitada a la industria espacial, como fuente de energía a largo plazo para satélites y telescopios en la órbita terrestre.

Con el paso del tiempo, el abaratamiento de los costes de producción de las células solares fue disminuyendo, lo que favoreció su implantación en zonas geográficamente aisladas como forma de suministro energético sin necesidad de conexión a la red eléctrica, o para accionar otros dispositivos como boyas náuticas, balizas o bombas de agua.

Actualmente, la implantación de esta tecnología está en un aumento creciente, y se emplea tanto en edificios para el suministro de electricidad a sus ocupantes como en grandes instalaciones solares, que suministran potencia del orden de megavatios a la red eléctrica nacional de muchos países.

El coste de operación de estas instalaciones alcanzó recientemente la paridad con el de aprovechamiento de fuentes no renovables como los combustibles fósiles, y en algunos casos incluso inferior, lo que cada vez más las está convirtiendo en una alternativa viable y limpia a las formas tradicionales de generación de energía como el carbón y el gas.

Energías renovables en la UVa

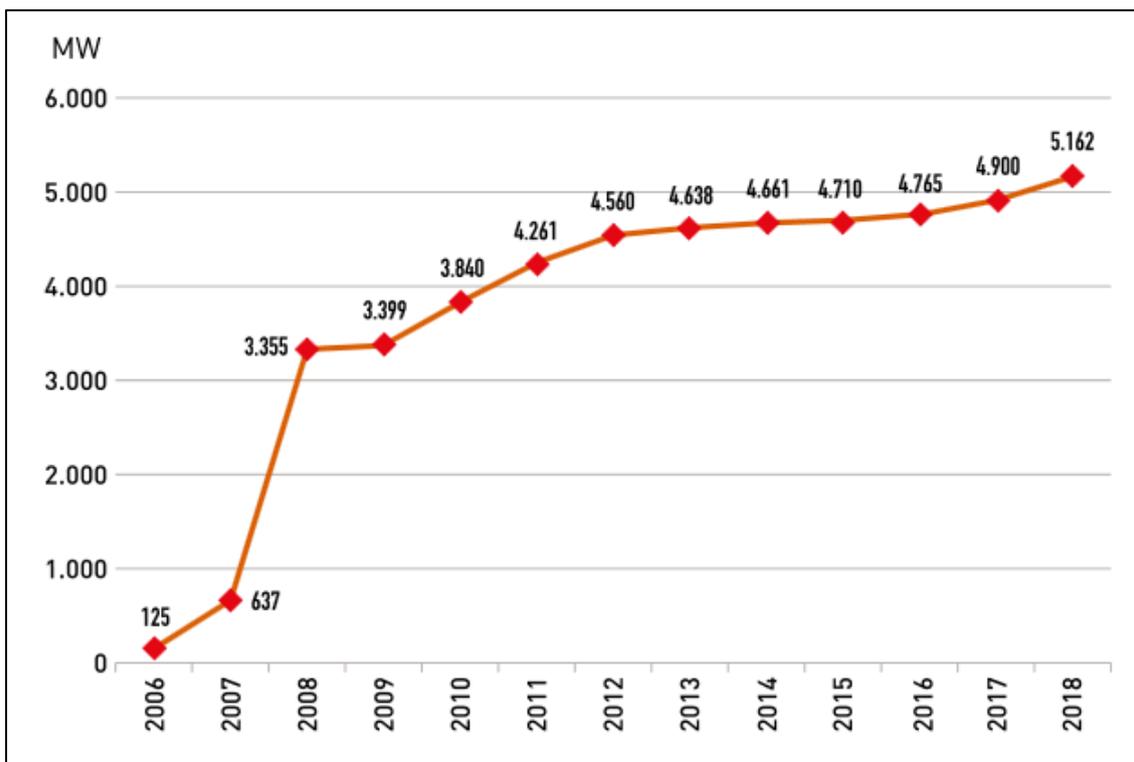


Figura 2.6: Potencia solar fotovoltaica acumulada en España en el periodo 2006-2018 [W7]

2.2.2 IMPLANTACIÓN EN LA UVa

Actualmente, la Universidad de Valladolid tiene implantadas y en funcionamiento instalaciones de paneles solares con células fotovoltaicas en los siguientes edificios:

- **Edificio Lucía**, en el Campus Miguel Delibes de Valladolid.



Figura 2.7: Edificio Lucía, en Valladolid. Se puede observar la instalación de paneles fotovoltaicos en la fachada del edificio. [W8]

- En el **Campus la Yutera**, en Palencia.



Figura 2.8: Campus la Yutera de Palencia. Se pueden observar los paneles fotovoltaicos en el tejado del edificio principal [W9]

- **Aulario IndUva**, en Valladolid, que cuenta con una instalación en la fachada sur-este del edificio.



Figura 2.9: Vista de la fachada con paneles fotovoltaicos del Aulario IndUVA de Valladolid [W10]

- **Aulario Esgueva**, en el Campus del Río Esgueva en Valladolid.



Figura 2.10: Aulario Esgueva, en Valladolid. [W15]

2.3 BIOMASA

2.3.1 DESCRIPCIÓN

La biomasa es la **materia orgánica** originada en un proceso biológico que resulta aprovechable como fuente energética. La biomasa se viene utilizando desde hace milenios como fuente de energía, por ejemplo quemando leña en estufas para cocinar y calentar las viviendas o bien usando aceite como combustible para lámparas.

Cuando se habla de biomasa se hace referencia a la energía almacenada biológicamente de forma reciente, ya que técnicamente los propios combustibles fósiles como el carbón son biomasa que ha sido “procesada” naturalmente durante millones de años.

El proceso por el cual la Naturaleza almacena energía en forma de biomasa es la **fotosíntesis**. Este consiste en una serie de reacciones químicas, mediante las cuales las plantas emplean la energía radiante que les llega del Sol para procesar las sustancias y nutrientes que extraen del suelo, junto con dióxido de carbono que absorben de la atmósfera, y transformarlos en hidratos de carbono, grasas, proteínas, etc.

De este modo, las sustancias que resultan del proceso fotosintético almacenan la energía que se origina en el sol en los **enlaces químicos**, de manera que de forma neta el contenido energético de los productos finales es mayor que el de los iniciales (esencialmente agua y dióxido de carbono).

Así, el material resultante del proceso de fotosíntesis se puede aprovechar con fines energéticos, bien mediante una combustión directa o bien sometándolo a otros procesos destinados a obtener sustancias de diferentes características o mayor densidad energética (entendiéndose esta como la cantidad de energía contenida por unidad de masa de combustible), que puedan ser aprovechadas en aplicaciones o instalaciones más específicas.

Resulta importante tener en cuenta que el fin último de la obtención y procesado de biomasa es su **combustión** para aprovechar la energía almacenada en sus enlaces químicos. Durante este proceso de combustión se libera a la atmósfera dióxido de carbono, lo que podría parecer contradictorio con el carácter renovable de esta fuente de energía. No obstante, esto no es así; la biomasa se puede considerar una fuente de energía renovable, siempre que su obtención se realice de forma renovable y sostenible. La razón de esto es que la combustión de la biomasa libera la misma cantidad de CO₂ que fue extraído de la atmósfera por el proceso fotosintético, de modo que, en conjunto, se considera que el **proceso es neutro** en cuanto al balance de CO₂ atmosférico.

Energías renovables en la UVa

Esta es una de las principales ventajas a considerar en cuanto a la biomasa como alternativa frente a fuentes de energía no renovables. Además, si considera por ejemplo el uso del terreno para cultivos destinados a biomasa frente a la instalación de placas solares (dejando de lado las diferencias en cuanto a coste económico de ambas alternativas), se debe considerar que aunque la biomasa reporte una menor eficiencia de aprovechamiento de la energía solar, sí que se puede almacenar para un consumo posterior, a diferencia de lo que ocurre con la energía eléctrica.

Como contrapartida a las ventajas que ofrece la biomasa, se debe tener en cuenta que la combustión de algunos materiales como la madera puede generar partículas sólidas y contaminantes sulfurados o nitrogenados; además, requiere una seria evaluación del impacto social y económico que puede conllevar el fomentar el consumo de biomasa en el aprovechamiento del terreno para el cultivo con fines alimentarios, la tala de bosques nativos, etc.

2.3.2 IMPLANTACIÓN EN LA Uva

En la Universidad de Valladolid hay dos instalaciones que emplean biomasa en su funcionamiento:

- **District Heating de Valladolid**, o Red Urbana de Calefacción y Agua Caliente Sanitaria. Se trata de un circuito de tuberías que conducen agua caliente para su aprovechamiento en los edificios del Campus Universitario Miguel Delibes, al Campus Universitario Río Esgueva y a los edificios públicos de la Junta de Castilla y León correspondientes a los departamentos de Sanidad y Deportes. El agua se calienta en una planta térmica de biomasa situada en el Campus Miguel Delibes, que emplea astilla de madera como combustible.

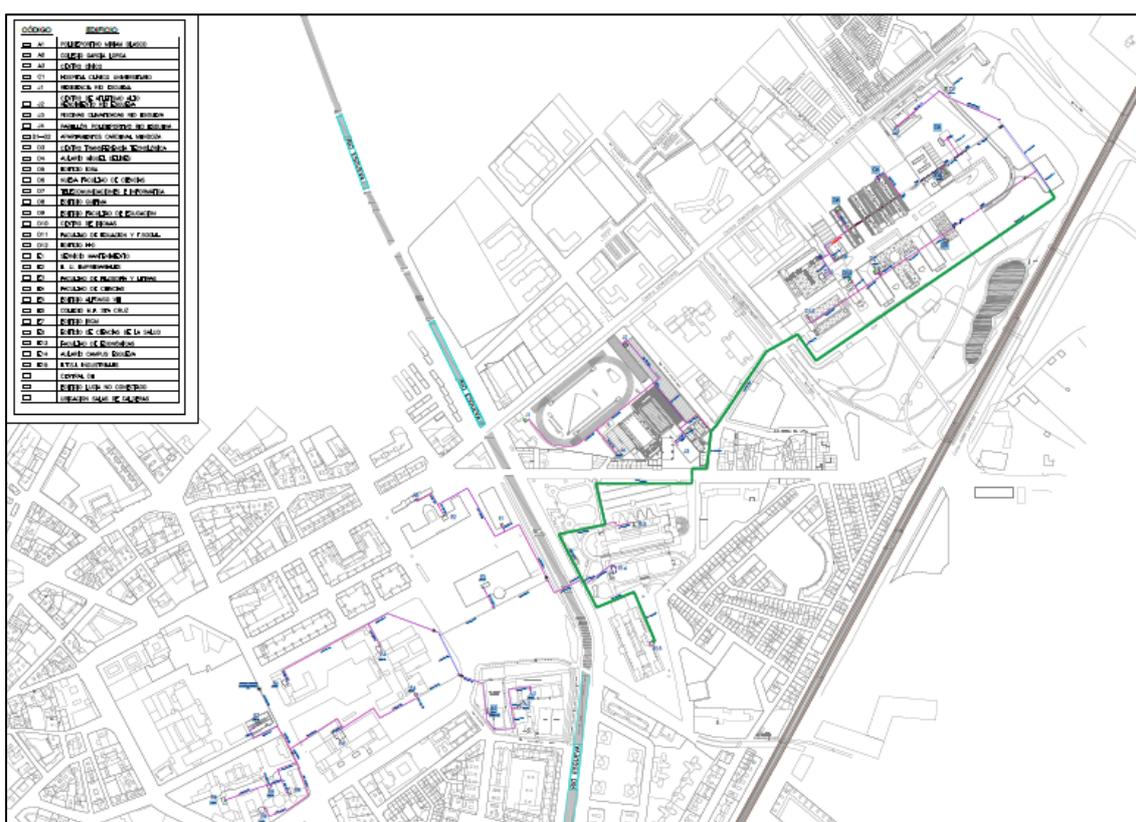


Figura 2.11: Plano de la red de calor de Valladolid. [11]

- En el **Campus Duques de Soria**, en Soria, donde se emplea biomasa como combustible para el circuito de calefacción del Campus.

2.4 BOMBA DE CALOR

2.4.1 DESCRIPCIÓN

Una bomba de calor es una **máquina térmica** que, mediante el accionamiento de un compresor por medio de un trabajo externo, puede transferir energía en forma de calor desde una fuente a baja temperatura hacia una fuente a alta temperatura, haciendo circular un fluido compresible por un circuito de forma cíclica. De este modo, se está operando de forma inversa a lo que ocurriría de forma natural: el calor se transferiría del foco caliente al foco frío.

El trabajo que se aporta al compresor, generalmente, viene en forma de energía eléctrica suministrada por la red. El empleo de esta electricidad en bomba de calor es más eficiente que si se usara directamente para una calefacción eléctrica convencional (emisión de calor por efecto Joule); tanto que para la misma tasa de consumo de energía eléctrica, una bomba de calor puede suministrar del orden de tres a cuatro veces más energía en forma de calor que la mencionada calefacción eléctrica tradicional.

Un sistema de climatización mediante bomba de calor consta de cuatro elementos básicos para su funcionamiento:

- **El compresor:** es el encargado de bombear el fluido refrigerante por el circuito, a costa del consumo de energía eléctrica. Cuando el refrigerante en estado gaseoso pasa por él, se comprime al elevarse su presión, y se envía al condensador.
- **Condensador:** es el elemento que se ubica allí donde esté el foco caliente. Al llegar a él el fluido a alta presión y alta temperatura del compresor, emite calor al foco.
- **Válvula de expansión:** es un elemento que se ubica entre el condensador y el evaporador. Al pasar por él, el refrigerante procedente del condensador puede expandirse y pasar al evaporador.
- **Evaporador:** se ubica en el foco frío. El refrigerante llega a él procedente de la válvula de expansión, y se evapora, absorbiendo calor del foco frío al perder presión y ganar volumen. Tras esto, el fluido vuelve a pasar al compresor, completando el ciclo.

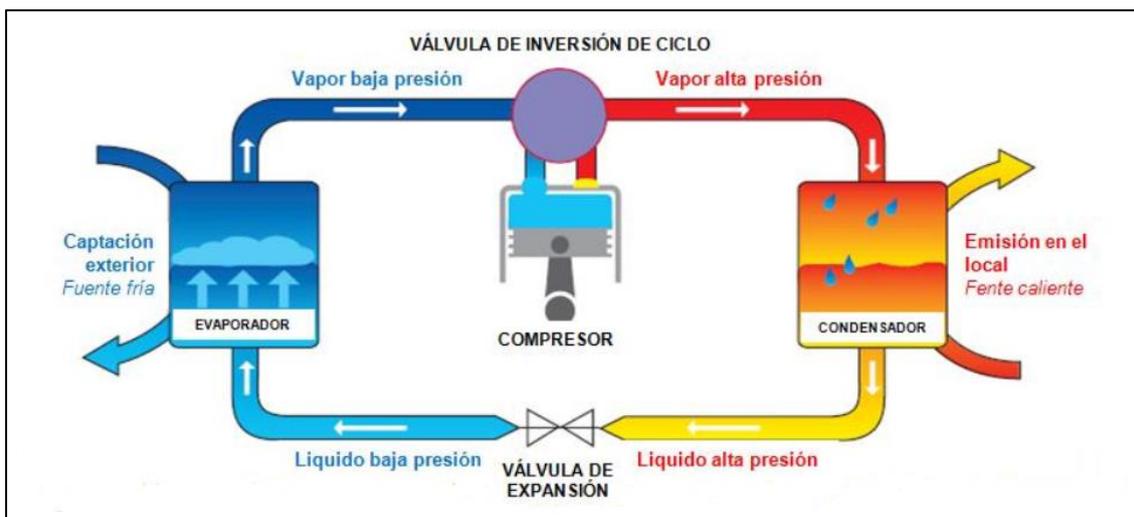


Figura 2.12: esquema de funcionamiento de una bomba de calor [W11]

Este ciclo por sí mismo siempre operaría entre los mismos focos “físicos”, como ocurre por ejemplo en un frigorífico doméstico. Pero si se desea implantar un sistema de climatización que funcione con bomba de calor durante todo el año, resulta deseable poder invertir la situación del evaporador y condensador con respecto a los focos, de manera que en invierno se pueda emitir calor al interior de la vivienda para calentarla y en verano se pueda absorber calor del interior para enfriarla. Para esto, se puede colocar una **válvula de cuatro vías** en el ciclo, de forma que se pueda alternar su sentido. Se tiene entonces una bomba de calor reversible.

La bomba de calor puede ser considerada como energía renovable, según lo establecido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo en el documento “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” (Febrero 2014). Este documento establece, en función de la zona climática donde se instala el equipo (zonas definidas en el Código Técnico de la Edificación), de la fuente energética que emplea la bomba de calor y la temperatura de distribución, el COP mínimo que debe tener la bomba de calor para poder ser considerada como energía renovable.

Energías renovables en la UVa

Fuente Energética de la bomba de calor	COP mínimo para calefacción a 35°C				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica Equipos centralizados	2,88	3,11	3,11	3,34	3,34
Energía Aerotérmica Equipos individuales tipo split	3,79	3,67	3,67	3,92	3,92
Energía Hidrotérmica	2,53	2,61	2,71	2,91	3,11
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales	2,39	2,47	2,58	2,77	2,95
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales	2,01	2,03	2,12	2,25	2,42
Energía Geotérmica de circuito abierto	1,91	1,93	2,03	2,14	2,30

Figura 2.13: COP mínimo para considerar la bomba de calor como renovable [3]

El COP, o coeficiente de prestaciones, es un índice del rendimiento que tiene la bomba de calor. Para los cálculos se emplea el COP medio estacional (también llamado SPF), que difiere del COP ideal y del COP de un ciclo Rankine en que se tienen en cuenta las variaciones de la temperatura a lo largo del año, así como energías adicionales que se requieren para el funcionamiento (pérdidas en el motor eléctrico, aportaciones extras de calor...).

Queda establecido también que únicamente el aire exterior en bombas de intercambio aire-aire puede ser la fuente energética de una bomba de calor con aire como fuente caliente, por lo que las bombas que únicamente trabajan con fines de refrigeración no pueden ser consideradas como renovables.

$$COP_{\text{medio estacional, refrigeración}} = \frac{Q_F}{W+W_r}$$

$$COP_{\text{medio estacional, calefacción}} = \frac{Q_C}{W+W_r}$$

2.4.2 IMPLANTACIÓN EN LA UVa

En la Universidad de Valladolid hay instaladas bombas de calor en prácticamente todos los edificios, siendo todas ellas bombas de **intercambio aire-aire**. En función de las diversas marcas y modelos instaladas, unas son consideradas como renovables y otras no. En estas últimas también se incluyen aquellas que, por ser únicamente de refrigeración, no pueden ser consideradas como renovables.



Figura 2.14: bomba de calor colocada en el tejado del Campus La Yutera, en Palencia [W14]

2.5 CLIMATIZACIÓN GEOTÉRMICA

2.5.1 DESCRIPCIÓN

La **energía geotérmica** es una energía renovable que se obtiene aprovechando el calor procedente del interior de la Tierra. Este calor tiene su origen en el núcleo interno terrestre, donde la temperatura alcanza valores de más de 4000°C. Desde ahí, se transmite por conducción al núcleo externo, que le rodea, y de ahí al manto y a la corteza por mecanismos de difusión y convección de magma fundido. Se pone así de manifiesto la existencia de un gradiente térmico desde el interior hacia el exterior de la Tierra.

En determinados casos, es posible aprovechar las altas temperaturas que se dan en el subsuelo para evaporar agua y generar electricidad haciendo pasar el vapor por una turbina; pero esto se limita a unas áreas geográficas y ubicaciones concretas, denominadas **zonas geotérmicas de alta entalpía**

En otras zonas, llamadas **áreas geotérmicas de media entalpía**, es posible perforar el suelo hasta alcanzar una capa con temperaturas entre 40 y 80°C, lo que aunque no permite su aprovechamiento para la generación de electricidad, sí que se pueden utilizar estos recursos térmicos con fines de calefacción y de producción de agua caliente sanitaria, entre otras aplicaciones.

En el resto de la superficie terrestre se dan las **zonas geotérmicas de baja entalpía**. En estas áreas, no es posible extraer energía del subsuelo a precios competitivos, y las aplicaciones geotérmicas tienen una orientación distinta: la climatización geotérmica.

La **climatización geotérmica**, como su nombre indica, es un sistema bien de calefacción, bien de refrigeración, que aprovecha la gran inercia térmica del subsuelo con el fin de climatizar un local o edificio. Esto se puede hacer de dos maneras:

- **Empleando una bomba de calor:** la climatización mediante bombas de calor se hace, convencionalmente, mediante un intercambio aire interior- aire exterior. Esto presenta un inconveniente, y es que cuanto mayor sea la diferencia de temperaturas de los focos térmicos (caliente y frío - interior y exterior) peor es la eficiencia del sistema. Así, en los meses de verano y de invierno, cuando mayor es la diferencia térmica entre interior y exterior y más necesaria es la climatización, menor será la eficiencia, y por lo tanto mayor el consumo energético para la climatización.

Este problema ha encontrado una solución en el campo de la climatización geotérmica: se sigue empleando una bomba de calor para la climatización del interior del edificio, pero en vez de intercambiar calor con el exterior, se intercambia con el subsuelo, mediante unas perforaciones practicadas en él. Esto presenta la ventaja fundamental de que a partir de unos pocos metros

de profundidad, la temperatura del subsuelo se mantiene prácticamente constante a lo largo de todo el año (entre 7 y 16°C, en función de la latitud geográfica), lo que permite emplear este subsuelo como fuente o sumidero de calor (en función de la estación del año), mejorando la eficiencia del sistema al no darse en él unas temperaturas tan extremas como las que se pueden dar en el aire exterior.

- **Sin bomba de calor:** esta forma de aprovechamiento tiene su fundamento en la ya mencionada estabilidad de la temperatura media del subsuelo a lo largo del año. En este caso no se emplea una bomba de calor para la climatización, si no que se bombea un fluido por las conducciones enterradas para calentarlo o enfriarlo, según la época del año.

En función de la temperatura del subsuelo y de la deseada para la climatización del interior del edificio, se puede emplear directamente el fluido (agua o aire) para la climatización, o bien apoyar el sistema con otro auxiliar para lograr alcanzar la temperatura deseada. En este último caso, el fin de la instalación geotérmica es el de precalentar o preenfriar el fluido antes de su acondicionamiento final, lo que supone un ahorro energético, cado que el consumo de la bomba empleada para hacer circular el fluido es mínimo.



Figura 2.15: intercambiador tierra-aire del Edificio Lucía, en el Campus Delibes de la Uva. [2]

2.5.2 IMPLANTACIÓN EN LA UVa

En la Universidad de Valladolid hay dos instalaciones de climatización geotérmica. Ambas son del tipo Earth-Air-Heat-Exchange (EAHX), es decir, intercambiadores de calor tierra aire. Su finalidad es la de hacer circular aire para que intercambie calor con el terreno, y así precalentarlo o preenfriarlo antes de su acondicionamiento definitivo para la climatización. Estas instalaciones se encuentran en:

- El Edificio Lucía, en el Campus Miguel Delibes de Valladolid (ver Figura 2.13).
- El Aulario IndUVa, en Valladolid.

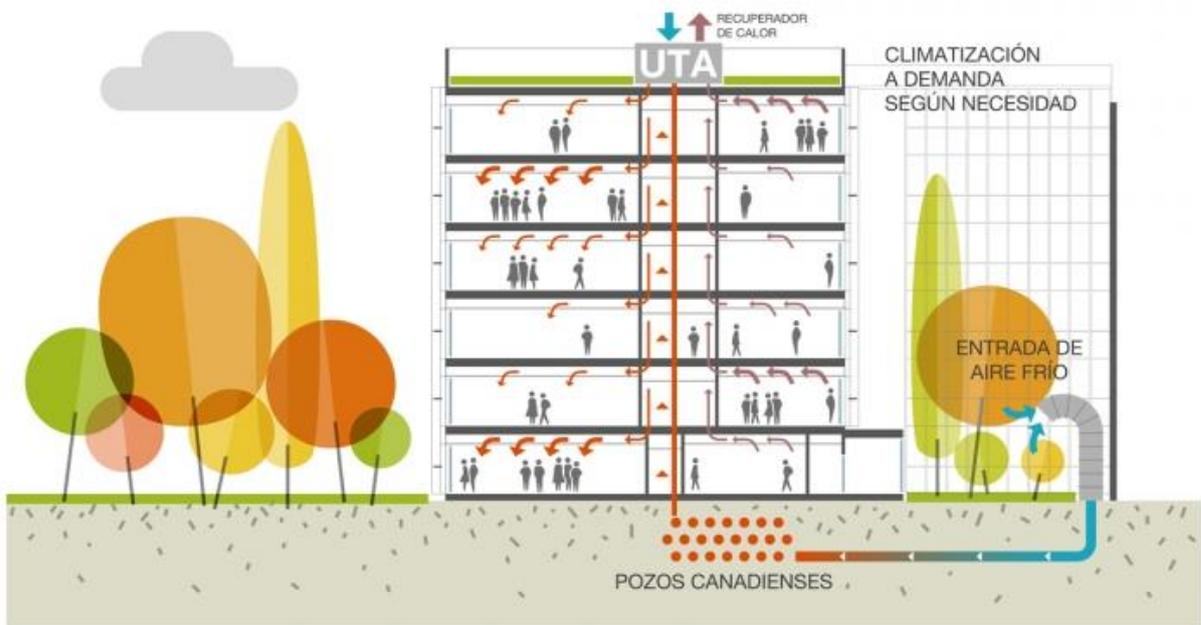


Figura 2.16: esquema del sistema de intercambio del Aulario IndUVa, Valladolid. [W13]

Capítulo 3: Datos y análisis energético

Una vez ya descritas las diferentes tecnologías renovables implantadas en la UVA, procede realizar un análisis de los datos relativos a ellas, estudiando y cuantificando los parámetros de más relevancia en cuanto a producción, consumo, impacto ambiental, etc.

3.1 ESTUDIO DESGLOSADO DE LAS TECNOLOGÍAS

Como paso previo al análisis global de los datos energéticos de la UVA, procede realizar un estudio previo de los datos referentes a cada una de las diferentes **tecnologías de energías renovables** implantadas. En cada caso se estudiará su rendimiento, energía producida, parámetros de funcionamiento, etc., realizando las **consideraciones y estimaciones oportunas**, con el fin de posibilitar su análisis y comparación con otras fuentes y tecnologías energéticas.

Se emplearán para ello la información y los datos lo más recientes y actualizados disponibles. No obstante, en ciertos aspectos se recurrirá a datos de años anteriores, primando siempre su validez para poder ser considerados como representativos de la situación energética actual en la Universidad de Valladolid.

3.1.1 ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

La UVa tiene en funcionamiento, como ya se ha indicado, **dos** instalaciones de aprovechamiento de la energía solar mediante captadores térmicos, destinados a la producción de **Agua Caliente Sanitaria (ACS)**: una en el complejo deportivo de Fuente la Mora y otra en los Apartamentos Universitarios Cardenal Mendoza.

No obstante, realizar un análisis completo de su rendimiento no es factible, dado que funcionan **en conjunto con otras tecnologías** para la obtención final del ACS, siendo estos sistemas solares una forma de **precalentar** esta agua antes de elevar su temperatura con otros medios para su utilización final.

Sí que resulta factible llevar a cabo una **estimación** de la energía que aportan los colectores solares a lo largo del año para la producción de ACS, conociendo su número, su orientación, etc.

Lógicamente, la energía que estos colectores pueden aportar al circuito depende de **muchos factores**, como su orientación, inclinación o la meteorología, entre otros. Para la estimación que se va a llevar a cabo, se seguirán las indicaciones que aparecen en el **Apartado 4 del Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) del Código Técnico de la Edificación (CTE)**, vigente en todo el territorio español.

Dicho Documento establece el método de cálculo de la **energía que aportan** los colectores, así como el de las **pérdidas** que se producen por tres factores: sombras, orientación e inclinación.

Cabe destacar que para la estimación de Fuente la Mora existe un inventario completo de los colectores instalados, mientras que para el caso de los Apartamentos Cardenal Mendoza (instalación más antigua sin inventario actualizado) se ha realizado una estimación de su funcionamiento en base al rendimiento de los de Fuente la Mora, considerando en todo caso las diferencias que puedan existir entre ambos.

El procedimiento de cálculo aparece detallado en el **Anexo 6.1**. A continuación se muestra un gráfico con los resultados obtenidos, en el que se representa la **energía térmica producida para ACS** en las dos instalaciones:

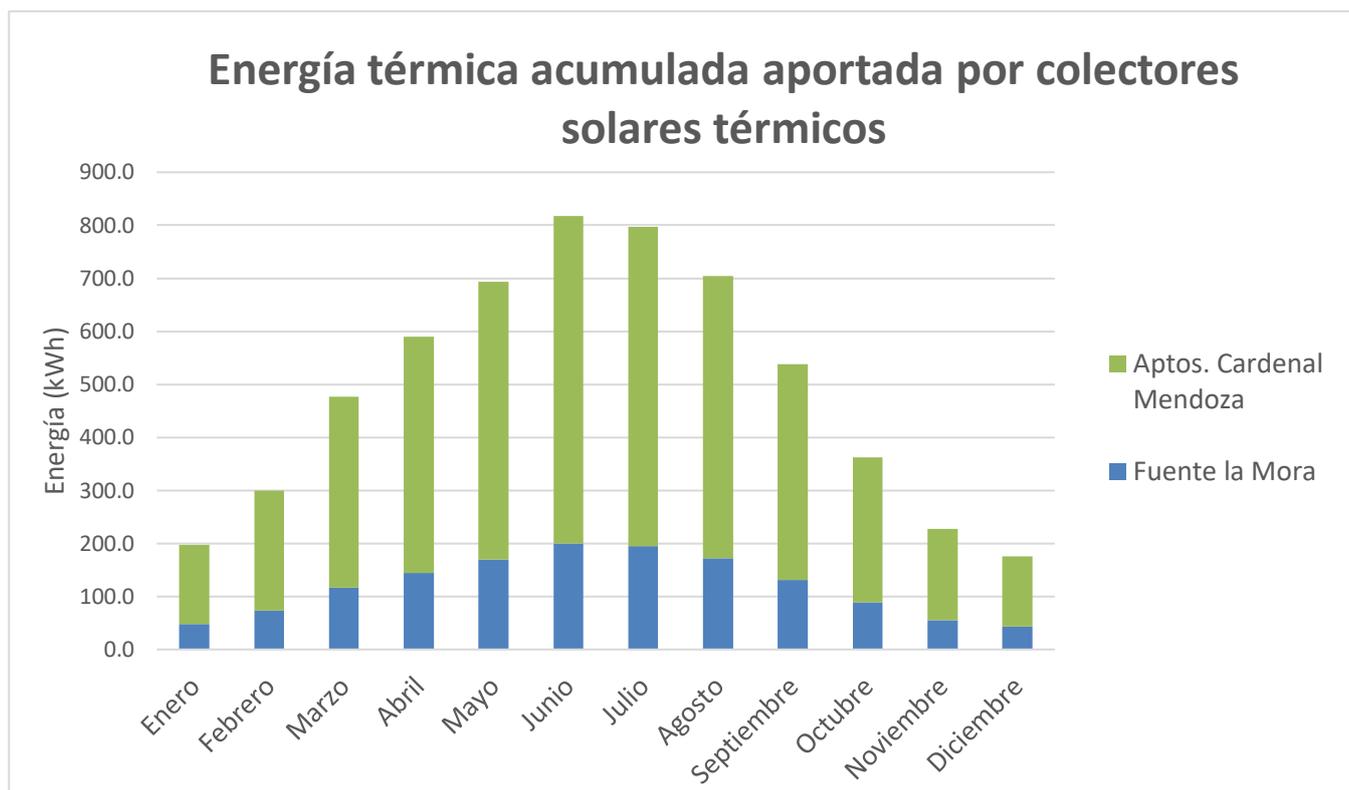


Gráfico 3.1: evolución a lo largo del año de la energía estimada producida por los colectores solares térmicos en las dos instalaciones

Sumando la energía generada cada mes, se obtiene la **energía total** que se genera a lo largo de todo **un año**:

Energía térmica total Fuente la Mora:	1445,2 kWh
Energía térmica total Cardenal Mendoza:	4445,2 kWh
Energía térmica total Uva:	5890,4 kWh

Tabla 3.1: energía térmica aportada por los colectores solares en las instalaciones de la Uva.

El porcentaje de energía generada en cada instalación respecto al total de la que se genera en la Uva aparece representada en el siguiente gráfico:

Contribución energética de cada instalación

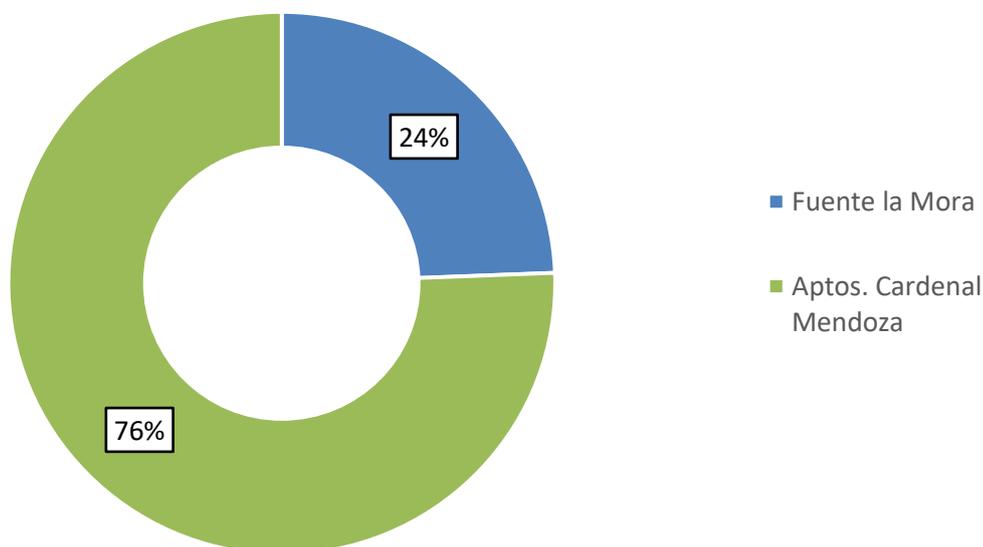


Gráfico 3.2: porcentaje de energía generada en cada instalación respecto del total.

Como queda patente en ambos gráficos, la energía que se obtiene para la producción de ACS mediante el uso de los colectores solares es mayor en el caso de los Apartamentos Cardenal Mendoza, consecuencia del **mayor número de colectores** presentes en esa instalación. Esto es así porque en el caso de los apartamentos se debe abastecer de ACS a sus 400 residentes, mientras que en el complejo de Fuente la Mora está destinada únicamente a ser aprovechada en las duchas y grifos de los vestuarios.

Esta energía es aprovechada directamente para la producción de ACS, de modo que se está evitando tener que aportarla por medios convencionales como calderas, lo que supone un ahorro en cuanto a costes de generación junto con una reducción de las emisiones de gases contaminantes.

3.1.2 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Como ya se ha mencionado, en la Universidad de Valladolid actualmente hay implantados sistemas de energía fotovoltaica en los Aularios Esgueva e Induva, en el Edificio Lucía, en la sede Francisco Mendizábal de la EII y en el Campus de la Yutera de Palencia.

La **superficie total** de paneles solares fotovoltaicos instalados en cada uno de estos edificios es la que se indica a continuación:

EDIFICIO	SUPERFICIE (m ²)
Edificio Lucía	226,07
Aulario Esgueva	106
Aulario IndUVa	187
EII Fco Mendizábal	163,41
Campus La Yutera	120

Tabla 3.2: Superficie de paneles fotovoltaicos instalada por edificios.

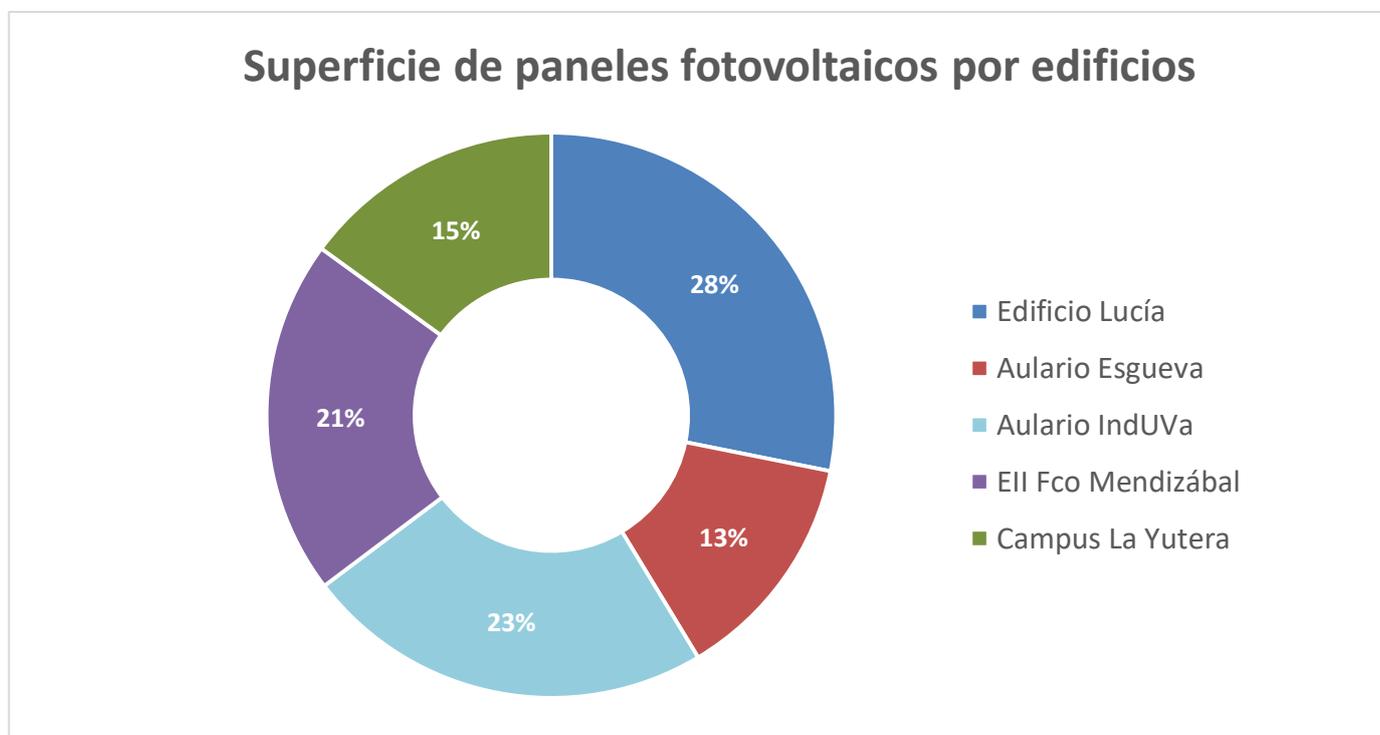


Gráfico 3.3: Fracción que representa la superficie de paneles instalada en cada edificio respecto de la superficie total instalada en la UVa.

Datos y análisis energético

No obstante, no toda esta superficie está actualmente en uso. Los paneles de la sede Francisco Mendizábal no están conectados a la red, por lo que no pueden ser incluidos en el cómputo energético.

Por otra parte, los paneles del Aulario Induva no se incluyen en el análisis energético realizado, dado que al ser de reciente implantación no se han podido recabar datos suficientes acerca de su funcionamiento que permitan realizar un estudio de su productividad.

Sin embargo, sí que se puede realizar un **análisis energético anual** de las superficies instaladas y en funcionamiento. A continuación se recoge la evolución a lo largo del **año 2019** de la producción fotovoltaica en el Aulario Esgueva, el Campus La Yutera y el Edificio Lucía:

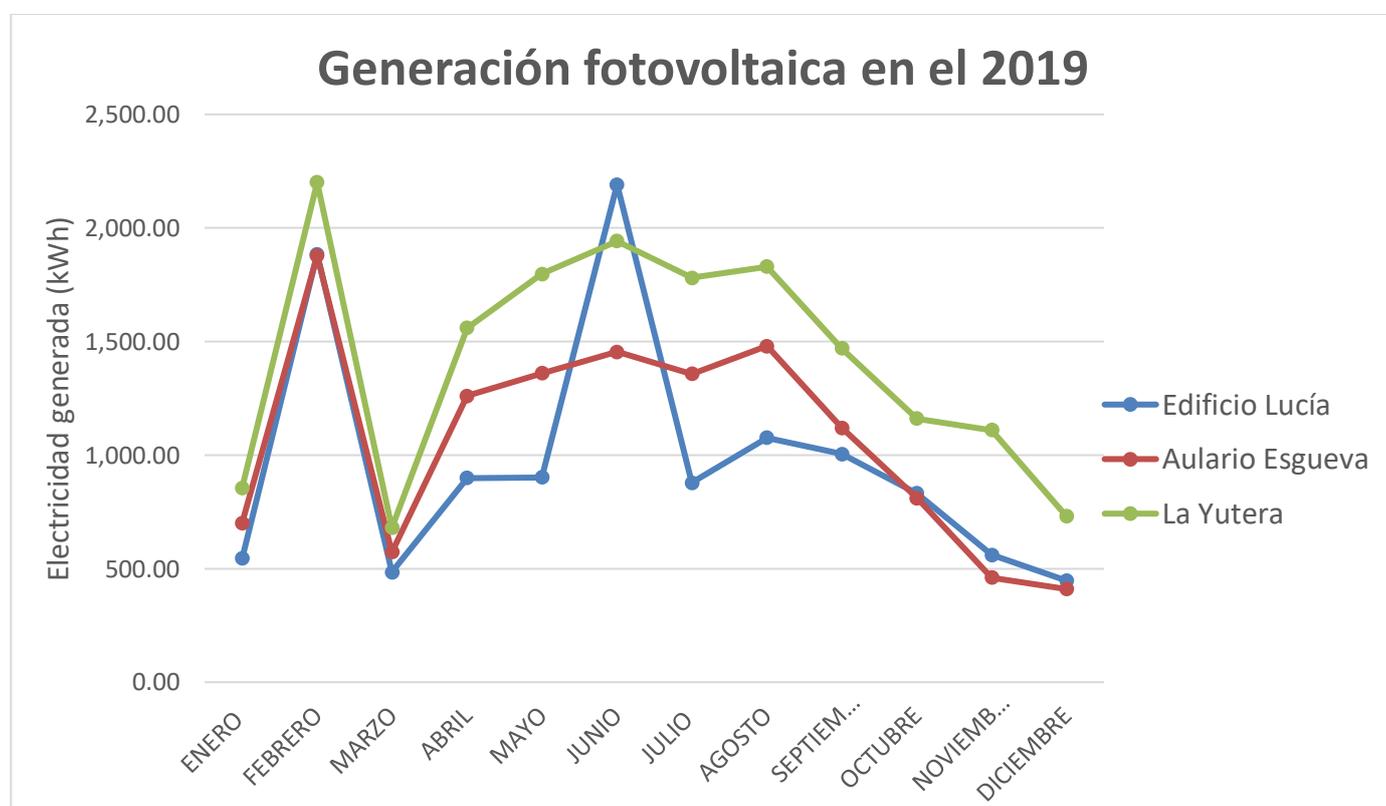


Gráfico 3.4: Evolución de la generación fotovoltaica en el 2019

Como se puede observar, la evolución de la producción de energía por medios fotovoltaicos es similar en los tres edificios, dado que la ubicación geográfica es similar entre ellos (por lo que la radiación solar que reciben es idéntica), y se encuentran suficientemente aislados del resto de edificios de sus alrededores como para que no se proyecten sombras sobre los paneles, lo cual disminuiría su rendimiento.

Llama la atención el **pico de generación** de electricidad en el mes de febrero. Esto tiene su base en que dicho mes fue extraordinariamente seco y soleado. Tanto que resultó ser el más seco del siglo XXI hasta la fecha, con en torno a un 80% más de horas de sol que las esperables para un mes de febrero típico en gran parte de la Península Ibérica [22].

Resulta relevante también estudiar la **energía generada cada mes** por los tres edificios conjuntamente, como se muestra a continuación:

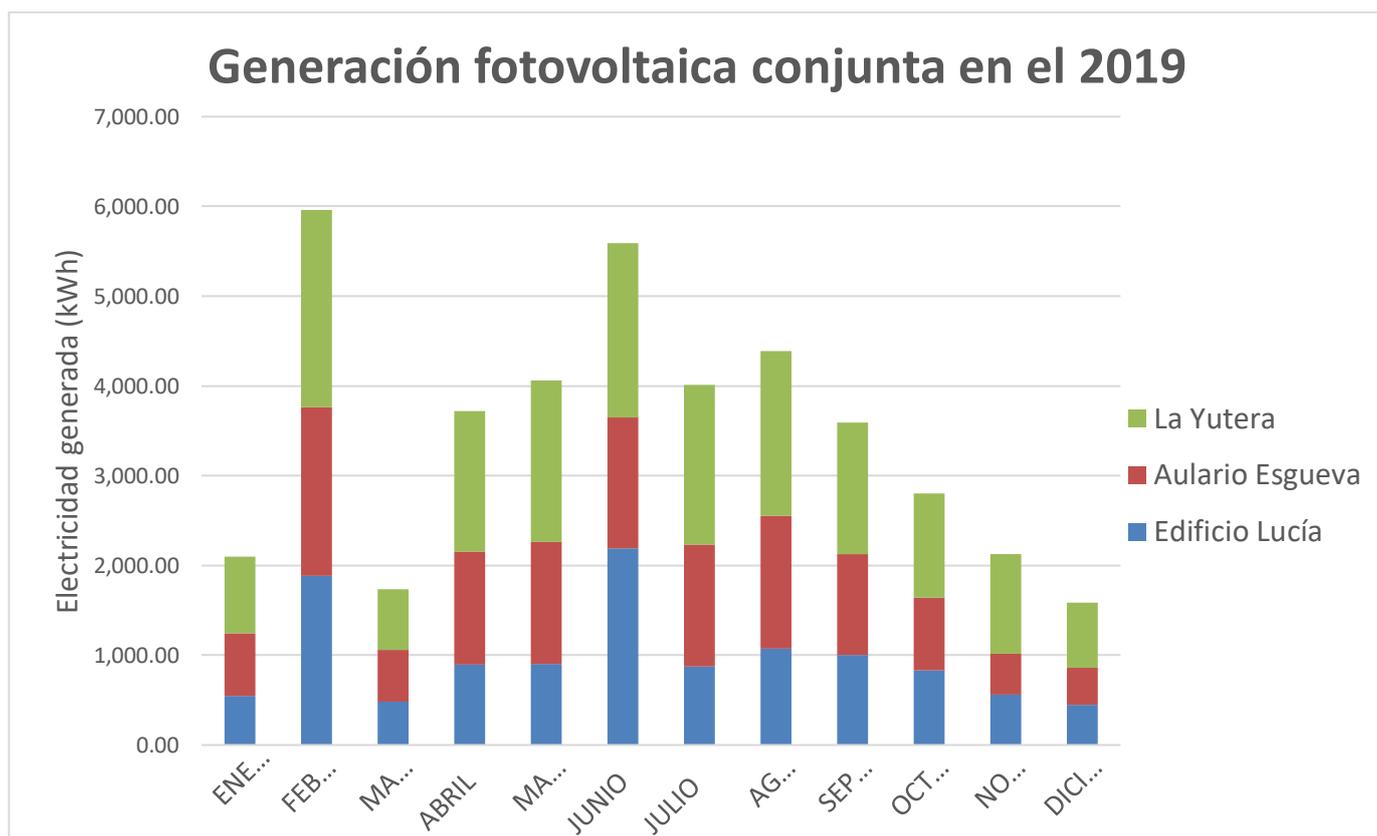


Gráfico 3.5: Electricidad generada por medios fotovoltaicos de forma conjunta en el 2019

Con estos datos, podemos conocer la cantidad de energía eléctrica que se generó **en total a lo largo del año**, sumando la producción de cada mes:

Energía eléctrica total generada en 2019:	41.681,11 kWh
--	----------------------

Tabla 3.3: energía eléctrica generada anualmente por medios fotovoltaicos en la UVa.

La producción de energía por los paneles fotovoltaicos incluso en estas condiciones no depende directamente de la superficie de paneles instalada, tal y como queda patente en el siguiente gráfico:

Generación eléctrica relativa por medios fotovoltaicos en 2019

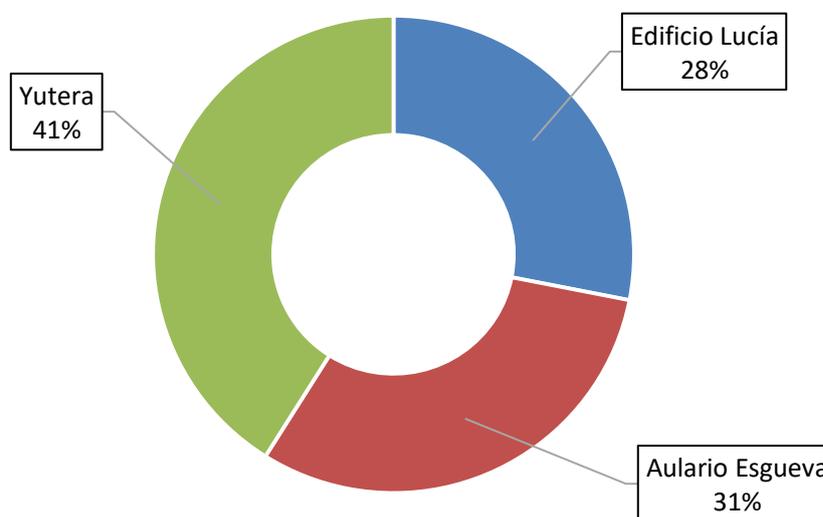


Gráfico 3.6: Porcentaje de generación de energía fotovoltaica en cada edificio respecto del total.

Esto se debe a que en cada edificio está instalada una **tecnología de paneles solares diferente**, lo que hace que la superficie de paneles no sea un indicador fiable de la potencia que estos producirán (obsérvese, por ejemplo, que el Edificio Lucía es el que cuenta con más superficie de sistemas fotovoltaicos y sin embargo es el que menos electricidad genera de los tres). Concretamente, cada edificio cuenta con los siguientes equipamientos:

- Edificio Lucía:
 - Lucernarios y muro cortina de silicio amorfo
 - Células policristalinas de 6"
- Aulario Esgueva:
 - Parasoles de silicio monocristalino en la fachada.
- Aulario IndUva:
 - Módulos de telururo de cadmio en la fachada.
- Sede EII Francisco Mendizábal:
 - Paneles de silicio policristalino sobre una cubierta plana.
- Campus La Yutera:
 - Lucernario de silicio monocristalino.

La generación de energía eléctrica por medios fotovoltaicos en cada edificio dependerá, por tanto, de la tecnología instalada en cada caso, y de la orientación y la inclinación que tengan los paneles.

3.1.3 BIOMASA

La biomasa se emplea en la Uva como combustible en el **District Heating de Valladolid** y en el **Campus Duques de Soria**. Al quemarse en calderas, se aprovecha su calor para calentar agua, que posteriormente es transportada por un sistema de tuberías hasta emplearse en el destino con fines de **calefacción** o **producción de Agua Caliente Sanitaria (ACS)**.

Su uso en el District Heating de Valladolid es de más reciente implantación que en Soria, donde lleva más de 10 años en funcionamiento. La implantación en Valladolid significó un gran aumento de la energía generada con esta tecnología en la Universidad como conjunto, estando esto debido a las **grandes dimensiones** que abarca el sistema y al gran número de edificios a los que presta suministro.

A continuación se muestra la **evolución temporal de la energía generada a partir de biomasa** en el conjunto de la Uva:

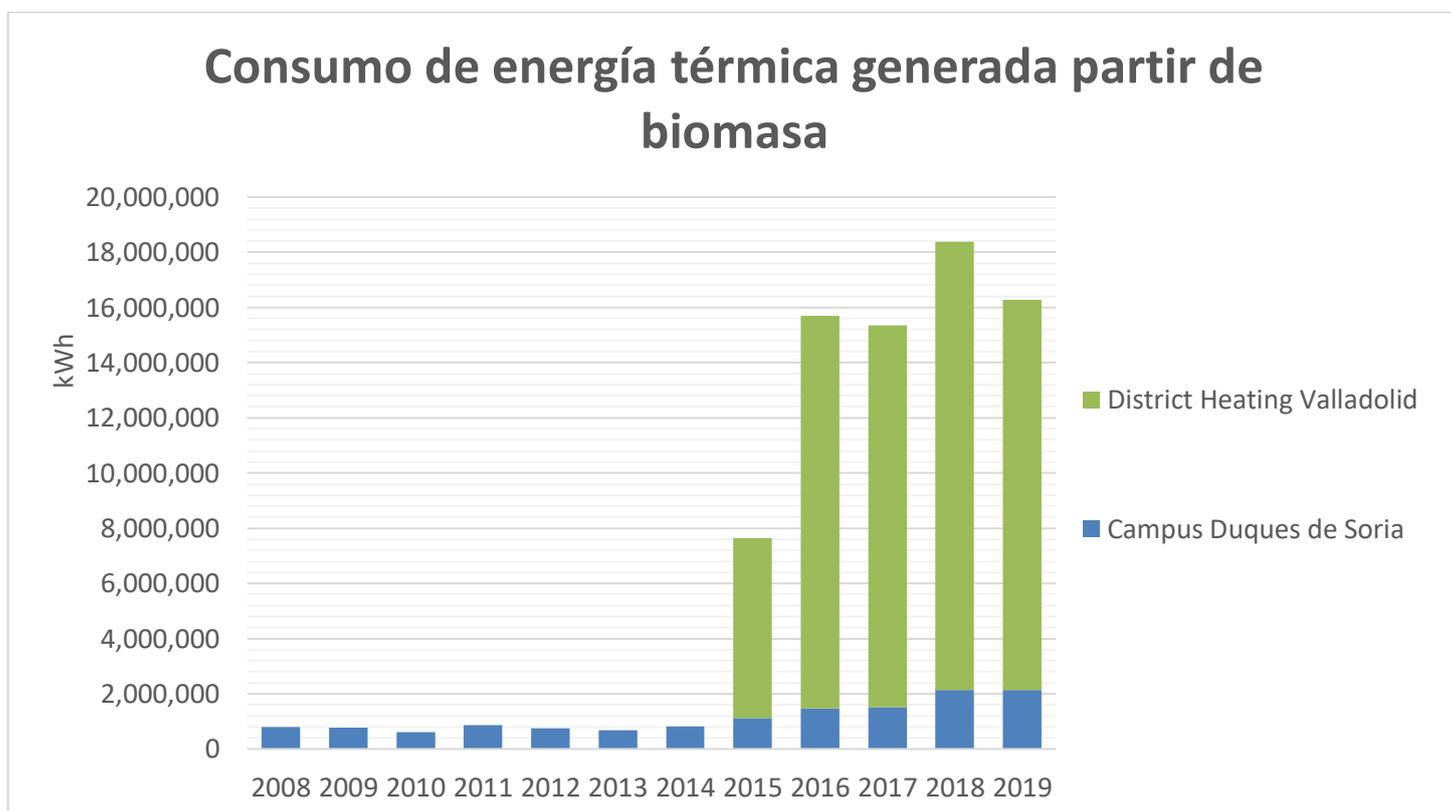


Gráfico 3.7: Evolución temporal del consumo de energía térmica generada a partir de biomasa.

Tal como se puede observar, en los últimos 4 años la cantidad **energía consumida anualmente** en la Uva que se había generado a partir de biomasa fue **de media 16,43 MWh**.

3.1.4 BOMBA DE CALOR

Como ya se ha expuesto previamente, las bombas de calor pueden ser consideradas como energías renovables si cumplen el criterio de tener un **SPF** (factor de rendimiento medio estacional) **mayor de 2,5**, y con la condición de que sólo el aire exterior puede ser la fuente energética de una bomba de calor con aire como fuente caliente.

Las bases para determinar qué cantidad de energía capturada por las bombas de calor se puede considerar como procedente de fuentes renovables vienen dadas por la DIRECTIVA 2009/28/CE del Parlamento Europeo. No obstante, esta directiva **no** establece un método concreto para la determinación del **SPF** y el **Q_{usable}** (energía térmica que puede suministrar la bomba de calor) del equipo, por lo que esto queda a criterio de los Estados Miembros.

Por ello, para determinar estos valores se sigue el documento del **IDAE** (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía): “Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios” [3], aplicable a las bombas de calor accionadas eléctricamente (como las que se usan en la Universidad de Valladolid).

Cabe destacar que estos cálculos se realizan con inventarios ya existentes de los equipos instalados en los edificios de Valladolid, en concreto del TFG “Estudio del potencial de energías renovables en la universidad de Valladolid” [12] con fecha de **2015**, de tal modo que los cambios o modificaciones realizadas en estos equipos e instalaciones desde entonces no quedan reflejados en el presente estudio. Del mismo modo, en el resto de campus (Palencia, Soria y Segovia) se han ido añadiendo y reemplazando unidades a lo largo del tiempo, por lo que no se dispone de inventarios válidos con los que realizar un estudio detallado. Sí se dispone, no obstante, de inventarios de los equipos a instalar en el nuevo edificio del campus de Segovia, aún en fase de construcción, pero que se incluirán en el estudio haciendo las estimaciones pertinentes.

En el **Anexo 6.3** se detallan las **bases del cálculo** y determinación de las **prestaciones** de las bombas de calor instaladas, así como los pasos seguidos para su clasificación en renovables y no renovables, siendo los resultados globales los siguientes:

Nº total de bombas de calor:	277
Nº de bombas descartando las de solo refrigeración:	232
Nº de bombas considerables como renovables:	42
Q_{usable} total (kWh):	3.128.553
Q_{usable} de las bombas renovables (kWh):	969.580
Eres de las bombas renovables (kWh):	600.610

Tabla 3.4: Resultados globales del análisis de las bombas de calor

A continuación se muestran dos gráficos. El primero muestra la **proporción de bombas de calor que se consideran renovables**, frente al total de bombas de calor instaladas. El segundo muestra, para las bombas de calor que sí se consideran renovables, la cantidad de **energía que se puede considerar como procedente de fuentes renovables** frente a la que no.

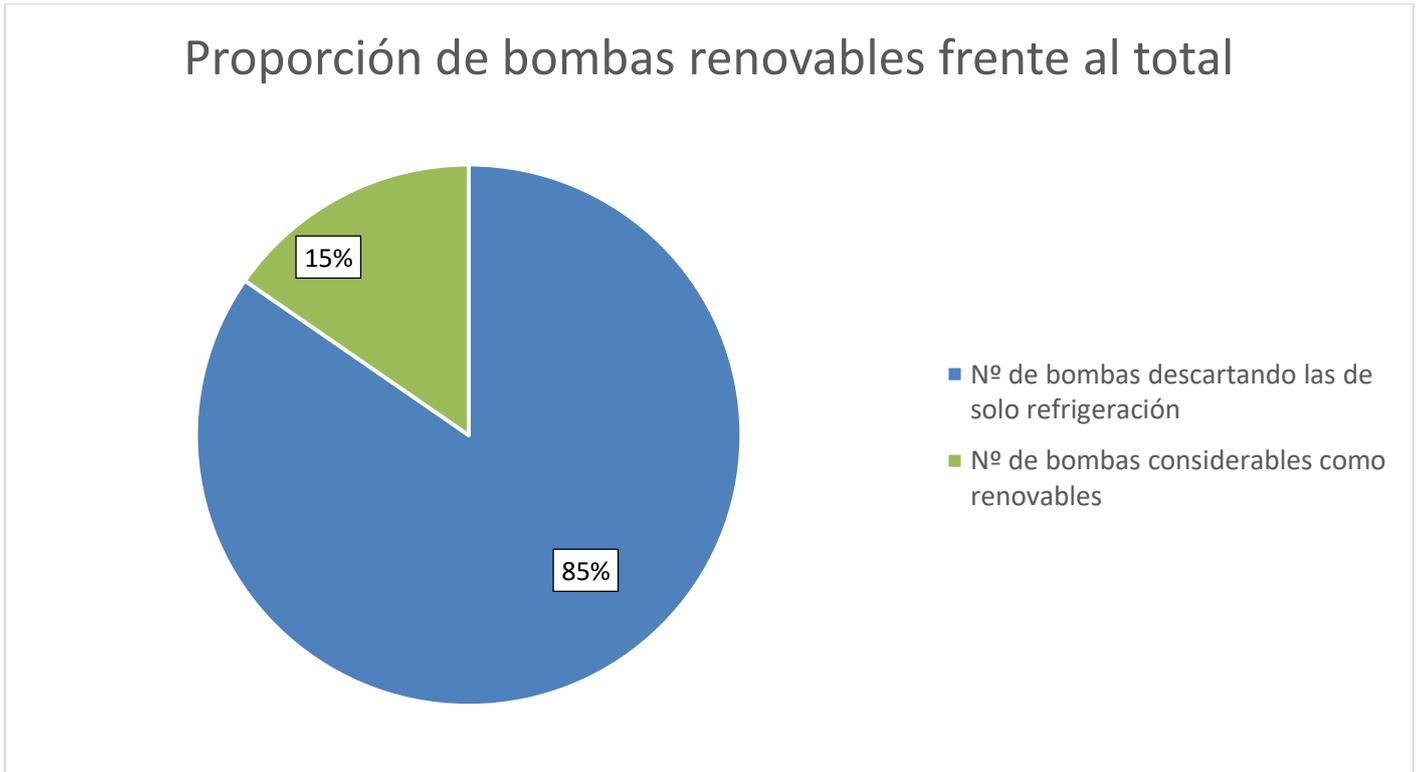


Gráfico 3.8: Relación entre la cantidad de bombas que se pueden considerar como renovables y las que no

Energía procedente de fuentes renovables en las bombas renovables

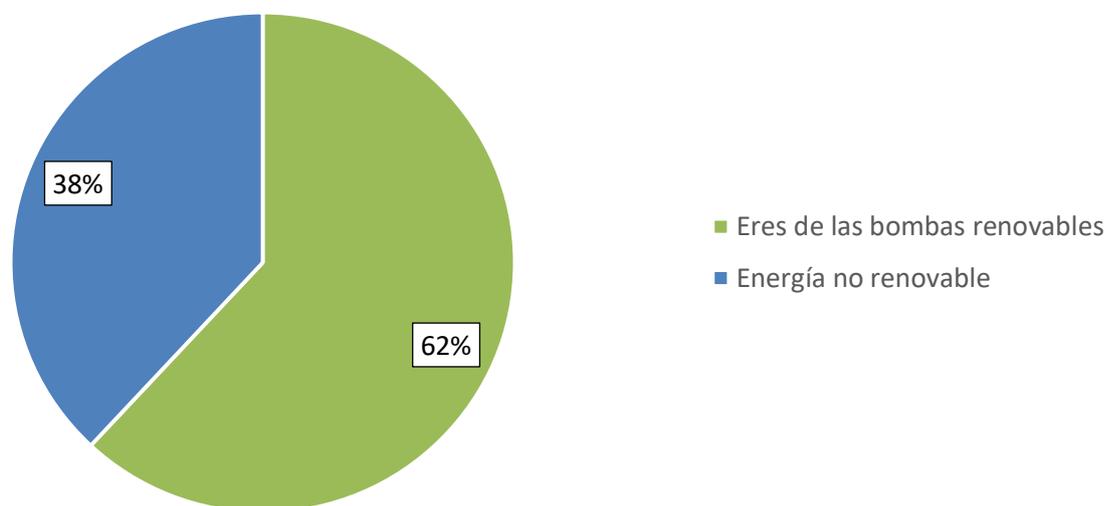


Gráfico 3.9: Cantidades de energía procedente y no procedente de fuentes renovables utilizadas por las bombas de calor renovables

No obstante, faltaría por conocer qué **cantidad** de toda la energía suministrada por el conjunto de las bombas de calor es, efectivamente, considerada como renovable, tal y como se muestra a continuación:

Proporción de energía renovable en el total

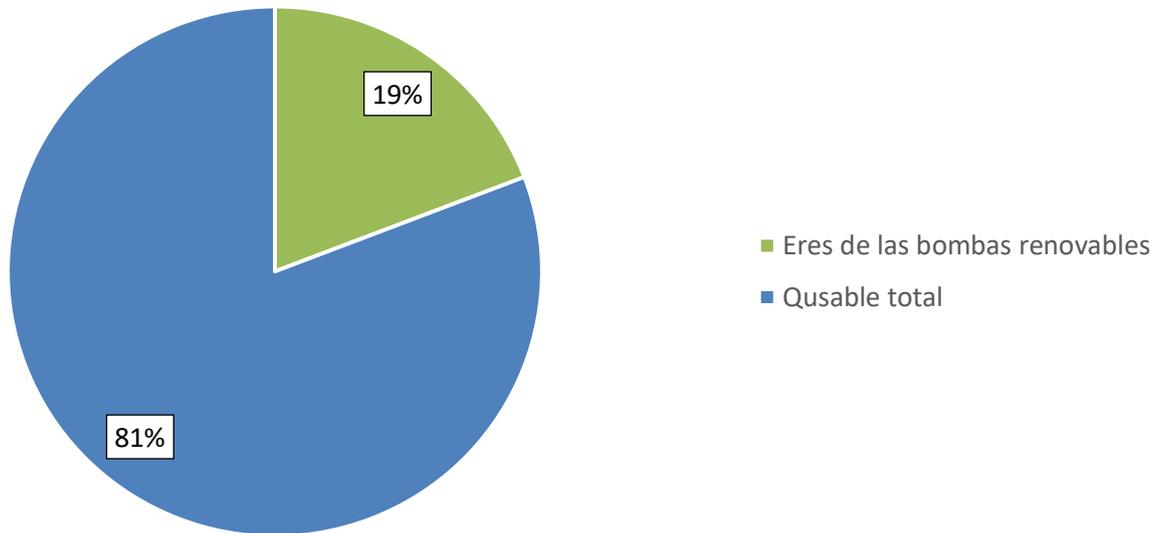


Gráfico 3.10: Relación entre la energía renovable consumida frente a la energía total empleada en las bombas de calor.

Una vez hecho esto, y dado que las bombas de calor instaladas en la UVa son de **accionamiento eléctrico**, estudiaremos qué proporción del consumo de energía eléctrica de la Uva corresponde al funcionamiento de las bombas de calor, y en concreto qué fracción podemos considerar como procedente de fuentes renovables.

Para ello se puede considerar el valor de Q_{consumo} , (energía eléctrica consumida anualmente por la bomba de calor) tal como aparece detallado en el **Anexo 6.3**. De este Q_{consumo} que procede de las bombas de calor, se puede saber inmediatamente (con las proporciones calculadas previamente) qué cantidad corresponde a energías renovables, y ponerlo en relación con el consumo eléctrico anual de la Universidad de Valladolid. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Q_{consumo} eléctrico total UVa:	1.418.806,4 kWh
Q_{consumo} de fuentes renovables:	272.378,2 kWh

Tabla 3.5: Energía eléctrica total y energía renovable consumida por las bombas de calor en la UVa

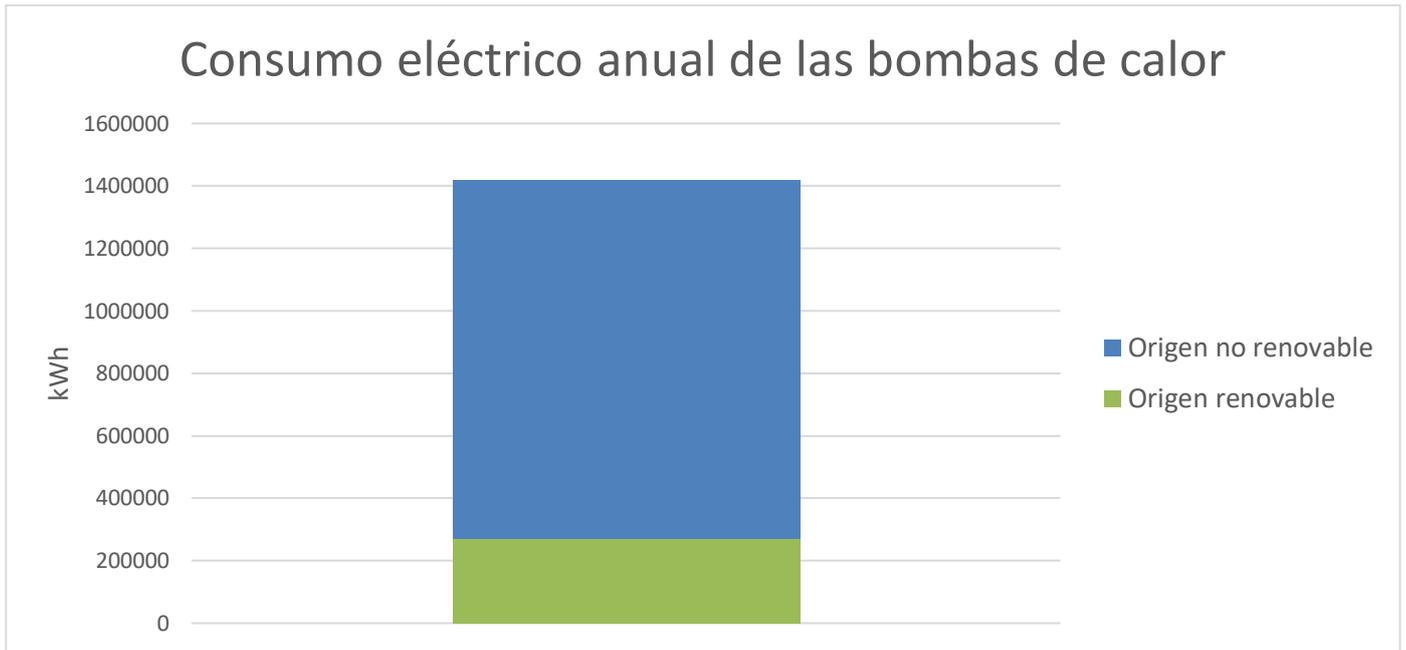


Gráfico 3.11: Relación de consumo de energía renovable y no renovable anual en las bombas de calor.

Teniendo en cuenta que en el **2018** el consumo eléctrico de la UVa fue de **18,74 MWh**, resulta posible realizar la estimación del peso que representan las bombas de calor en este:

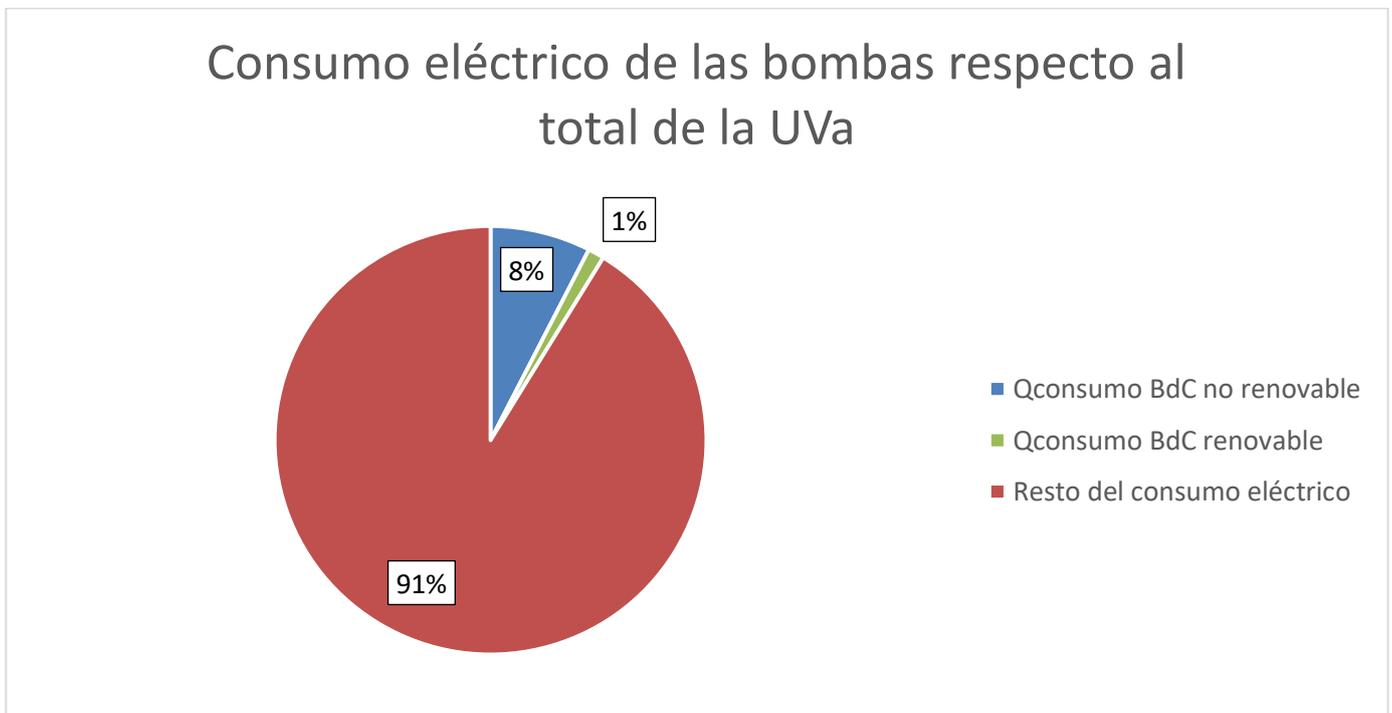


Gráfico 3.12: Proporción que representa el consumo eléctrico de las bombas de calor en el consumo eléctrico total de la UVa.

3.1.5 GEOTERMIA DE AIRE

Como ya se ha mencionado previamente, en la Universidad de Valladolid actualmente hay **dos sistemas** instalados y en funcionamiento de intercambio de calor **tierra-aire** (Earth-Air Heat eXchange, EAHX). Estos se usan para **preacondicionar** el aire antes de pasar la **UTA** (Unidad de Tratamiento de Aire), logrando así un ahorro energético al ceder o absorber calor del terreno (dependiendo de la época del año) previamente, en lugar de tratarlo directamente con los equipos de acondicionamiento de aire.

Estos sistemas se encuentran en el Edificio Lucía y en el Aulario IndUVa. No obstante, dada la reciente entrada en funcionamiento de este último, aún no se ha podido realizar un estudio detallado de su funcionamiento y de su rendimiento, por lo que queda excluido del análisis energético realizado.

Cabe destacar que la **eficiencia** de estos sistemas a la hora de ahorrar energía depende de la temperatura del aire exterior, resultando en un ahorro mayor en los meses de temperaturas extremas (invierno o verano). También dependerá del número de horas que entre en funcionamiento el sistema de intercambio.

El sistema **EAHX del Edificio Lucía** estaba ideado, según las **condiciones de diseño**, para trabajar hasta un **39% del tiempo total** en que el edificio estuviera en funcionamiento, permitiendo recuperar una energía de cerca de **112740 kWh anualmente**.

A continuación se muestra una gráfica en la que aparecen el número de horas de funcionamiento del sistema EAHX cada mes a lo largo de un año, lo cual nos indica en qué épocas es más utilizado. Nótese que los datos son del año **2017**, pero aun así da una idea acerca de lo recién indicado:

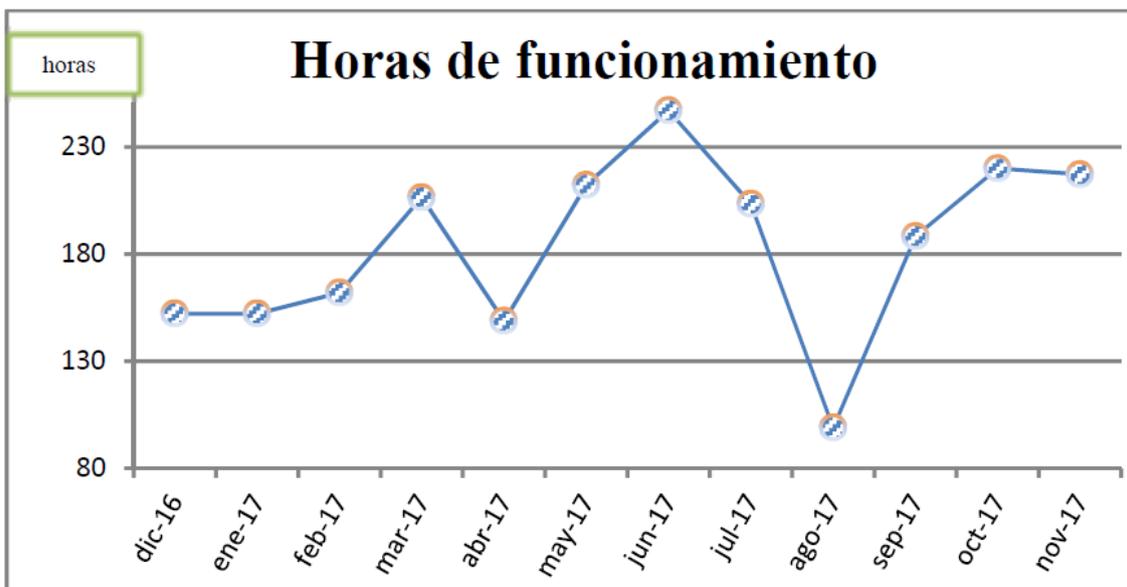


Gráfico 3.13: Horas de funcionamiento del sistema EAHX cada mes [2]

Del mismo modo, se procede a continuación a mostrar otro gráfico, también referente al año 2017, en el que se aparecen recogidos los datos de la energía que se ahorró cada mes en ese periodo mediante el uso del sistema EAHX:

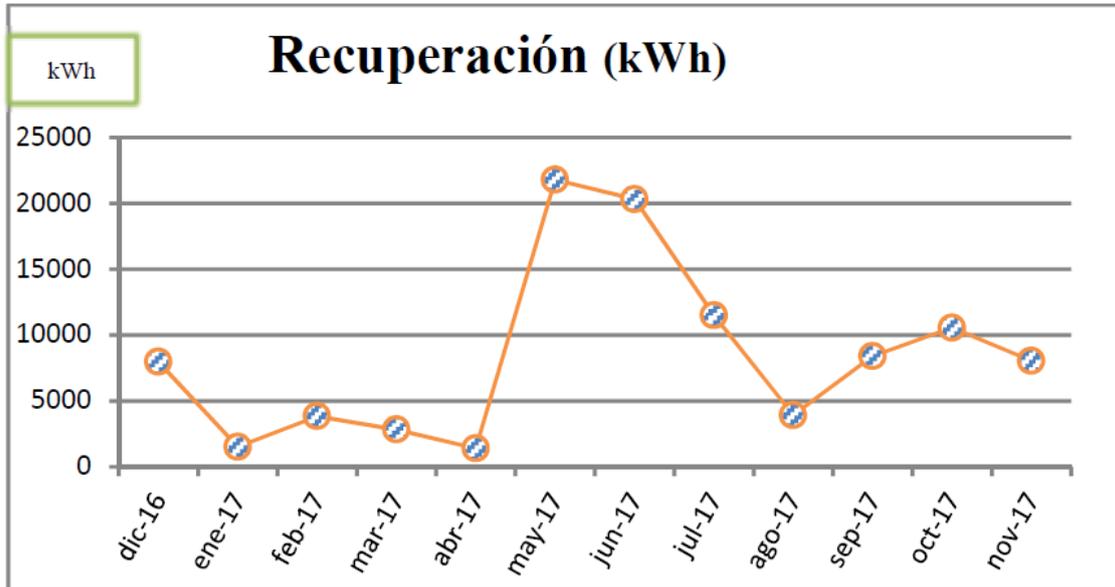


Gráfico 3.14: Energía recuperada mediante el sistema EAHX cada mes. [2]

La cifra **total de energía** que se ahorró en este periodo asciende a **102014 kWh**, y se empleó durante un **35,3% de las horas en las que estuvo operativo el edificio**, lo cual es próximo a las condiciones de diseño según ambos criterios.

3.2 ESTUDIO GLOBAL DE CONSUMOS Y EMISIONES

Una vez estudiadas individualmente las tecnologías de energías renovables en funcionamiento, se hace posible el análisis energético de los cuatro campus de la UVa y de esta con una perspectiva global, con el fin de conocer la relevancia que tienen las energías renovables tanto en el aspecto del consumo como en el de las emisiones de gases de efecto invernadero, en el contexto de las políticas de descarbonización ambiental.

3.2.1 CONSUMO DE ENERGÍA FINAL

Al proceder al estudio de los consumos energéticos en la Universidad de Valladolid, se hace necesario distinguir entre **energía primaria** y **energía final**.

La energía primaria es la que está disponible en la naturaleza, previamente a cualquier conversión o transformación (como por ejemplo la energía eólica o los combustibles fósiles crudos). Puede ser aprovechable directamente, o bien ser transformada en una fuente de energía secundaria (por ejemplo, la generación de electricidad). Todo esto conduce a su consumo último, en forma de la denominada **energía final**.

Es por ello que el consumo de energía final generalmente implica el consumo de energía primaria del tipo renovable y no renovable. Este es el caso de la energía eléctrica, por ejemplo, que se genera en centrales térmicas (no renovable) e hidroeléctricas (renovable), entre otras.

Primeramente se va a proceder al estudio del **consumo de energía final** en la UVa, con el fin de obtener una visión general de su demanda energética. Se incluyen a continuación una serie de gráficos que muestran la proporción de energía final de cada tipo consumida en cada uno de los cuatro campus de la Universidad, clasificando además estas energías finales en renovables y no renovables.

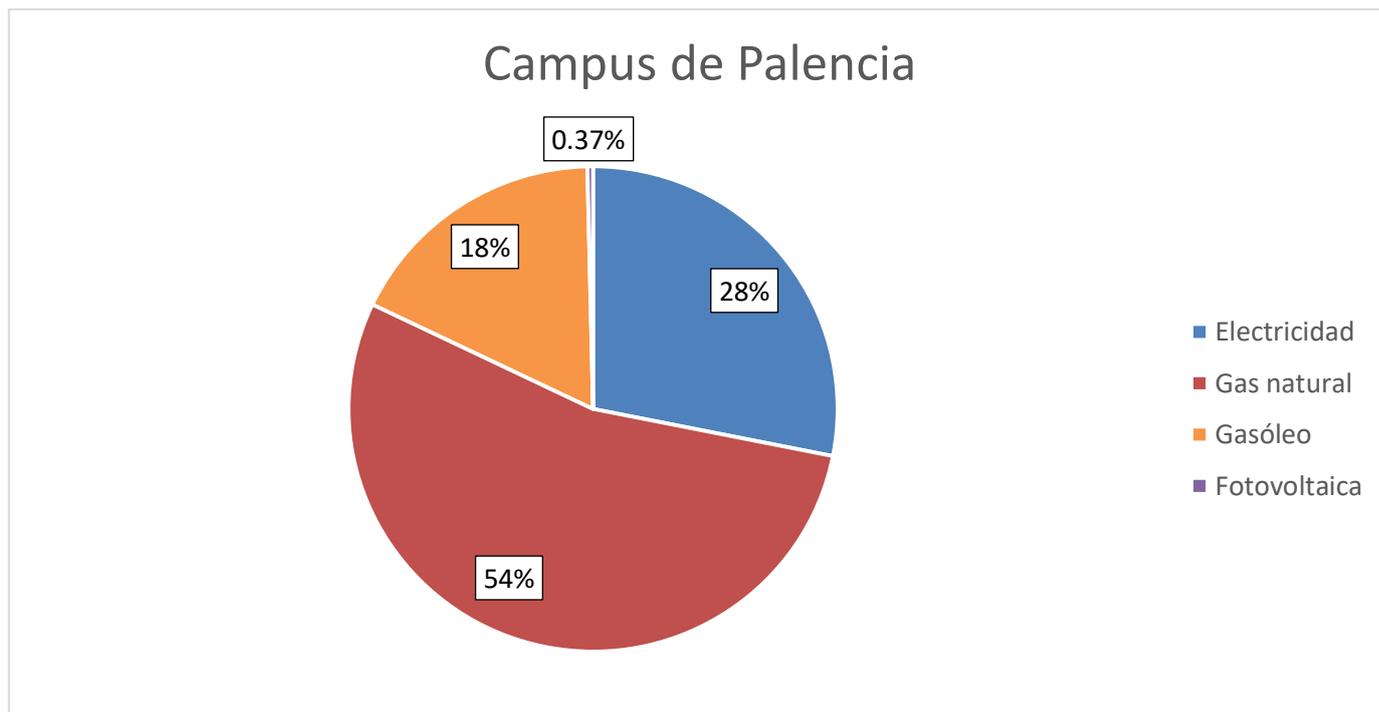


Gráfico 3.15: desglose del consumo de energía final en el campus de Palencia.

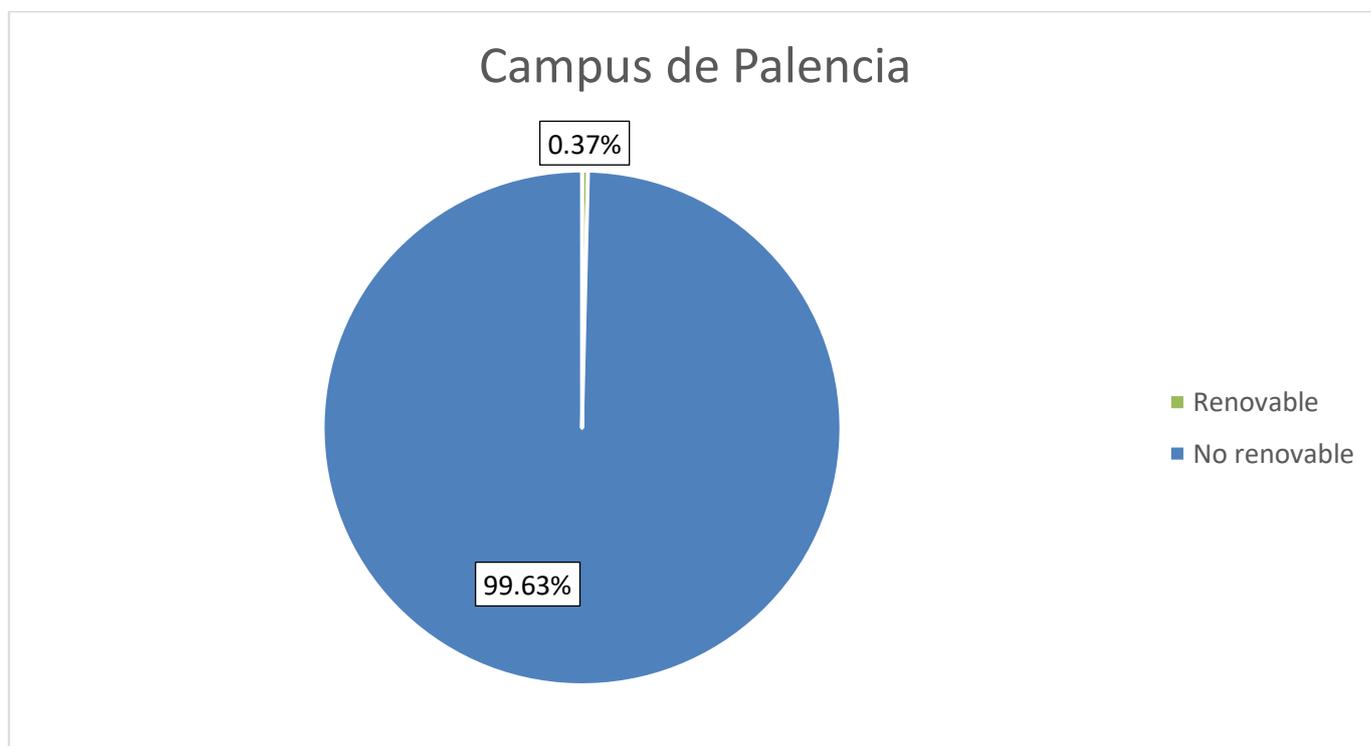


Gráfico 3.16: proporción de la energía final consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Palencia

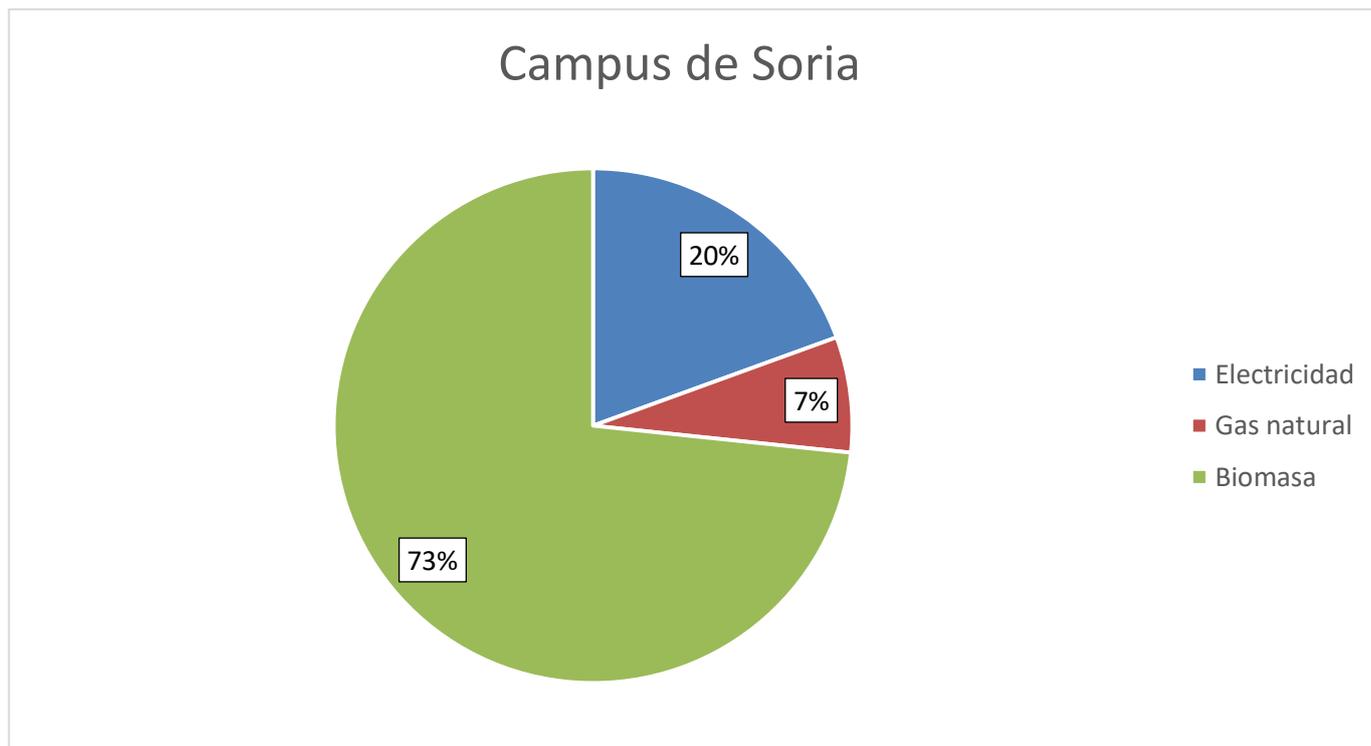


Gráfico 3.17: desglose del consumo de energía final en el campus de Soria.

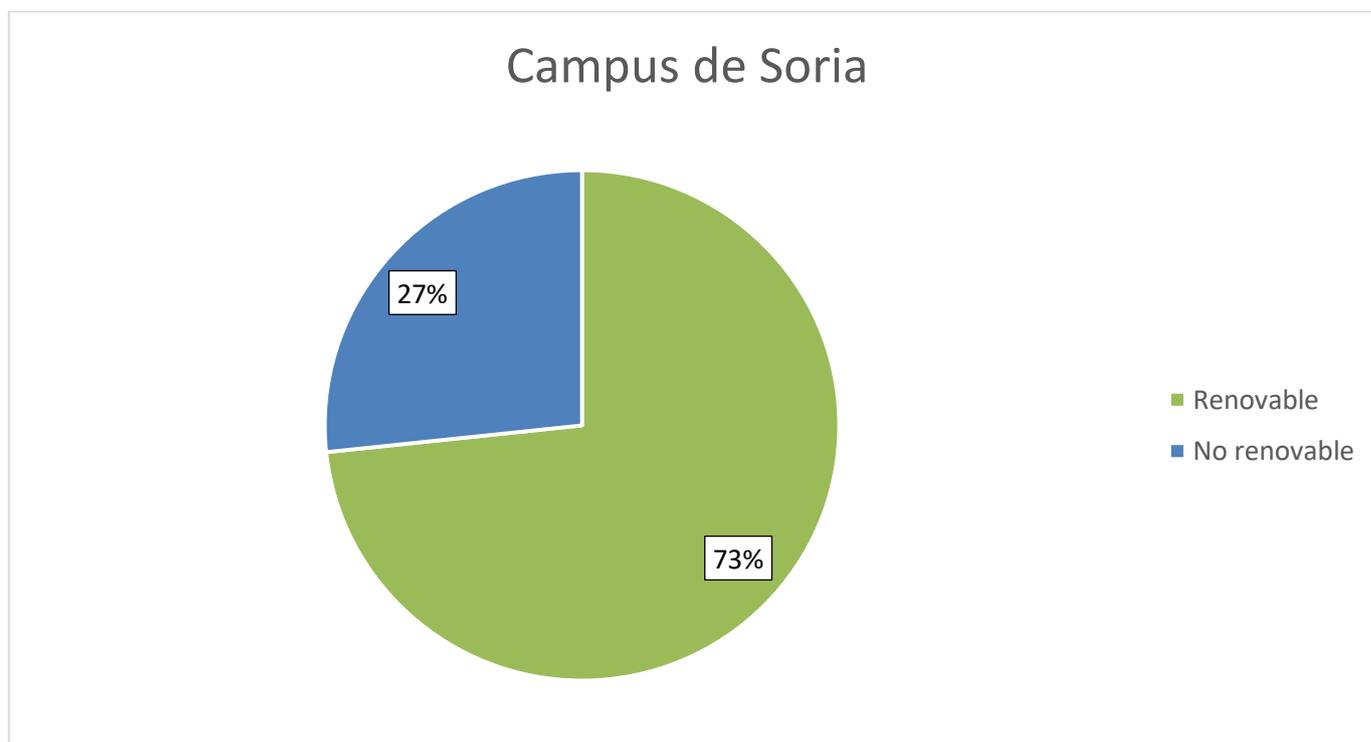


Gráfico 3.18: proporción de la energía final consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Soria.

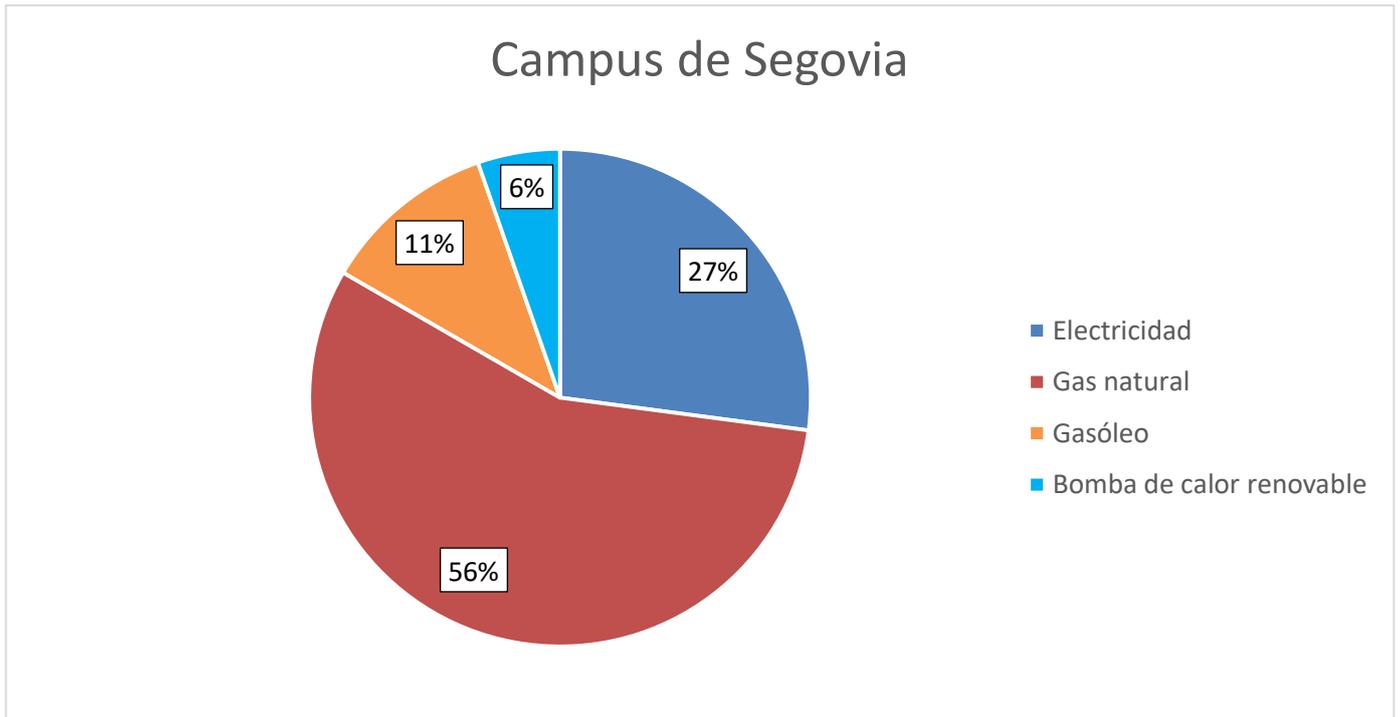


Gráfico 3.19: desglose del consumo de energía final en el campus de Segovia.

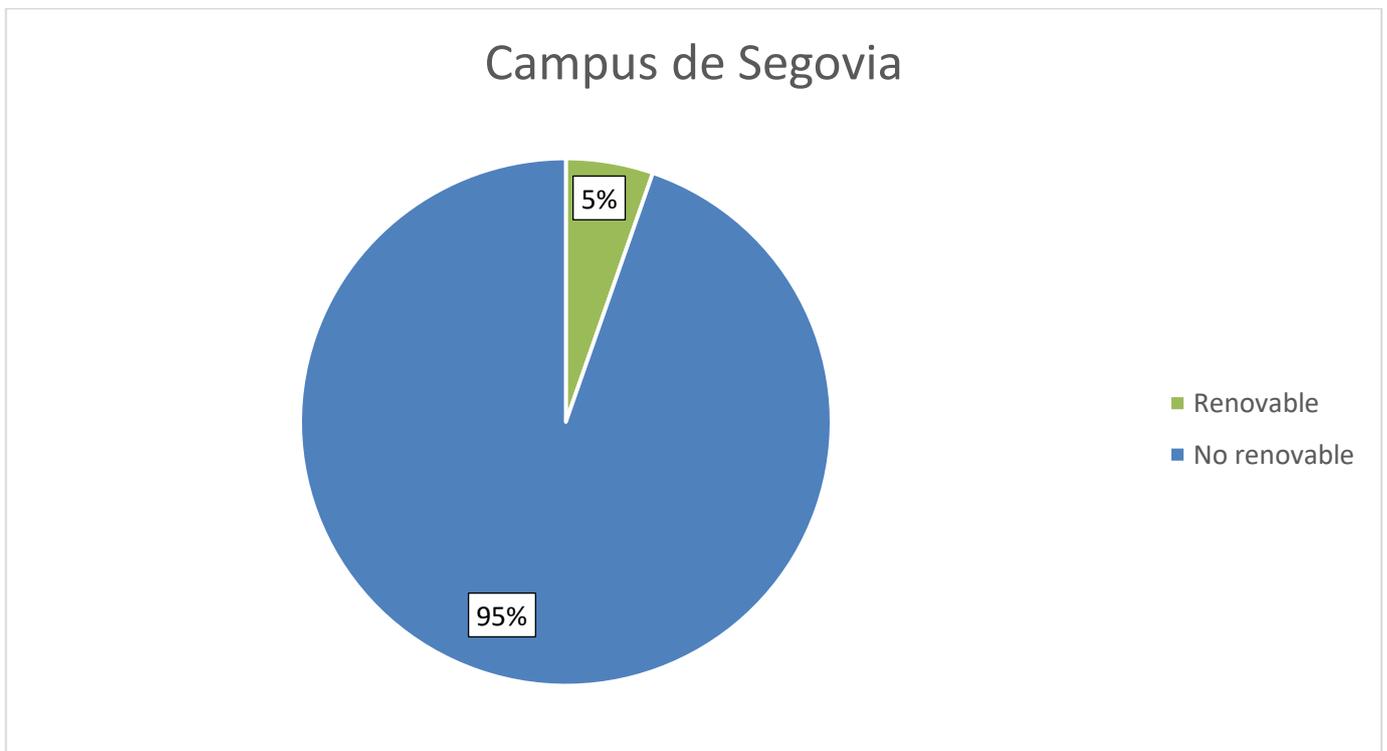


Gráfico 3.20: proporción de la energía final consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Segovia.

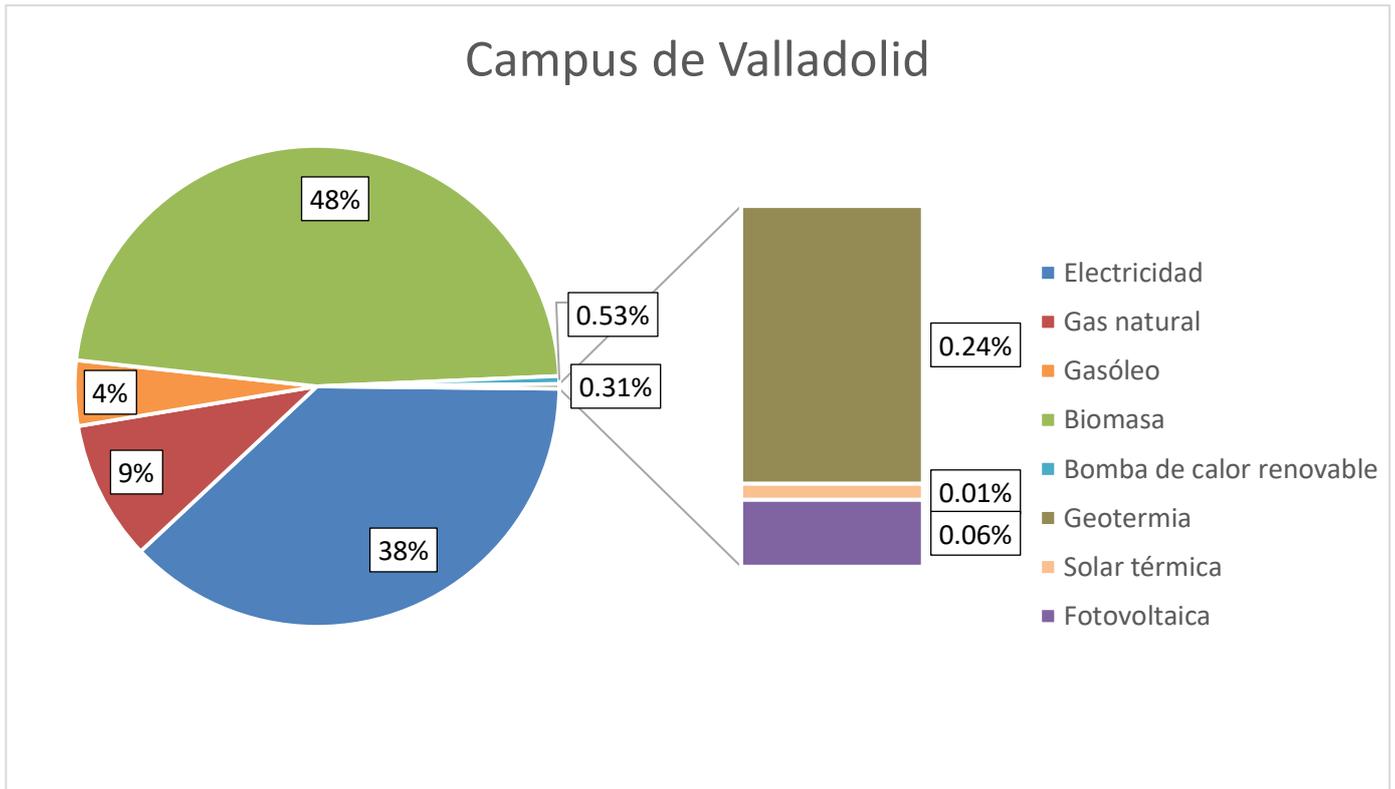


Gráfico 3.21: desglose del consumo de energía final en el campus de Valladolid.

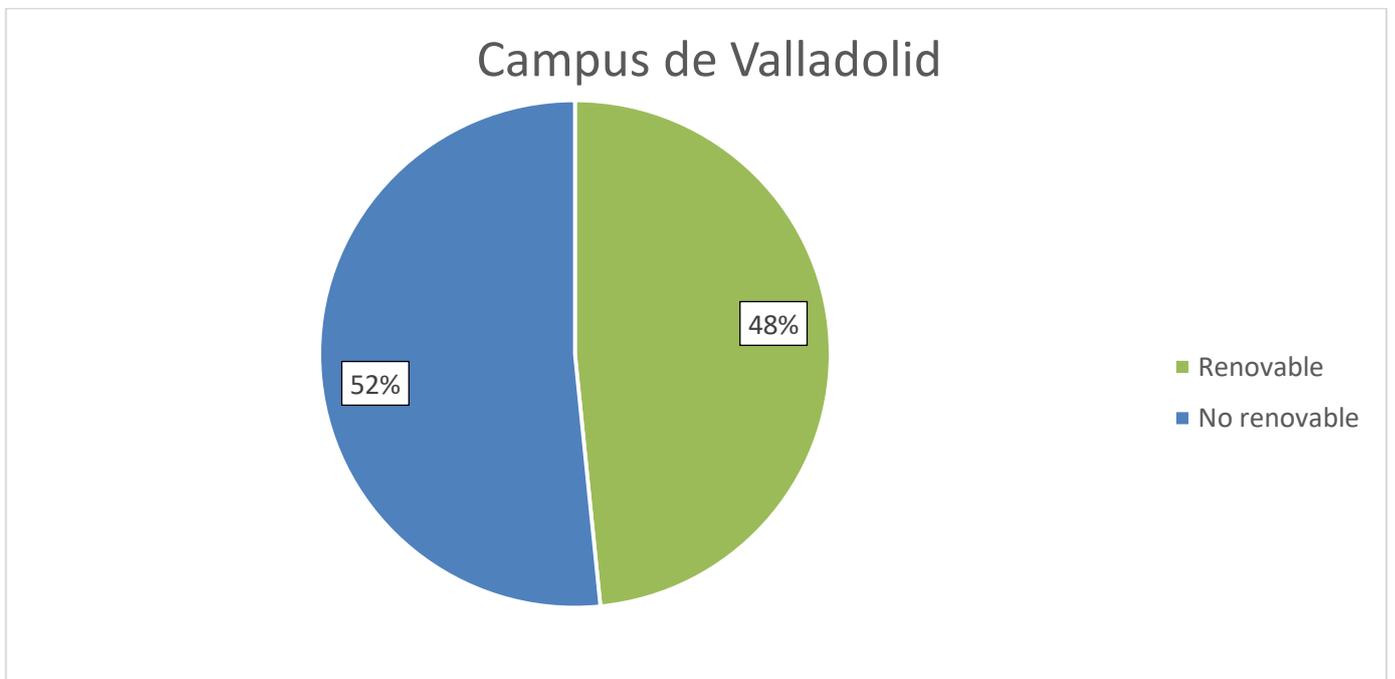


Gráfico 3.22: proporción de la energía final consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Valladolid.

Se incluyen también el mismo tipo de gráficos referidos en este caso a la UVa globalmente, considerando el conjunto de los cuatro campus:

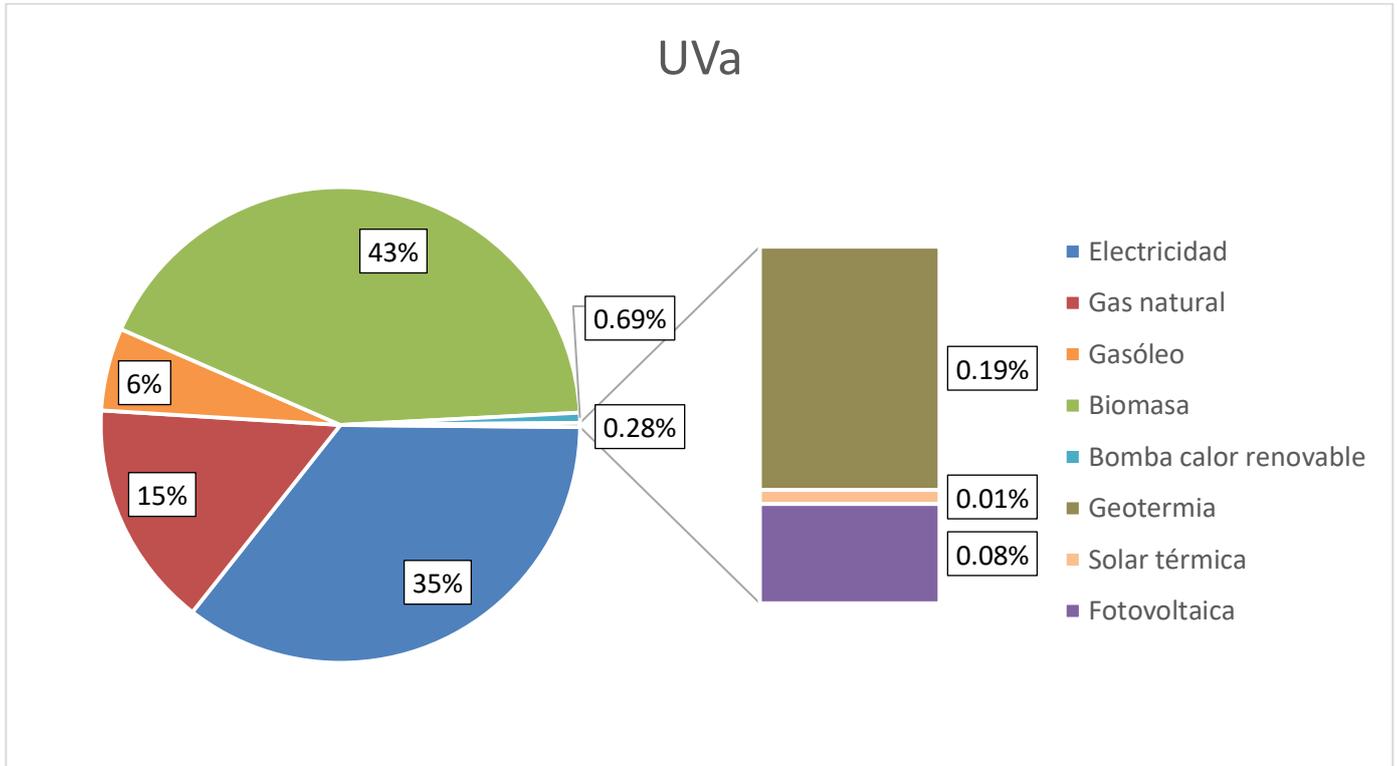


Gráfico 3.23: desglose del consumo de energía final en toda la UVa.

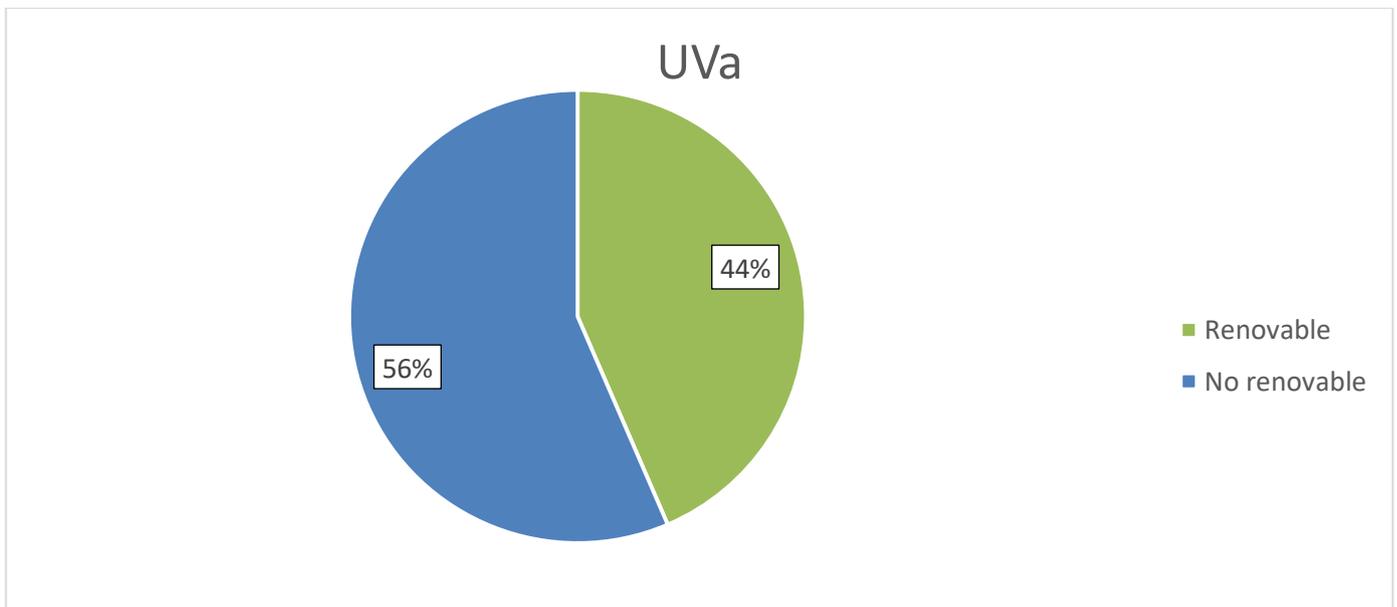


Gráfico 3.24: proporción de la energía final consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el toda la UVa.

No obstante, resulta relevante también **cuantificar** este consumo energético, y no sólo estudiar la proporción que cada fuente energética supone en el consumo. Esto aparece representado en el siguiente gráfico, considerando el consumo a lo largo de un año:

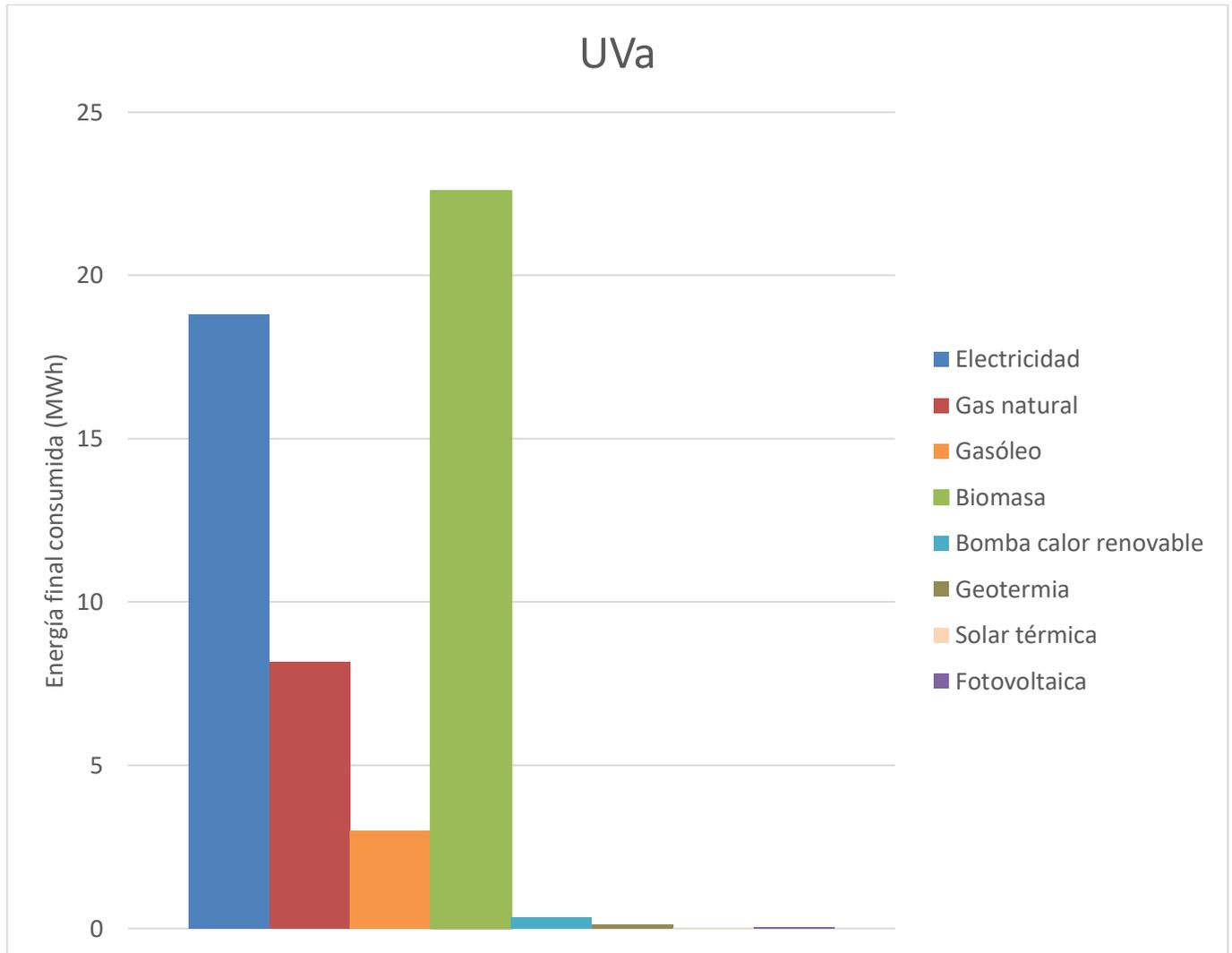


Gráfico 3.25: desglose y cuantificación del consumo de energía final en la UVa.

Del mismo modo, es importante conocer la **proporción** que cada campus representa en el consumo energético total, lo que se muestra en el gráfico a continuación. En él se distingue también la fracción de energía final consumida en cada campus que se considera renovable.

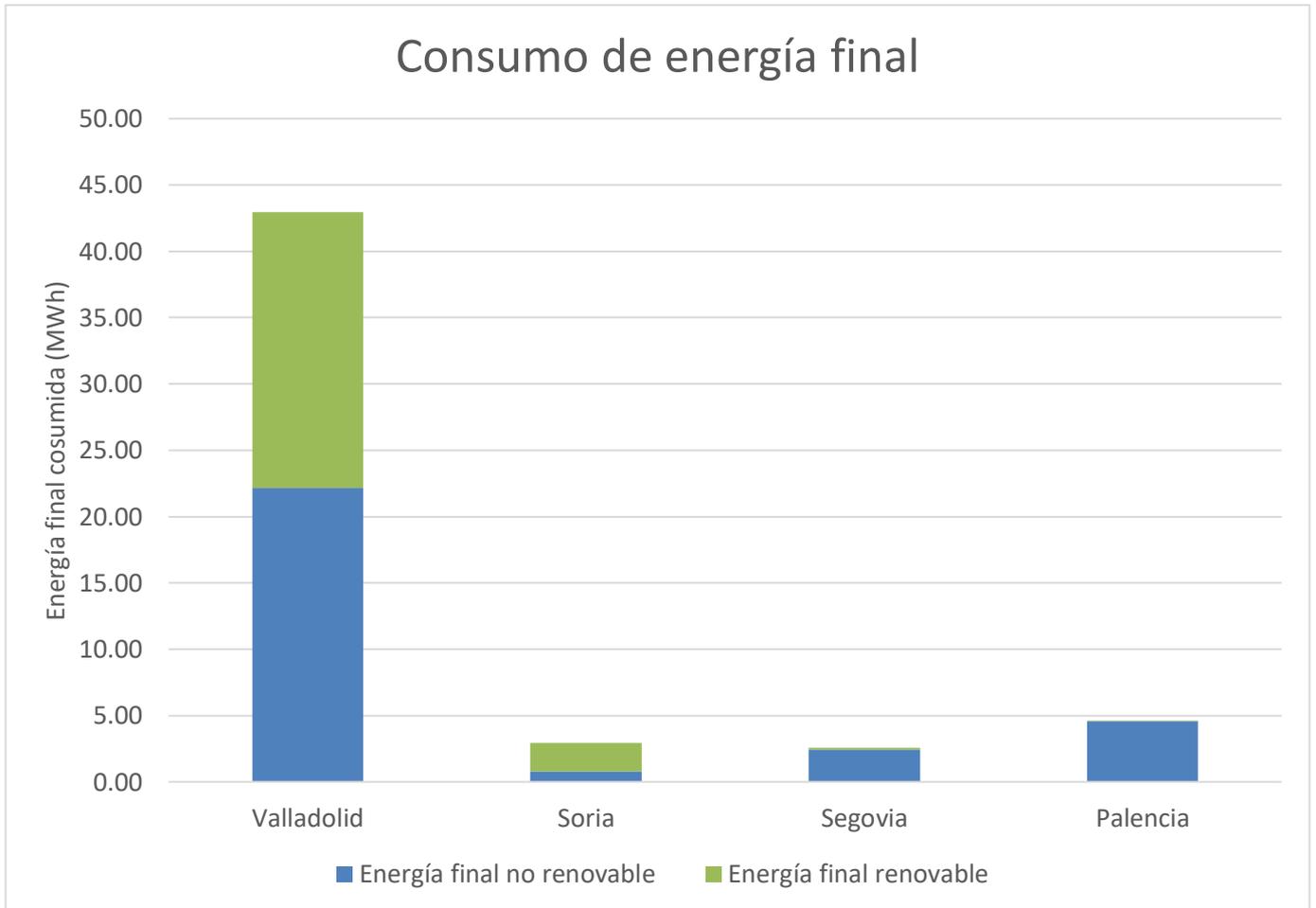


Gráfico 3.26: desglose y clasificación en renovable/no renovable del consumo de energía final total por campus.

Sumando la contribución de cada campus al consumo energético, se pueden obtener los datos de **consumo de energía final a lo largo de un año**:

Energía final renovable consumida	23,10 MWh
Energía final no renovable consumida	29,95 MWh
Energía final total consumida	53,05 MWh

Tabla 3.6: consumo anual de energía primaria renovable, no renovable y total, en la UVa.

3.2.2 CONSUMO ENERGÉTICO PRIMARIO

Como ya se ha indicado, existe una diferencia entre la energía final y la energía primaria que se consumen. Hecho ya el estudio y análisis de los datos de la energía final, se procede ahora a hacer lo propio con la energía primaria.

Este estudio es importante ya que ofrece una **imagen más precisa** acerca del empleo de energías renovables y no renovables, dado que en cada país la generación de la energía que se consume finalmente se realiza de manera conjunta por una serie de tecnologías de diferente impacto ambiental. Tanto es así que existen incluso diferencias dentro de la misma nación, por lo que resulta de especial relevancia discernir entre energía primaria renovable y no renovable.

En España, el organismo encargado de establecer los **coeficientes de conversión de energía final a energía primaria** es el IDAE (Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía), mediante el **documento** “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.” [7]. El paso de energía final a energía primaria mediante los coeficientes indicados en este documento se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Energía primaria} = \text{Energía final} * \text{Coeficiente de paso} \quad \text{Ec. 3.1}$$

Existen **dos coeficientes** de paso para cada tipo de energía final consumida, siendo uno para la conversión a energía primaria renovable y el otro a energía primaria no renovable.

En el caso del consumo energético procedente de **fuentes renovables instaladas en la UVa** el paso de energía final a primaria se hace **de forma directa**, considerando que la energía final pasa íntegramente a energía primaria renovable.

A continuación se muestra la **proporción** de energía primaria renovable y no renovable consumidas en los diferentes campus y en el conjunto de la UVa, así como una **cuantificación** de ambas.

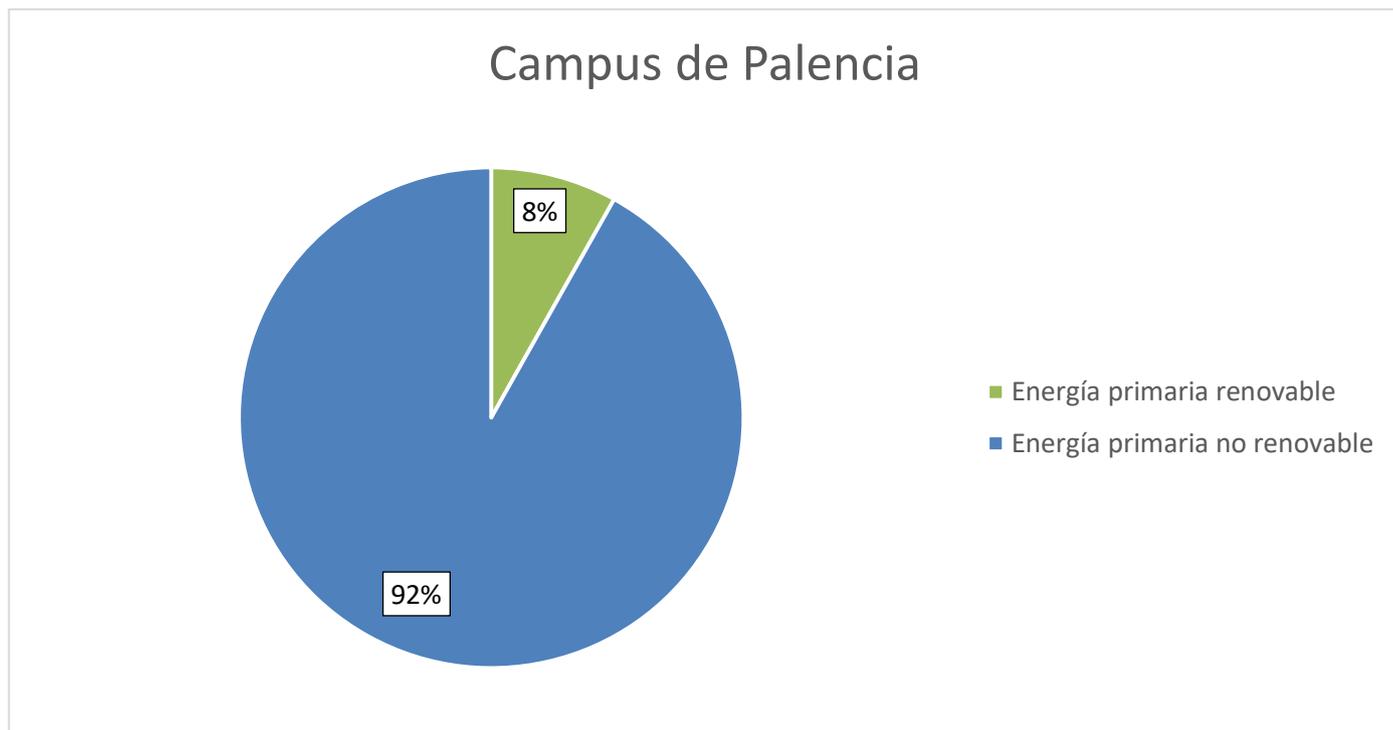


Gráfico 3.27: Proporción de la energía primaria consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Palencia

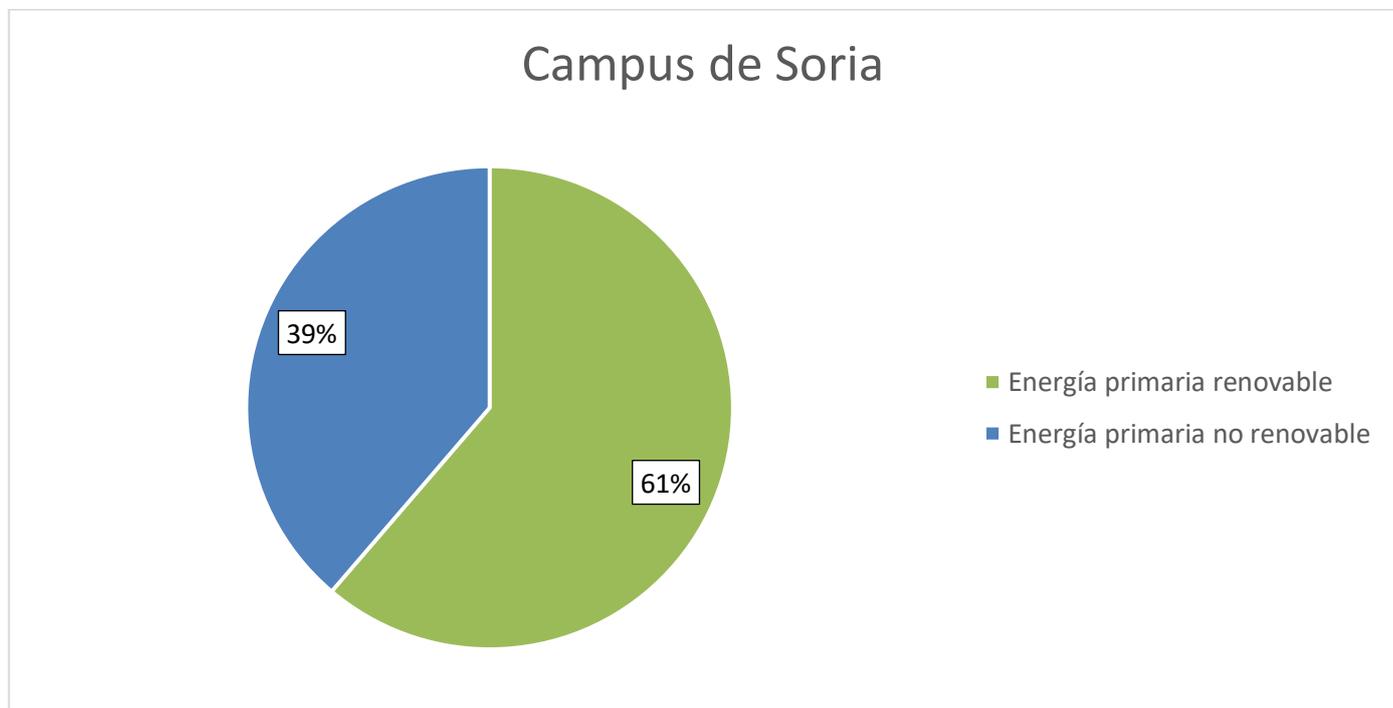


Gráfico 3.28: Proporción de la energía primaria consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Soria

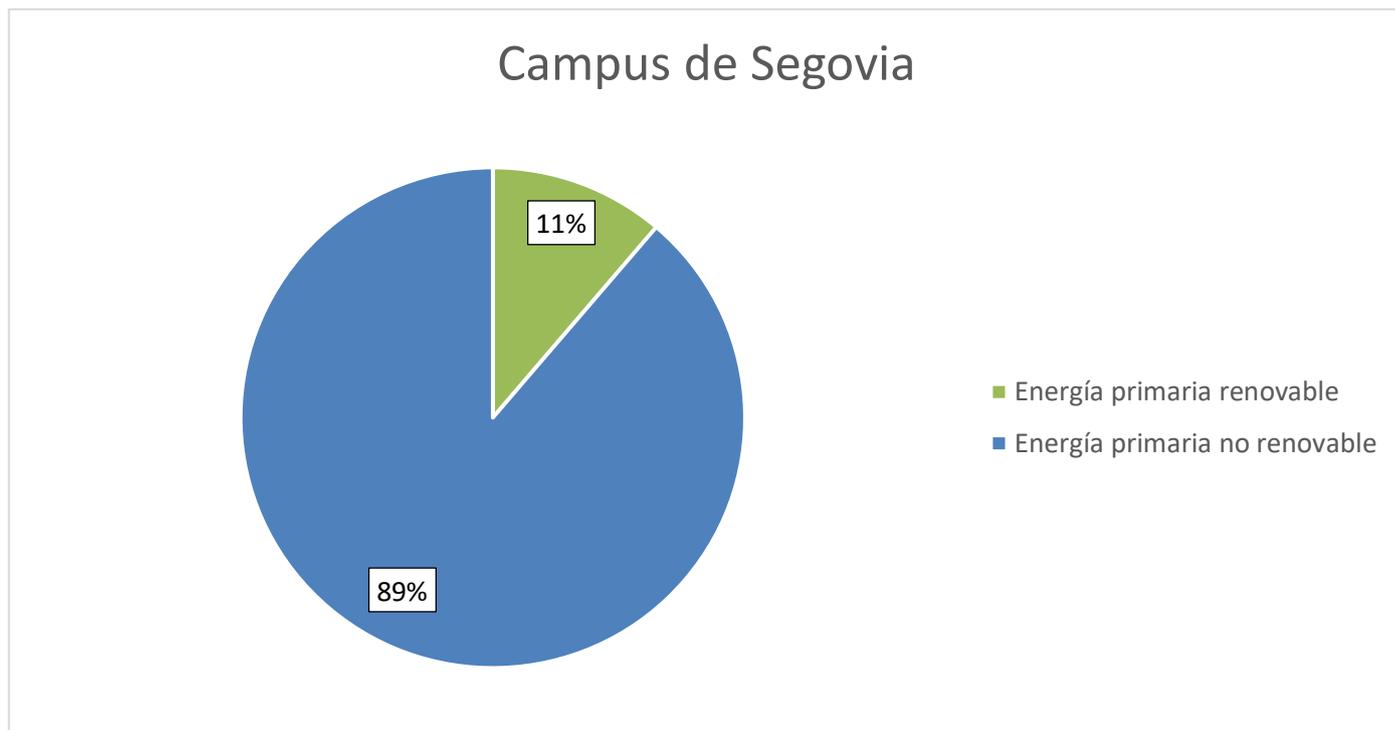


Gráfico 3.29: Proporción de la energía primaria consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Segovia

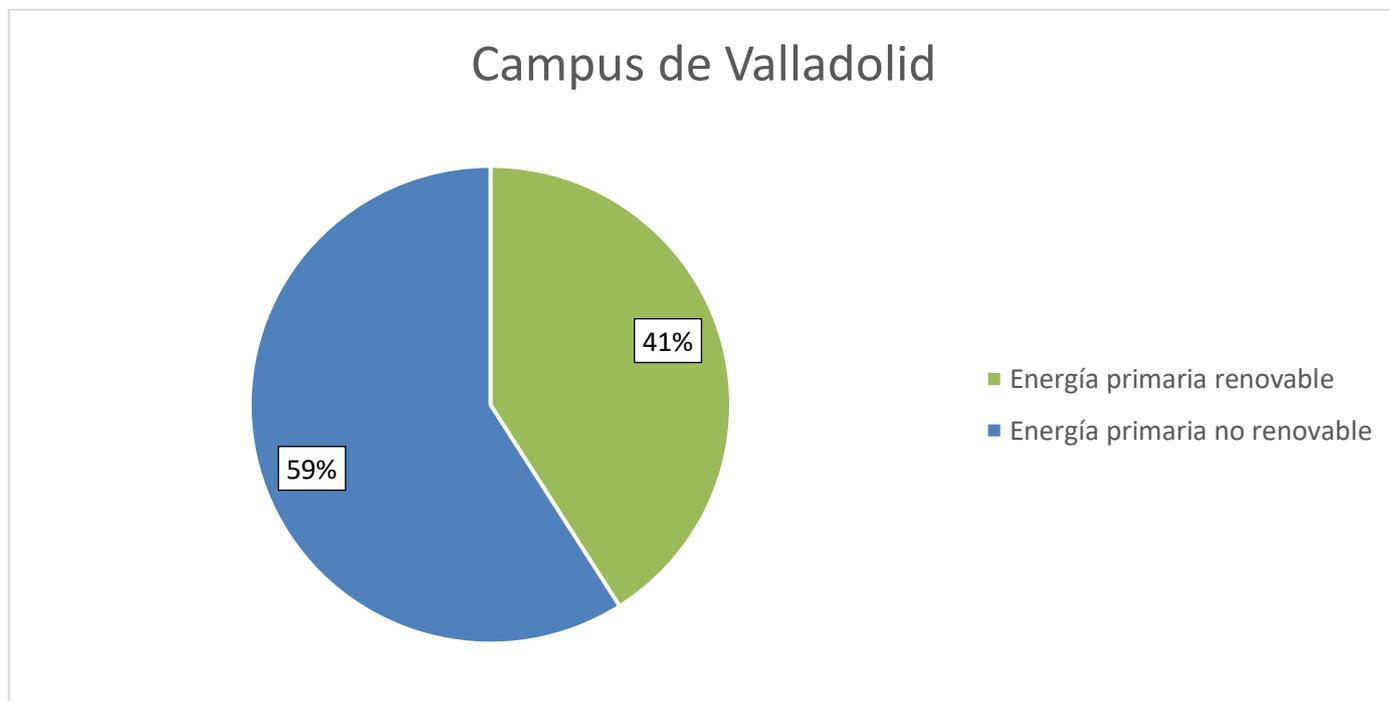


Gráfico 3.30: Proporción de la energía primaria consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el campus de Valladolid

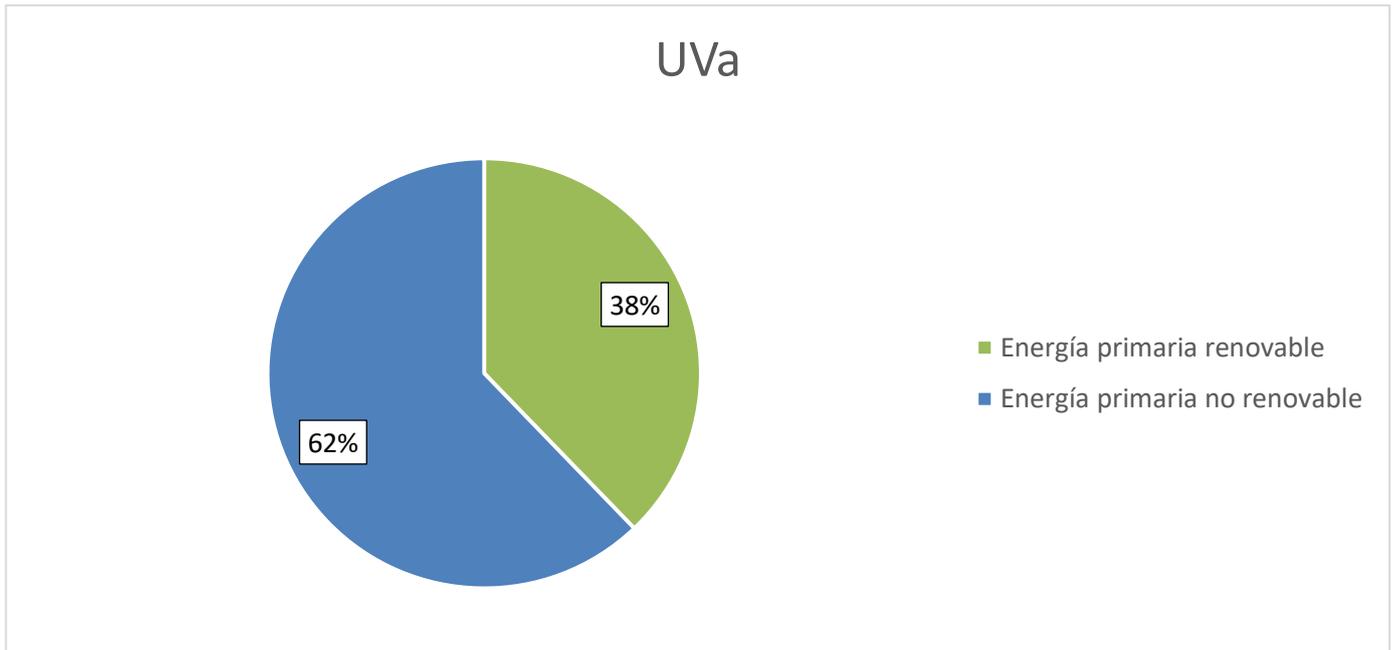


Gráfico 3.31: Proporción de la energía primaria consumida distinguiendo en renovable/no renovable en el conjunto de la UVa

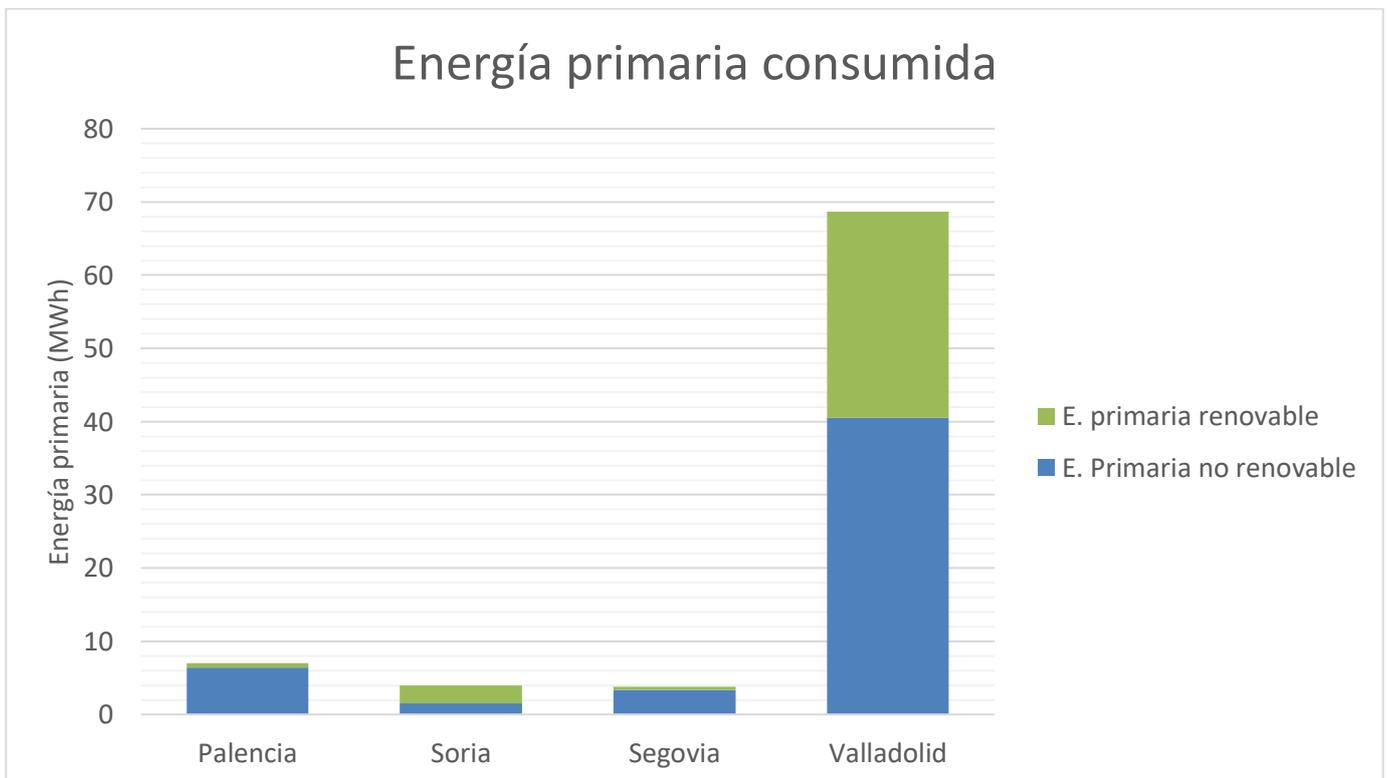


Gráfico 3.32: Cuantificación del consumo de energía primaria distinguiendo en renovable/no renovable en los cuatro campus de la UVa.

Sumando los consumos de los cuatro campus se puede conocer **el consumo total anual de energía primaria** en la Universidad de Valladolid, distinguiendo en energía primaria renovable y no renovable. Los resultados son los que se muestran a continuación:

Energía primaria renovable consumida al año	31,57 MWh
Energía primaria no renovable consumida al año	51,91 MWh
Energía primaria total consumida al año	83,48 MWh

Tabla 3.7: consumo anual de energía primaria renovable, no renovable y total, en la UVa.

3.2.3 EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO

El documento de IDAE “Factores de emisión de CO₂ y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.” [7] también indica una serie de coeficientes de paso para calcular las **emisiones de dióxido de carbono** a la atmósfera a causa del consumo de cada tipo de energía final. El cálculo se realiza mediante la expresión:

$$Kg \text{ de } CO_2 \text{ emitidos} = kWh \text{ de energía final} * \text{Coeficiente de paso de emisiones} \quad \text{Ec. 3.2}$$

De este modo se pueden **cuantificar** las emisiones correspondientes a cada campus de la UVa, y al total emitido por el conjunto de la Universidad mediante la suma de estas, tal como se muestra a continuación:

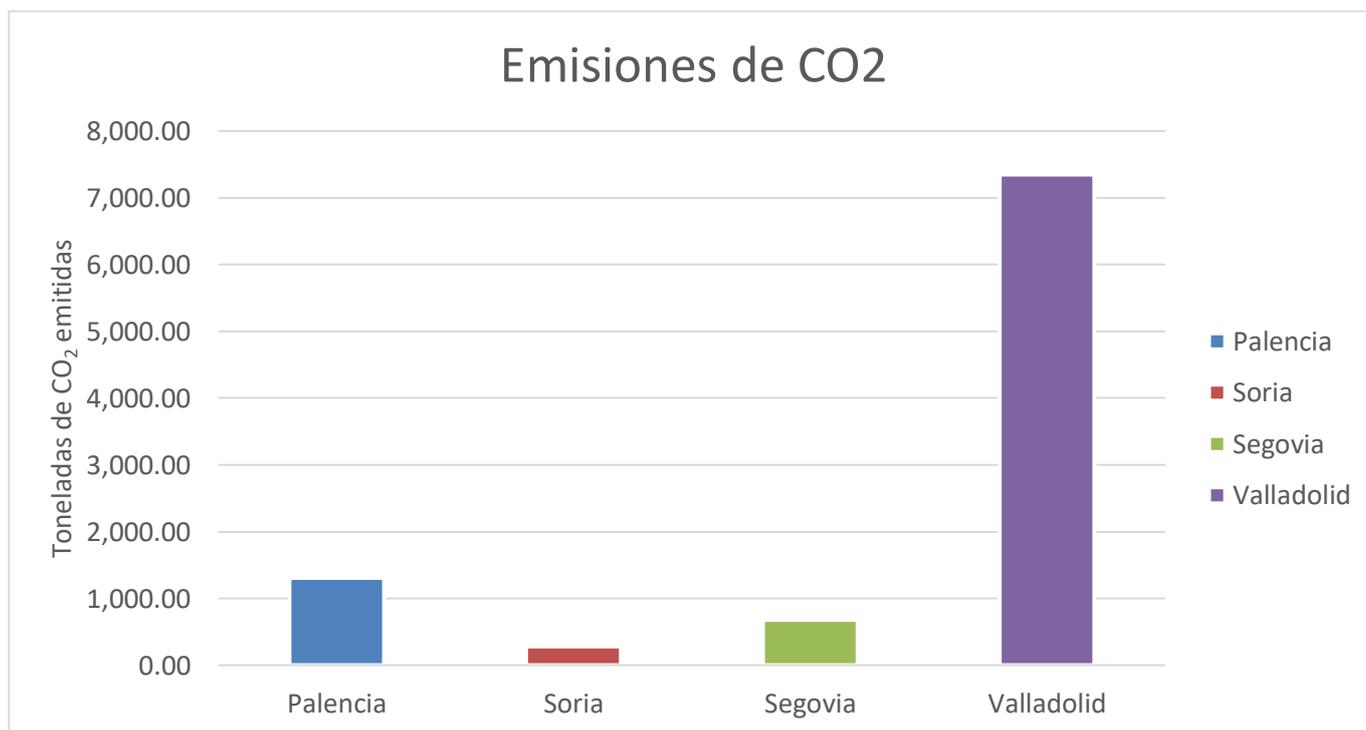


Gráfico 3.33: emisiones de dióxido de carbono en cada campus de la UVa.

Emisiones totales anuales de CO₂	9.617,6 Toneladas
--	--------------------------

Tabla 3.8: emisiones totales anuales de dióxido de carbono en la UVa.

El **peso** que representan las emisiones de cada campus de la Universidad respecto al total es el que se muestra a continuación:

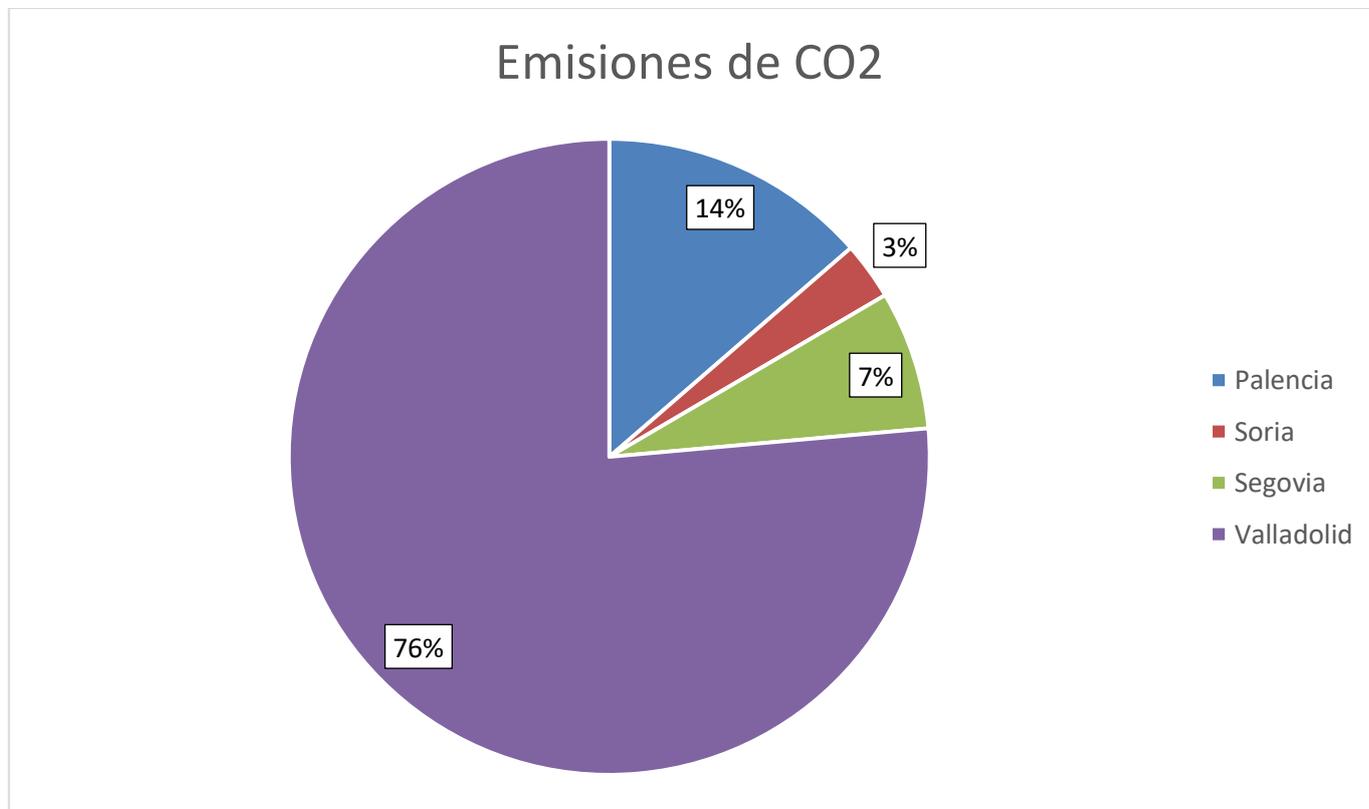


Gráfico 3.34: Proporción de las emisiones de dióxido de carbono correspondientes a cada campus de la UVA.

Para poder evaluar el **impacto** que tiene la utilización de las tecnologías de energías renovables (EERR) en materia de **emisiones de dióxido de carbono**, se va a realizar una estimación según el siguiente procedimiento:

Dado que las fuentes energéticas no renovables que se usan en la UVA son tres (electricidad convencional peninsular, gas natural y gasóleo para calefacción), se realizará un promedio de los coeficientes de emisiones de las tres. Ese **coeficiente promedio** se multiplicará por la cantidad de energía consumida que se ha producido con tecnologías de energías renovables en la UVA (fotovoltaica, biomasa, etc.), para calcular las emisiones que se producirían en el caso de producir esa misma cantidad de energía a partir de fuentes no renovables.

Una vez hecha esta estimación, se compararán ambos valores de emisión: los resultantes del empleo de tecnologías de energías renovables (ya obtenidos) y los que se emitirían de no ser empleadas estas tecnologías (los recién calculados). De este modo se puede calcular el ahorro de emisiones. Los resultados son los que se muestran a continuación:

Emisiones de CO ₂ anuales usando EERR	9617,6 Toneladas
Emisiones de CO ₂ anuales sin usar EERR	16095,5 Toneladas

Tabla 3.9: niveles de emisión de dióxido de carbono anuales en la UVa con el uso actual de energías renovables y en el caso hipotético de usar solo energías no renovables.

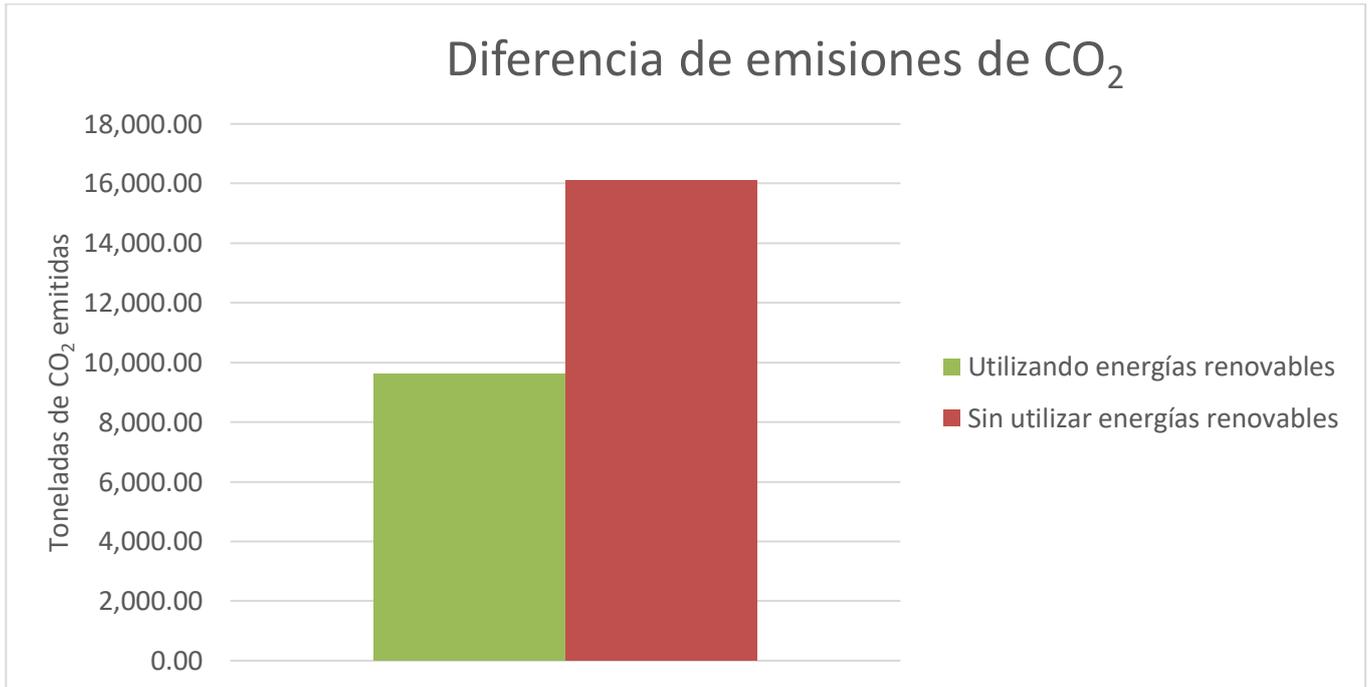


Gráfico 4.1: diferencia comparativa en las emisiones de dióxido de carbono anuales en la UVa con y sin el empleo de energías renovables

Capítulo 4: Conclusiones

Conclusiones

Conclusiones

Concluido el análisis energético y de las emisiones de dióxido de carbono en la Universidad de Valladolid, procede realizar la valoración de los resultados conforme a los objetivos de descarbonización ambiental y de impulso de las energías renovables.

Tal y como se ha podido observar, la mayor parte del **consumo energético** de la UVa tiene lugar en el campus de Valladolid. Esto resulta evidente, dado el mayor número de edificios presentes en él en comparación con el resto de campus, a los que se debe prestar suministro energético.

Destaca también la gran relevancia de las **energías renovables** en el consumo energético de la Universidad. Este es menos patente en **Palencia** y **Segovia**, donde queda limitado a la generación de electricidad por medios fotovoltaicos y al empleo de bombas de calor que se pueden considerar como renovables, respectivamente.

Estas tecnologías también están implantadas en **Valladolid**, junto con otras diferentes. No obstante, su peso es comparativamente pequeño, si consideramos la importancia del consumo de **biomasa** para la generación de energía térmica, que se utiliza para suministrar calefacción a un gran número de edificios por medio del sistema de District Heating.

Tanto es así, que la biomasa es la principal fuente energética consumida en el campus de Valladolid, por delante incluso de no renovables como la electricidad o el gas natural. A consecuencia de esto, y dado que este campus representa el consumo mayoritario de toda la UVa, la biomasa resulta ser la principal fuente energética, seguida por la electricidad en segundo puesto y después por el gas natural en tercero y el gasóleo de calefacción en cuarto.

Contribuye también al consumo de biomasa el campus de **Soria**, en el que casi tres cuartas partes de la energía consumida provienen de ella. Es a causa de ello que sea el campus que más uso hace de las energías renovables, con un consumo de **energía primaria** mayoritariamente renovable.

En este último aspecto, aunque el consumo de los campus de Palencia y Segovia dependa en menor medida de las energías renovables, una gran parte del consumo energético del conjunto de la Universidad de Valladolid procede de fuentes renovables. En concreto, el **38% de la energía primaria** y un **44% de la energía final** consumida anualmente proceden de fuentes de energía **renovables**.

Además, tal y como se ha podido apreciar, la utilización de tecnologías de energías renovables para garantizar el suministro energético a la Universidad de Valladolid implica una notable **reducción en los niveles de emisiones** de dióxido de carbono a la atmósfera.

En concreto, se reduce la cantidad de CO₂ emitido en unas **6478 toneladas**, lo que supone una **reducción del 40% de las emisiones** que tendrían lugar de utilizarse exclusivamente energías no renovables.

Conclusiones

Con esto, y aunque tanto los objetivos fijados por la ONU y la UE como los planteados por el propio Gobierno de España hacen referencia a la generación de energía a nivel nacional, resulta posible establecer una analogía entre estos y la UVa como entidad generadora y consumidora de energía.

De este modo, si se tiene en cuenta el “Acuerdo 20-20-20” de la UE, queda patente que la Universidad de Valladolid cumple claramente los objetivos de reducir un 20% sus emisiones de dióxido de carbono y aumentar un 20% el uso de energías renovables para el año 2020.

Además, si la UVa mantiene su apuesta por las energías renovables, la meta fijada por el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima de alcanzar una cuota de generación de energía a partir de fuentes renovables del 43% para el 2025 es un objetivo factible.

Bibliografía y referencias

Bibliografía y referencias

Bibliografía y referencias

Estudios, informes y estadísticas.

[1] Cordero, Raul & Feron, Sarah & Damiani, Alessandro & Llanillo, Pedro & Carrasco, Jorge & Jorquera, Jose & Sepulveda, Edgardo & Carrera, Juan. (2019). *Cambio Climático - Respuestas a las Preguntas Claves (in Spanish)*. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/>

[2] Javier María Rey Hernández, J., Lorenzo González, S., San José Alonso, J.F., Ana Tejero González, Velasco Gómez, E., Rey Martínez, F. J. (junio, 2018) Design and characterization of a geothermal earth-air heat exchanger (EAHX), applied to nZEB building. Trabajo presentado en el *IX Congreso Ibérico y VII Congreso Iberoamericano de las Ciencias y Técnicas del Frío*, Valencia, España.

Normas y reglamentos.

[3] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España. (2014). *Prestaciones medias estacionales de las bombas de calor para producción de calor en edificios*.

[4] Parlamento Europeo. (abril de 2009). *Directiva 2009/28/CE relativa al fomento de uso de energía procedente de fuentes renovables*.

[5] Ministerio de Vivienda, Gobierno de España. (2013). *Código Técnico de la Edificación*

[6] Parlamento Europeo. (marzo de 2013). *Decisión de la comisión por la que se establecen las directrices para el cálculo por los Estados miembros de la energía renovable procedente de las bombas de calor de diferentes tecnologías*.

[7] Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía. Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España. (2014). *“Factores de emisión de CO2 y coeficientes de paso a energía primaria de diferentes fuentes de energía final consumidas en el sector de edificios en España.”*

Artículos

[8] Rey-Hernández, J., Velasco-Gómez, E., San José-Alonso, J., Tejero-González, A., González-González, S., & Rey-Martínez, F. (2018). Monitoring Data Study of the Performance of Renewable Energy Systems in a Near Zero Energy Building in Spain: A Case Study. *Energies*, 11(11), 2979. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/en11112979>

Bibliografía y referencias

Libros

[9] Martínez, P. R. (2009). *Energía Solar Térmica*. Marcombo.

[10] Velasco, J. G. (2009). *Energías renovables*. Editorial Reverté.

Trabajos de Fin de Carrera.

[11] Galindo Llorente, P. (2018). *Estudio del consumo energético en un District Heating (DH) de la Universidad de Valladolid* (Trabajo Fin de Grado). Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/28844>

[12] Caballero San Segundo, S. (2015). *Estudio del potencial de Energías Renovables en la Universidad de Valladolid* (Trabajo Fin de Grado). Recuperado de: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/16940>

Otros.

[13] *Historical carbon dioxide emissions from global fossil fuel combustion and industrial processes from 1758 to 2018 (in million metric tons)*. Recuperado de: <https://www.statista.com/>

[14] Secretaría de Estado de energía, Ministerio de energía, turismo y agenda digital, Gobierno de España. (2017) *La energía en España en 2016*.

[15] Naciones Unidas (1998). *Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*.

[16] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España (2015). *Resultados de la COP21*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/>

[17] Organización de las Naciones Unidas. *Objetivos de desarrollo sostenible*. Recuperado de: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>

[18] Comisión Europea. *Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020*. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/clima/>

[19] Comisión Europea. (2019) *Green Deal: El camino para una Europa neutra climáticamente*. Recuperado de: <https://ec.europa.eu/>

Bibliografía y referencias

[20] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España (2020). *Proyecto de Ley de Cambio Climático y Transición Energética*. Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/ministerio/>

[21] Vicerrectorado de Instalaciones de la Universidad de Valladolid. *Plan de calidad ambiental de la Universidad de Valladolid*. Recuperado de: <https://www.uva.es/>

[22] Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Gobierno de España. (marzo de 2019). *Febrero de 2019, un mes de récords*. Recuperado de: http://www.aemet.es/es/noticias/2019/03/Resumen_febrero_2019

Catálogos.

[23] DAIKIN. (2015) *Manual de instalación y funcionamiento de equipos de aire acondicionado VRV*.

Bibliografía de imágenes WEB.

[W1] <https://climate.nasa.gov/>

[W2] <https://www.energias-renovables.com/panorama/>

[W3] <https://ingemecanica.com/>

[W4] <http://www.uva.es/export/sites/uva/6.vidauniversitaria/>

[W5] <https://fuentelamora.es/>

[W6] <https://sites.google.com/site/electblearning01/materiales>

[W7] <https://www.energias-renovables.com/fotovoltaica/>

[W8] <https://e-ficiencia.com/>

[W9] <https://www.cityplan.es/>

[W10] <https://www.cortizo.com/es/>

[W11] <https://www.tecnologia-industrial.es/tecnologiaindustrial/bomba-de-calor/>

[W12] <https://www.globalcarbonproject.org/>

Bibliografía y referencias

[W13] <https://www.interempresas.net/Construccion/>

[W14] wikimapia.org/

[W15] <https://julioprensauniversitat.wordpress.com/>

Anexos

Anexos

6.1 CÁLCULOS ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Dado que la instalación de los colectores en ambos casos está realizada de modo que no haya edificios ni obstáculos que puedan proyectar sombras sobre los paneles, resulta viable el no considerar pérdidas este factor.

Se considera además que la inclinación de los paneles es la óptima dada la latitud geográfica en la que están emplazados. Por ello, tampoco se considerarán pérdidas por el factor de inclinación.

Sí que habrá, no obstante, que considerar las pérdidas que se producen por la orientación de los paneles, ya que en ambos casos están orientados aproximadamente a unos +15° de acimut, en contraposición a la orientación óptima que sería de 0° respecto del sur.

Además de todo esto, y con el fin de aportar unos resultados lo más ajustados posible a la situación real, se incluirán los datos concretos de radiación solar media mensual para Valladolid, a diferencia del procedimiento más general que marca el CTE, delimitando zonas geográficas más amplias para la determinación de la radiación solar que llega a la superficie terrestre.

Los datos básicos para proceder al cálculo de la energía que aportan al circuito de ACS los colectores solares térmicos en el complejo deportivo de Fuente la Mora son:

- El número de paneles instalados: 21
- El modelo de los paneles: Greensun 2.6VS (ver **Anexo 6.2**)
- La radiación solar media mensual en la localidad
- El ángulo de acimut de orientación: +15°

El fabricante indica el rendimiento que tiene el panel, mediante una curva. Para abordar la estimación, se considera un rendimiento intermedio.

$$\eta_{medio} = \frac{0,79+0,25}{2} = 0,52 \quad \text{Ec. 6.1}$$

El área a considerar en este caso será la que el fabricante define para especificar el rendimiento, es decir, 2,33m² por cada panel. Como en total hay 21 paneles, el área total será:

$$Á_{total} = 21 \cdot 2,33m^2 = 48,93m^2 \quad \text{Ec. 6.2}$$

El CTE nos indica que podemos calcular las pérdidas por orientación mediante la expresión:

$$Pérdidas (\%) = 100 \cdot \left[1,2 \cdot 10^{-4} (\beta - \beta_{opt})^2 + 3,5 \cdot 10^{-5} \alpha^2 \right] \quad \text{Ec. 6.3}$$

En este caso, según se ha indicado previamente, el ángulo de inclinación β coincide con el óptimo β_{opt} , y el ángulo de acimut α es de +15°. Por tanto, se obtiene que:

$$Pérdidas (\%) = 0,7875 \% \rightarrow \eta_{pérdidas} = 0,992125 \quad \text{Ec. 6.4}$$

Anexos

Con esto y con los datos de radiación mensual (ver **Anexo 6.2**) por unidad de superficie en la localización geográfica de las piscinas, se puede calcular la energía producida cada mes como:

$$E_{\text{producida}} = \eta_{\text{medio}} \cdot \eta_{\text{pérdidas}} \cdot \dot{A}_{\text{total}} \cdot R_{\text{mensual}} \quad \text{Ec. 6.5}$$

Los resultados aparecen recogidos en la siguiente tabla:

Fuente la Mora		
Mes	Radiación mensual (kWh/m²)	Energía térmica producida (kWh)
Enero	1,9	48,0
Febrero	2,9	73,2
Marzo	4,6	116,1
Abril	5,7	143,9
Mayo	6,7	169,1
Junio	7,9	199,4
Julio	7,7	194,4
Agosto	6,8	171,7
Septiembre	5,2	131,3
Octubre	3,5	88,4
Noviembre	2,2	55,5
Diciembre	1,7	42,9
Total (kWh):		1433,9

Tabla 6.1: Energía producida por los colectores solares térmicos cada mes, y energía total producida a lo largo de un año en la instalación solar de Fuente la Mora

En el caso de la instalación de los Apartamentos Universitarios Cardenal Mendoza, el procedimiento general de cálculo será idéntico. En este caso, no obstante, se desconoce el modelo concreto, pero no el número de paneles. Por ello, se estimará que se trata del mismo modelo que en el caso de Fuente la Mora a efectos prácticos, pero se incluirá en la ecuación un factor de rendimiento que disminuya la energía final producida. Esto es así para tener en cuenta su antigüedad, con las consecuentes diferencias de rendimiento que ello implica respecto a un panel moderno y nuevo. Por ello, los datos en este nuevo caso serán:

- El número de paneles instalados: 93
- El modelo de los paneles: Greensun 2.6VS (ver **Anexo 6.2**)
- La radiación solar media mensual en la localidad

Anexos

- El ángulo de acimut de orientación: +15°
- Rendimiento práctico: 70% del teórico

Por tanto, tendremos que al igual que antes:

$$\eta_{medio} = \frac{0,79+0,25}{2} = 0,52 \quad \text{Ec. 6.6}$$

El área total en este caso será:

$$\dot{A}_{total} = 93 \cdot 2,33m^2 = 216,69m^2 \quad \text{Ec. 6.7}$$

Como la orientación es la misma, las pérdidas a consecuencia de ella también serán las mismas:

$$\eta_{pérdidas} = 0,992125 \quad \text{Ec. 6.8}$$

Y, a consecuencia del nuevo factor introducido, la expresión final para el cálculo de la energía producida queda de la siguiente manera:

$$E_{producida} = \eta_{medio} \cdot \eta_{pérdidas} \cdot \eta_{práctico} \cdot \dot{A}_{total} \cdot R_{mensual} \quad \text{Ec. 6.9}$$

Los resultados quedan recogidos en la siguiente tabla:

Aptos. Cardenal Mendoza		
Mes	Radiación mensual (kWh/m ²)	Energía térmica producida (kWh)
Enero	1,9	148,7
Febrero	2,9	227,0
Marzo	4,6	360,0
Abril	5,7	446,1
Mayo	6,7	524,3
Junio	7,9	618,3
Julio	7,7	602,6
Agosto	6,8	532,2
Septiembre	5,2	407,0
Octubre	3,5	273,9
Noviembre	2,2	172,2
Diciembre	1,7	133,0
Total (kWh):		4445,2

Tabla 6.2: Energía producida por los colectores solares térmicos cada mes, y energía total producida a lo largo de un año en la instalación solar de los Apartamentos Universitarios Cardenal Mendoza.

6.2 DATOS ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

GREENSUN 2.6 VS



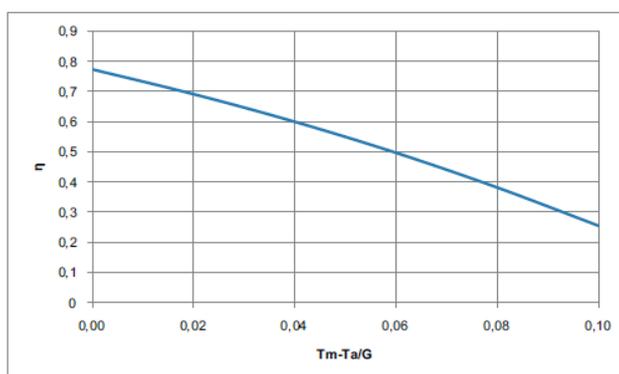
Captador		GREENSUN 2.6 VS
Área apertura	m ²	2.33
Área absorbedor	m ²	2.33
Alto	mm	2089
Ancho	mm	1234
Fondo	mm	98
Área bruta	m ²	2.98
Peso en vacío	Kg	34.4
Volumen de fluido	l	1.34
Presión máx. de trabajo	bar	10 bar
Rango de caudales	l/hm ²	30 - 115
Temp. estancamiento	°C	214.8
Potencia pico (G=1000 W/m ²)	W	1799
Curva respecto	Área apertura	
Rendimiento óptico	%	77.2
Pérdidas K1	W/m ² -K	3.762
Pérdidas K2	W/m ² -K ²	0.014

Norma homologación

EN 12975-1:2006 EN 12975-2:2006 ISO 9806:2013

Certificación KEYMARK en todos los modelos

Diseño registrado 002054643

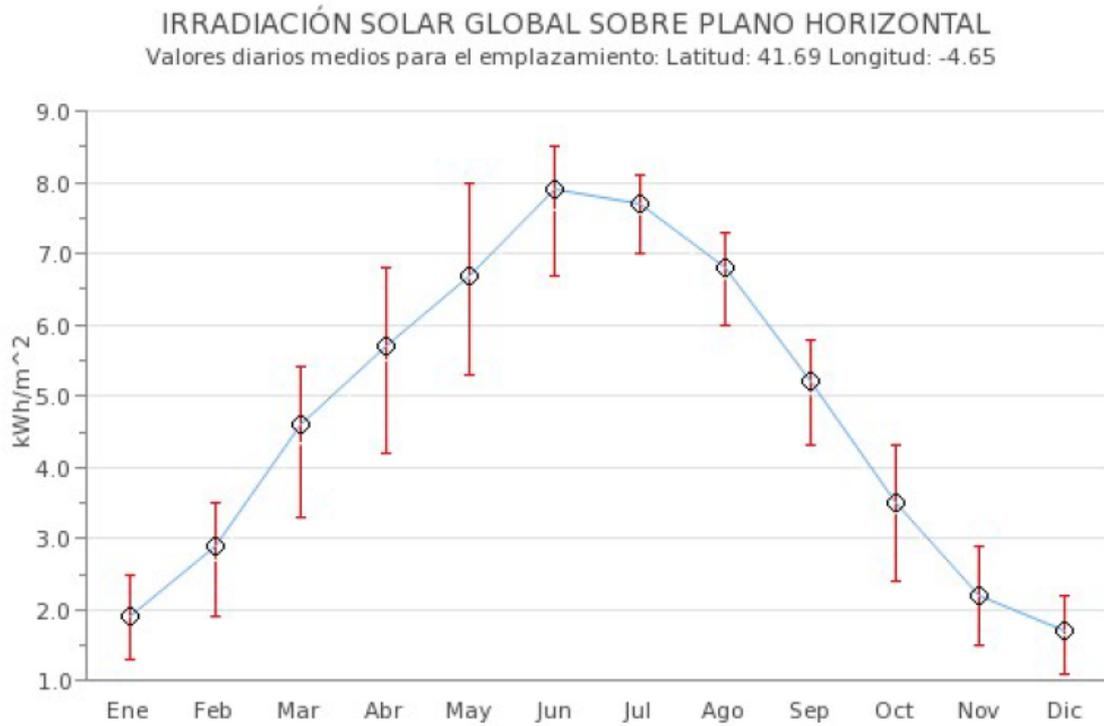


6



Figura 6.1: Especificaciones técnicas de los colectores solares instalados en el complejo deportivo de Fuente la Mora.

Anexos



(kWh/m ²)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Percentil 75	2.5	3.5	5.4	6.8	8.0	8.5	8.1	7.3	5.8	4.3	2.9	2.2
Valor medio	1.9	2.9	4.6	5.7	6.7	7.9	7.7	6.8	5.2	3.5	2.2	1.7
Percentil 25	1.3	1.9	3.3	4.2	5.3	6.7	7.0	6.0	4.3	2.4	1.5	1.1

Figura 6.2: Datos de la radiación solar media incidente sobre la superficie terrestre en la ubicación geográfica de la instalación de colectores solares del complejo deportivo de Fuente la Mora.

Anexos

6.3 CÁLCULOS BOMBAS DE CALOR

Según se ha indicado y como se puede apreciar a continuación, la Directiva Europea marca los valores de H_{HP} (Horas anuales equivalentes de una bomba de calor) y SPF que deben presentar las bombas de calor accionadas eléctricamente para que puedan ser consideradas renovables:

Valores por defecto de H_{HP} y SPF ($SCOP_{net}$) de las bombas de calor accionadas eléctricamente

		Condiciones climáticas					
		Clima más cálido		Clima medio		Clima más frío	
Fuente energética de la bomba de calor:	Fuente energética y medio de distribución	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)	H_{HP}	SPF ($SCOP_{net}$)
Energía aerotérmica	Aire-Aire	1 200	2,7	1 770	2,6	1 970	2,5
	Aire-Agua	1 170	2,7	1 640	2,6	1 710	2,5
	Aire-Aire (reversible)	480	2,7	710	2,6	1 970	2,5
	Aire-Agua (reversible)	470	2,7	660	2,6	1 710	2,5
	Aire de salida-Aire	760	2,7	660	2,6	600	2,5
	Aire de salida-Agua	760	2,7	660	2,6	600	2,5
Energía geotérmica	Tierra -Aire	1 340	3,2	2 070	3,2	2 470	3,2
	Tierra-Agua	1 340	3,5	2 070	3,5	2 470	3,5
Calor hidrotérmico	Agua-Aire	1 340	3,2	2 070	3,2	2 470	3,2
	Agua-Agua	1 340	3,5	2 070	3,5	2 470	3,5

Tabla 6.3: Valores de H_{HP} y SPF según zona climática (diario oficial de la unión europea, decisión de la comisión de 1 de marzo de 2013)

Con el valor de H_{HP} y de SPF, junto con la potencia nominal de la bomba de calor (P_{rated}) se puede calcular el Q_{usable} (calor útil estimado proporcionado por las bombas de calor) mediante la expresión:

$$Q_{usable} = H_{HP} \cdot P_{rated} \quad \text{Ec. 6.10}$$

No obstante, y como ya se ha mencionado, para estimar el SPF de la bomba se emplea el documento del IDAE, según la expresión:

$$SPF = COP_{nominal} \cdot FP \cdot FC \quad \text{Ec. 6.11}$$

Siendo el $COP_{nominal}$ (coeficiente de operación nominal) el indicado por el fabricante para el dispositivo, el FP un factor de ponderación dependiente de la zona climática y el FC un factor de corrección función de la diferencia de temperaturas

Anexos

entre la de condensación y aquella para la que se ha obtenido el COP. Dichos factores se obtienen de las tablas incluidas en el documento:

<i>Fuente Energética de la bomba de calor</i>	Factor de Ponderación (FP)				
	A	B	C	D	E
Energía Aerotérmica. Equipo centralizados.	0,87	0,80	0,80	0,75	0,75
Energía Aerotérmica. Equipos individuales tipo Split.	0,66	0,68	0,68	0,64	0,64
Energía Hidrotérmica.	0,99	0,96	0,92	0,86	0,80
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores horizontales.	1,05	1,01	0,97	0,90	0,85
Energía Geotérmica de circuito cerrado. Intercambiadores verticales.	1,24	1,23	1,18	1,11	1,03
Energía Geotérmica de circuito abierto.	1,31	1,30	1,23	1,17	1,09

Tabla 6.4: Factor de ponderación para bombas de calor [7]

Factor de Corrección (FC)						
Tª de condensación (°C)	FC (COP a 35°C)					
35	1,00	--	--	--	--	--
40	0,87	1,00	--	--	--	--
45	0,77	0,89	1,00	--	--	--
50	0,68	0,78	0,88	1,00	--	--
55	0,61	0,70	0,79	0,90	1,00	--
60	0,55	0,63	0,71	0,81	0,90	1,00

Tabla 6.5: Factor de corrección para bombas de calor [7]

La zona climática en la que se encuentra emplazado el equipo puede obtenerse mediante el uso del CTE. Para el cálculo del FC se considera que el fabricante ha realizado los ensayos para la determinación del COP según la norma, por lo que en todos los casos será igual a 1.

Una vez determinados todos estos parámetros, se puede proceder al cálculo de la energía procedente de fuentes renovables, según la fórmula:

$$E_{RES} = Q_{usable} \cdot \left(1 - \frac{1}{SPF}\right) \quad \text{Ec. 6.12}$$

Anexos

A continuación se muestran los resultados de los cálculos, en el caso del proyecto del edificio de la nueva fase del **Campus María Zambrano de Segovia**:

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIKIN VRV IV-REYQ22T	2	4,29	69,0	0,64	1	2,75	710	97.980	62.293,8
2	DAIKIN VRV IV-REYQ30T	1	4,12	93,5	0,64	1	2,64	710	66.385	41.208,6
3	DAIKIN VRV IV-REYQ32T	1	4,02	100,0	0,64	1	2,57	710	71.000	43.403,6
4	DAIKIN VRV IV-REYQ34T	1	4,06	106,0	0,64	1	2,60	710	75.260	46.296,0
5	DAIKIN VRV IV-REYQ36T	1	3,87	113,0	0,64	1	2,48	710	80.230	47.837,4
6	DAIKIN VRV IV-REYQ38T	1	4,24	119,0	0,64	1	2,71	710	84.490	53.354,2
7	DAIKIN VRV IV-REYQ44T	1	4,06	138,0	0,64	1	2,60	710	97.980	60.272,2
8	DAIKIN EWYQ016BAWP	2	2,97	17,0	0,64	1	1,90	710	24.140	11.440,1
9	DAIKIN EWYQ021BAWP	2	2,86	21,3	0,64	1	1,83	710	30.246	13.721,7
10	DAIKIN EWYQ025BAWP	1	2,75	25,7	0,64	1	1,76	710	18.247	7.879,4
11	DAIKIN EWYQ032BAWP	2	2,89	32,1	0,64	1	1,85	710	45.582	20.937,8
12	DAIKIN EWYQ040BAWP	3	2,89	42,5	0,64	1	1,85	710	90.525	41.582,0
13	DAIKIN EWYQ064BAWP	1	2,94	63,7	0,64	1	1,88	710	45.227	21.190,5

También se incluyen a continuación los resultados de los cálculos realizados para los edificios de la Uva ubicados en Valladolid, para los cuales se ha partido de inventarios suministrados por la Oficina de Calidad Ambiental, desglosado por edificios. En los casos en los que la bomba de calor es únicamente de refrigeración no se incluyen datos de potencia, COP, SPF, etc., dado que no se pueden considerar como renovables y no serán analizadas.

Aulario Río Esgueva

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIYA FDCP 308 HES3	3	3,25	7,3	0,64	1	2,08	1770	38.763	20.126,9
2	DAIKIN VRV IV-REYQ30T	2	3,53	28,8	0,64	1	2,26	1770	101.952	56.824,5

Anexos

Casa del Estudiante

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	MITSUBISHI ELECTRIC PU-P4YGAA	2	-	-	0,64	1	-	-	-	-
2	MITSUBISHI ELECTRIC PU-P2VGAA	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
3	DAIYA FDC254 EN	5	-	-	0,64	1	-	-	-	-
4	MITSUBISHI ELECTRIC PU-P16VGAA	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
5	DAIYA 3RC453CEHF	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
6	DAIYA SRC403CENF	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
7	MITSUBISHI ELECTRIC PU-6YJSA	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
8	MITSUBISHI ELECTRIC PU-2VJA	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
9	MITSUBISHI ELECTRIC PU-1.6VLJA	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
10	DAIYA FDC304EN	2	-	-	0,64	1	-	-	-	-
11	DAIYA SRC503CENF	2	-	-	0,64	1	-	-	-	-
12	DAIYA FDC404ES	1	-	-	0,64	1	-	-	-	-
13	DAIYA SCM45ZD5	1	3,64	5,6	0,64	1	2,33	1770	9.912	5.657,2

Centro de Idiomas

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIYA FDCP 508 CES3	2	-	-	0,64	1	-	-	-	-
2	MITSUBISHI ELECTRIC MXZ1A71VA	1	4,41	8,6	0,64	1	2,82	710	6.106	3.942,6

Colegio Mayor Santa Cruz Femenino

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIYA FDC 208 HEN3	3	3,02	5,4	0,64	1	1,93	1770	28.674	13.838,5

Anexos

Edificio I+D

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	LG A18AHM	1	3,01	5,4	0,64	1	1,93	710	3.848	1.850,6
2	PANASONIC CU-E18DKE	1	3,69	6,6	0,64	1	2,36	710	4.686	2.701,8
3	SAMNSUNG MULTI TYPE	1	3,78	3,5	0,64	1	2,42	710	2.492	1.462,0
4	DAIYA SRC63ZE-S1	1	3,82	7,1	0,64	1	2,44	1770	12.567	7.426,7
5	mitsubishi electric MUZ-GB50VA	1	3,45	5,8	0,64	1	2,21	710	4.118	2.253,0
6	FUJITSU AOY36LMBWL	1	3,52	11,2	0,64	1	2,25	710	7.952	4.422,2
7	DAIKIN RXS50G2V1B	1	3,69	5,8	0,64	1	2,36	710	4.118	2.374,3
8	DAIKIN RZQ125B7V3B	3	3,49	14,0	0,64	1	2,23	710	29.820	16.469,4
9	DAIKIN RXS50BVMB	2	3,21	6,0	0,64	1	2,05	710	8.520	4.372,8
10	ROCA DBO-535 BG	2	3,5	3,8	0,64	1	2,24	1770	13.275	7.348,7
11	WINTAIR AS-24HR4SU	10	4,17	8,4	0,64	1	2,67	710	59.782	37.381,7
12	WINTAIR AS-24HR4SV	4	3,62	3,7	0,64	1	2,32	710	10.423	5.924,0
13	SAUNIER DUVAL 10-065 NHFKDO	1	3,66	7,8	0,64	1	2,34	710	5.517	3.161,6
14	MITSUBISHI ELECTRIC SUZ-KA71VA	4	3,43	8,1	0,64	1	2,20	710	23.004	12.524,8
15	FUJITSU GENERAL AOHG30LETL	1	3,61	10,0	0,64	1	2,31	1770	17.700	10.039,0

Escuela de Arquitectura

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	ROCA DBO-535 BG	6	3,5	3,8	0,64	1	2,24	1770	39.825	22.046,0

Escuela de Ingenierías Industriales (sede Doctor Mergelina)

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	TOSHIBA RAC-12EH-E	2	2,98	3,4	0,64	1	1,91	1770	12.036	5.725,2

Anexos

Escuela de Ingenierías Industriales (sede Paseo del Cauce)

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	HITACHI RAS-2HQVE5	8	2,58	5,5	0,64	1	1,65	1770	77.880	30.714,3
2	HITACHI RAC-5142 CHV	1	3,08	4,5	0,64	1	1,97	1770	7.965	3.924,3
3	DAIYA SCK 184 K2F	1	4	19,0	0,64	1	2,56	1770	33.630	20.493,3
4	DUCASA FDCA 301 HEN	1	-	-	0,64	1	-	710	0	-
5	DAIYA FDCA 301 HEN	4	3,24	7,1	0,64	1	2,07	1770	50.268	26.026,1
6	HITACHI Ras-3HQE5	14	2,82	8,1	0,64	1	1,80	1770	200.718	89.504,6
7	mitsubishi electric SUZ-KA50VA	1	3,23	5	0,64	1	2,07	710	3.550	1832,701
8	HITACHI RAC-163 CNHZ	6	3,02	5,4	0,64	1	1,93	1770	57.348	27.677,1
9	mitsubishi electric MXZ-24 UV	1	3,35	9	0,64	1	2,14	710	6.390	3409,59
10	HITACHI RAS-4HQE5	4	2,81	14,2	0,64	1	1,80	1770	100.536	44.633,0
11	mitsubishi electric PUH-6YKSA	2	3,07	15,9	0,64	1	1,96	1770	56.286	27638,81
12	HITACHI RAS 2,5 HQE5	5	3,15	6,9	0,64	1	2,02	1770	61.065	30.774,8
13	PANASONIC CU-1873KE	1	2,6	5,4	0,64	1	1,66	1770	9.558	3814,01
14	DAIKIN RP7187V1	1	3,79	5,8	0,64	1	2,43	1770	10.266	6.033,6
15	DAIYA FDCVA 151 HEN	2	3,41	4,5	0,64	1	2,18	710	6.390	3462,031
16	DAIYA FDCP 308 CEN3	2	-	-	0,64	1	-	710	0	-
17	ARGO AE2115C	2	-	-	0,64	1	-	710	0	-
18	ARGO AE2225C	1	-	-	0,64	1	-	710	0	-
19	DAIYA FDCVA 802 HESR	4	3,57	22,4	0,64	1	2,28	710	63.616	35772,86
20	DAIYA FDCP 208 CEN3	1	-	-	0,64	1	-	710	0	-
21	DAIYA FDC 303 EN	1	-	-	0,64	1	-	710	0	-
22	HITACHI RAC 09CHV1	2	3,34	2,97	0,64	1	2,14	710	4.217	2244,44
23	DAIKIN ARY22A7V1NB	5	4,1	9,6	0,64	1	2,62	710	34.080	21092,2
24	DAIKIN RY60FAV1	1	2,91	7,16	0,64	1	1,86	710	5.084	2354,004
25	DAIKIN RXS35D2VLMB	2	3,46	4	0,64	1	2,21	710	5.680	3114,971
26	mitsubishi electric MUH 18NVA	1	3,23	5,2	0,64	1	2,07	710	3.692	1906,009
27	DAIKIN RQEQ140PY1	2	3,82	32	0,64	1	2,44	1770	113.280	66944,92
28	GENERAL AOH9R5EC	1	3,56	3,35	0,64	1	2,28	1770	5.930	3327,016
29	DAIKIN RX60F3V1B	2	3,43	6	0,64	1	2,20	1770	21.240	11564,34

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicación e Informática

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	LENNOX GCM-24-N	1	2,85	7,9	0,64	1	1,82	710	5.616	2.537,1
2	DAIYA FDCA 301 HEN	2	3,24	7,1	0,64	1	2,07	1770	25.134	13.013,1
3	DAIYA FDCVA 1002 HESR	2	3,41	28,0	0,64	1	2,18	710	39.760	21.541,5
4	DAIYA FDCVA 502 HENR	4	3,68	14,0	0,64	1	2,36	710	39.760	22.878,2

Anexos

Escuela Universitaria de Empresariales

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	MITSUBISHI ELECTRIC PU-P4VGAA	2	-	-	0,64	1	-	710	-	-
2	DAIYA FDC 208 HEN3	5	3,02	5,4	0,64	1	1,93	1770	47.790	23.064,2
3	DAIYA FDC 504 ES	4	-	-	0,64	1	-	710	-	-
4	DAIYA FDC 304 EN	1	-	-	0,64	1	-	710	-	-

Facultad de Ciencias

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIKIN AZQS100A7V1B	7	3,61	10,8	0,64	1	2,31	710	53.676	30.443,7
2	DAIKIN RZQS125DIV1B	10	3,45	14,0	0,64	1	2,21	710	99.400	54.381,9
3	DAIKIN AZQS71A2V1B	6	3,61	7,5	0,64	1	2,31	710	31.950	18.121,2
4	DAIKIN RZQS100B7V3B	1	3,71	11,2	0,64	1	2,37	710	7.952	4.602,9
5	DAIKIN RXS50J2V1B	2	3,79	5,8	0,64	1	2,43	710	8.236	4.840,6
6	DAIKIN RXS35J2V1B	1	4,21	4,0	0,64	1	2,69	710	2.840	1.786,0
7	CASTRO PC 100-S	1	3,82	6,0	0,64	1	2,44	1770	10.620	6.276,1
8	TRANE UCAP0361P	1	3,78	5,5	0,64	1	2,42	1770	9.735	5.710,9

Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	MITSUBISHI ELECTRIC MSZ FD50VA	1	3,6	5,8	0,64	1	2,30	710	4.118	2.330,7
2	DAIYA FCD406HES1	2	3,03	10,5	0,64	1	1,94	1770	37.170	18.002,3

Facultad de Educación y Trabajo Social

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIKIN RZQS100D7V1B	2	3,41	11,2	0,64	1	2,18	710	15.904	8.616,6
2	DAIKIN RZQS100B7V3B	4	3,11	11,2	0,64	1	1,99	710	31.808	15.827,3

Facultad de Medicina

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	CARRIER HOLIDAY BREEZL 42 HOG 0009G	1	-	-	0,64	1	-	710	-	-
2	MITSUBISHI ELECTRIC MSZ-GA35VB	1	3,92	4,0	0,64	1	2,51	710	2.840	1.708,0
3	CARRIER TOYO 4DFQ015700-21	1	2,93	2,7	0,64	1	1,88	710	1.945	908,0
4	MITSUBISHI ELECTRIC MSZ-GA25VB	1	3,8	3,2	0,64	1	2,43	710	2.272	1.337,8

Anexos

Instituto de Oftalmobiología Aplicada

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	TOSHIBA MMY-MAP 1001 HT8	5	3,95	31,5	0,64	1	2,53	710	111.825	67.590,4
2	TOSHIBA MMY-MAP 0801HT8	7	4,25	25,0	0,64	1	2,72	710	124.250	78.569,9
3	TOSHIBA RAS-13SAH-ES2	1	3,61	4,3	0,64	1	2,31	1770	7.540	4.276,6

QUIFIMA

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	mitsubishi electric PU P2VG AA	1	-	-	0,64	1	-	710	-	-
2	DAIYA FDC VA 602 HENR	1	4,41	8,6	0,64	1	2,82	1770	15.222	9.828,7

Residencia Universitaria Alfonso VIII

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIYA FDC 506CES3	2	-	-	0,64	1	-	710	-	-
2	DAIKIN RXS35G2V1B9	2	4,17	4,0	0,64	1	2,67	710	5.680	3.551,7
3	HITACHI RAS-6HNCE	1	3,59	16,0	0,64	1	2,30	710	11.360	6.415,7
4	DAIYA FDC 503ES	1	-	-	0,64	1	-	710	-	-
5	HELPAC CH2B2V2N2C	1	-	-	0,64	1	-	710	-	-

Reyes Católicos

	MARCA y Modelo	Nº uds.	COP	P _{rated} (kW)	FP	FC	SPF	H _{hp} (horas)	Q _{usable} (kWh)	E _{res} (kWh)
1	DAIYA SRC408HENF-L	2	2,93	4,1	0,64	1	1,88	710	5.822	2.717,3

Es posible, a partir del Q_{usable} y del SPF de cada bomba, determinar su consumo eléctrico anual, con la siguiente relación:

$$Q_{consumo} = \frac{Q_{usable}}{SPF} \quad \text{Ec. 6.13}$$

Con esto se obtiene la energía que consumirán las bombas de calor a lo largo de todo un año. Posteriormente y teniendo en cuenta que (como se ha obtenido previamente) la energía procedente de fuentes renovables representa el 19% del total, se pueden calcular directamente las cantidades de energía renovable y no renovable consumidas por las bombas de calor.

Anexos