

# TESIS DOCTORAL

2021

**ENERGÍA GEOTÉRMICA A PARTIR DE  
FUENTES TERMALES: ANÁLISIS DE SU  
RENTABILIDAD EN PAÍSES ATLÁNTICOS DE LA  
UNIÓN EUROPEA Y DEL ATLÁNTICO NORTE**

**Autor: Touria Abdelkader Benmesaud Conde**  
INGENIERA INDUSTRIAL

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN UNIÓN EUROPEA**

**Director: Prof. Dr. FERNANDO BARREIRO PEREIRA**  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DE FUNDAMENTOS  
DE ANÁLISIS ECONÓMICO

**Tutora: Prof. Dra. YOLANDA GÓMEZ SÁNCHEZ**  
CATEDRÁTICA DE DERECHO CONSTITUCIONAL

# **TESIS DOCTORAL**

**2021**

## **ENERGÍA GEOTÉRMICA A PARTIR DE FUENTES TERMALES: ANÁLISIS DE SU RENTABILIDAD EN PAÍSES ATLÁNTICOS DE LA UNIÓN EUROPEA Y DEL ATLÁNTICO NORTE**

**Autor: Touria Abdelkader Benmesaud Conde**  
INGENIERA INDUSTRIAL

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN UNIÓN EUROPEA**

**Director: Prof. Dr. FERNANDO BARREIRO PEREIRA**  
PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DE FUNDAMENTOS  
DE ANÁLISIS ECONÓMICO

**Tutora: Prof. Dra. YOLANDA GÓMEZ SÁNCHEZ**  
CATEDRÁTICA DE DERECHO CONSTITUCIONAL

*A Dios*

*A mis padres, Antonia y Abdelkader, hermanos, familia y amigos*

*A ti, Fernando*

## *AGRADECIMIENTOS*

Para mí no es fácil expresar en pocas líneas mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado a lo largo de la realización de la presente Tesis, pero sí tengo claro que mi primer agradecimiento va dirigido a Dios que me ha dado la inspiración y la posibilidad de realizar lo que me gusta, ser de utilidad en estos tiempos si ello es posible.

Acto seguido, quiero expresar mi agradecimiento a mi director Fernando Barreiro Pereira, a quien le debo que este trabajo se vea concluido. A él le agradezco su trabajo, tesón, ánimo, apoyo y confianza, sin los cuales difícilmente podría haber realizado esta Tesis. Ha sido mi referente en este duro aprendizaje como investigadora por su rigurosidad y buen hacer.

Quisiera agradecer especialmente a Mireia, a Carmen y Pedro, a María José y Arturo, a Patricia y Paco, por su amistad, apoyo y ayuda en los momentos más difíciles, donde mis ánimos flaquearon, pensando que no terminaría.

A Ángel Muñoz, por su amistad y darme la oportunidad de colaborar con él en el Máster de Energías Renovables.

Tengo tanto que agradecer y a tantas personas, que los tengo en mi corazón para siempre.

Agradezco el apoyo de mis amigos y alumnos de las tutorías que no han parado de darme ánimos. A Dori, que siempre ha estado en un lugar discreto y silencioso, pero junto a mí en los peores momentos.

Como siempre, la familia ha sido la más perjudicada, pues he dejado de estar con ellos en los mejores momentos. Quiero agradecerles a mis hermanos por su generosidad y amor. A mis padres por sus sabias enseñanzas y que perduran y perdurarán en mi hasta el final. Y a mi familia política que me han animado tanto.

Por último, a Fernando, mi alma gemela, gracias. Muchas gracias a todos de corazón.



# ÍNDICE GENERAL

	<i>Pág.</i>
Agradecimientos	IV
Índice general	V
Lista de símbolos, abreviaturas y siglas	X
Lista de tablas	XV
Lista de figuras	XVI
<b>Capítulo 1. Introducción</b>	<b>1</b>
1 Motivación de la Tesis Doctoral	2
2 Consideraciones metodológicas	4
3 Principales afirmaciones y aportaciones	7
4 Limitaciones del presente trabajo	12
5 Futuras líneas de investigación	14
<b>Capítulo 2. Energía y cambio climático: Normativa</b>	<b>17</b>
Resumen	17
1 Introducción	18
2 Efecto invernadero	21
3 Hechos estilizados	22
4 Emisiones mundiales de CO <sub>2</sub>	30
5 Normativa Unión Europea	52

## ÍNDICE GENERAL

<b>6</b>	Síntesis de la legislación de la UE en materia de medioambiente, cambio climático y energía	72
<b>7</b>	Pacto verde europeo	73
<b>8</b>	Reflexiones finales	80
	<b>Capítulo 3. Energías fósiles versus energías renovables</b>	<b>83</b>
	Resumen	83
<b>1</b>	Introducción	84
<b>2</b>	Energías fósiles versus energías renovables	85
<b>3</b>	Energías fósiles	87
<b>4</b>	Carbón	93
<b>5</b>	Petróleo	96
<b>6</b>	Gas natural	104
<b>7</b>	Energías renovables	113
<b>8</b>	Energías alternativas	119
<b>9</b>	Energía solar	123
<b>10</b>	Energía eólica	136
<b>11</b>	Biomasa y biocombustibles	149
<b>12</b>	Energía geotérmica	166
<b>13</b>	Energía hidráulica	183
<b>14</b>	Energías marinas	191
<b>15</b>	Pilas de combustible	202
<b>16</b>	Energía nuclear	207

## ÍNDICE GENERAL

<b>17</b>	Cogeneración, trigeneración y poligeneración	216
<b>18</b>	Innovaciones tecnológicas en el ámbito energético	223
<b>19</b>	El caso español	224
<b>20</b>	Reflexiones finales	227
	<b>Capítulo 4. La contribución de la actividad económica y del consumo energético a las emisiones de CO<sub>2</sub></b>	229
	Resumen	229
<b>1</b>	Introducción	230
<b>2</b>	Relación entre consumo de energía, producción y emisiones	239
<b>3</b>	Datos y resultados empíricos	259
<b>4</b>	Consecuencias del análisis	270
<b>5</b>	Reflexiones finales	272
	<b>Capítulo 5. Sistemas de consumo doméstico de energía para calefacción y ACS</b>	275
	Resumen	275
<b>1</b>	Introducción	276
<b>2</b>	La energía geotérmica y la estructura del planeta	278
<b>3</b>	La generación del calor terrestre	281
<b>4</b>	La transmisión del calor a la superficie	283
<b>5</b>	Recursos geotérmicos	285
<b>6</b>	Uso de aguas termales en calefacción y ACS	287
<b>7</b>	Tectónica y aguas termales	292

## ÍNDICE GENERAL

<b>8</b>	Sistemas energéticos para calefacción y ACS	296
<b>9</b>	District Heating	298
<b>10</b>	Energías compatibles con instalaciones de calor centralizado	305
<b>11</b>	Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando caldera de biomasa	308
<b>12</b>	Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando bomba de calor geotérmica	317
<b>13</b>	Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, con prospección, utilizando bomba de calor geotérmica	319
<b>14</b>	Sistema con paneles solares térmicos y gas natural	320
<b>15</b>	Reflexiones finales	324
	<b>Capítulo 6. Rentabilidad social y económica del consumo doméstico de energía para calefacción y ACS</b>	<b>327</b>
	Resumen	327
<b>1</b>	Introducción	328
<b>2</b>	Beneficios sociales en el consumo doméstico de energía	329
<b>3</b>	Resultados del análisis coste-beneficio	346
<b>4</b>	Análisis financiero de sistemas para calefacción y ACS	351
<b>5</b>	Resultados del análisis financiero	356
<b>6</b>	Reflexiones finales	363
	<b>Capítulo 7. Conclusiones generales</b>	<b>367</b>
	Conclusiones generales	367
	<b>Bibliografía general</b>	<b>375</b>

## ÍNDICE GENERAL

<b>Páginas Web</b>	383
<b>Apéndice documental</b>	385
<b>Apéndice A1: Síntesis de la legislación de la UE</b>	387
<b>Apéndice A2: Nuevas tecnologías renovables</b>	621
<b>Apéndice A3: Zonas volcánicas, sísmicas y fuentes termales</b>	659

## Lista de símbolos, abreviaturas y siglas

<b>ACS</b>	Agua caliente sanitaria
<b>BRICS</b>	Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>DH</b>	District Heating
<b>PM<sub>10</sub></b>	Materia particulada igual o inferior a 10 micrómetros
<b>UE</b>	Unión Europea
<b>ONU</b>	Organización de las naciones unidas
<b>IEA</b>	Agencia internacional de la energía
<b>NASA</b>	Administración nacional de aeronautica y el espacio
<b>IPCC</b>	Panel intergubernamental sobre el cambio climático
<b>OMM</b>	Organización meteorológica mundial
<b>GISS</b>	Instituto Goddard de estudios espaciales
<b>CCI</b>	Iniciativa sobre el cambio climático
<b>GISTEMP</b>	Análisis de temperatura de la superficie global de Goddard
<b>° C</b>	Grado centígrado
<b>ESA</b>	Agencia espacial europea
<b>CMEMS</b>	Servicio marino de Copérnico
<b>mm</b>	Milímetro
<b>m</b>	Metro
<b>Gt</b>	Gigatonnes
<b>WGMS</b>	Servicio mundial de monitorización de glaciares
<b>IACS</b>	Asociación internacional de ciencias criosféricas
<b>UGG</b>	Unión internacional de geodesia y geofísica
<b>UNEP</b>	Programa de las naciones unidas para el ambiente
<b>Mt</b>	Megatonnes
<b>CAMS</b>	Servicios de monitoreo atmosférico de Copernicus
<b>ECA</b>	Energía ciclónica acumulada
<b>NOAA</b>	Administración nacional oceánica y atmosférica de Estados Unidos
<b>FAO</b>	Organización de la ONU para la agricultura y la alimentación
<b>IFAD</b>	Fondo internacional de desarrollo agrícola
<b>UNICEF</b>	Fondo de las naciones unidas para la infancia
<b>OMS</b>	Organización mundial de la salud
<b>EPA</b>	Agencia de protección ambiental de los Estados Unidos
<b>CDIAC</b>	Centro de análisis de información sobre dióxido de carbono
<b>GCP</b>	Proyecto global de carbono
<b>BP</b>	British petroleum
<b>USGS</b>	Servicio geológico de los Estados Unidos
<b>UNFCCC</b>	Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
<b>JRC</b>	Centro común de investigación
<b>PBL</b>	Agencia de evaluación ambiental de los Países Bajos

<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano
<b>ESRL</b>	Laboratorio de investigación del sistema terrestre
<b>SSP</b>	Base de datos de las rutas socioeconómicas compartidas
<b>GEI</b>	Gases de efecto invernadero
<b>N<sub>2</sub>O</b>	Óxido de nitrógeno (I) u óxido nitroso
<b>ppb</b>	Partes por billón
<b>ppm</b>	Partes por millón
<b>GAW</b>	Vigilancia atmosférica global
<b>CO<sub>2e</sub></b>	Dióxido de carbono equivalente
<b>PNUMA</b>	Programa de las naciones unidas para el medio ambiente
<b>MEPS</b>	Estándares mínimos de rendimiento energético
<b>OCDE</b>	Organización para la cooperación y el desarrollo económico
<b>G20</b>	Grupo de los 20 países industrializados y emergentes
<b>EU ETS</b>	Emission trading system
<b>RCDE UE</b>	Régimen de comercio de derechos de emisión de la unión europea
<b>CECA</b>	Comunidad europea del carbón y del acero
<b>OMC</b>	Organización mundial del comercio
<b>CMNUCC</b>	Convenio marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
<b>COP</b>	Conferencia de las partes
<b>CAC</b>	Captura y almacenamiento de carbono
<b>LIFE</b>	Programa de medioambiente y acción por el clima
<b>PF4EE</b>	Instrumento de financiación privada para la eficiencia energética
<b>NCCFF</b>	Mecanismo de financiación del capital natural
<b>BEI</b>	Banco europeo de inversiones
<b>DRE</b>	Decisión de reparto de esfuerzo
<b>AAE</b>	Asignaciones anuales de emisiones
<b>HFC</b>	Hidrofluorocarburos
<b>PFC</b>	Perfluorocarburos
<b>SF<sub>6</sub></b>	Hexafluoruro de azufre
<b>FLEGT</b>	Aplicación de las leyes, gobernanza y comercio forestal
<b>CITES</b>	Comercio internacional especies amenazadas fauna y flora silvestre
<b>VCE</b>	Variabes climáticas esenciales
<b>AMCC</b>	Alianza mundial contra el cambio climático
<b>REDD+</b>	Reducción de emisiones de la deforestación y degradación forestal
<b>DTUE</b>	Diario de transacciones de la unión europea
<b>PK</b>	Protocolo de Kyoto
<b>DMA</b>	Directiva marco sobre el agua
<b>SAO</b>	Sustancias agotadoras del ozono
<b>CO</b>	Monóxido de carbono
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre
<b>NO<sub>x</sub></b>	Óxidos de nitrógeno
<b>CAC</b>	Captura y almacenamiento de carbono
<b>PEER</b>	Programa energético europeo para la recuperación
<b>NER300</b>	Programa de financiación europeo

<b>kVA</b>	Kilovoltamperio
<b>Hz</b>	Herzio
<b>kV</b>	Kilovoltio
<b>LED</b>	Diodos emisores de luz inorgánicos
<b>OLED</b>	Diodos emisores de luz orgánicos
<b>RAEE</b>	Resíduos de aparatos eléctricos y electrónicos
<b>kg</b>	Kilogramo
<b>EETE</b>	Plan estratégico europeo de tecnología energética
<b>ENTSO-E</b>	Red europea de gestores de redes de transporte
<b>ACER</b>	Agencia de cooperación de los reguladores de la energía
<b>TIC</b>	Tecnologías de la información y la comunicación
<b>EERA</b>	Alianza europea para la investigación en el sector energético
<b>EIT</b>	Instituto europeo de innovación y tecnología
<b>REGRT</b>	Red europea de gestores de redes de transporte de electricidad
<b>GNL</b>	Gas natural licuado
<b>GRT</b>	Gestor de redes de transporte
<b>USA</b>	Unión de estados americanos
<b>EEUU</b>	Estados Unidos de América
<b>ASPO</b>	Asociación para el estudio del pico del petróleo y gas
<b>FCC</b>	Craqueo catalítico de fluidos
<b>HVGO</b>	Gasóleo pesado o gasóleo al vacío
<b>GNC</b>	Gas natural comprimido
<b>PV</b>	Fotovoltaico
<b>CSP</b>	Energía solar concentrada
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup></b>	Metro cúbico
<b>MW</b>	Megavatio
<b>kW</b>	Kilovatio
<b>kWh/m<sup>2</sup></b>	Kilovatio hora por metro cuadrado
<b>m/s</b>	Metro por segundo
<b>km/h</b>	Kilómetro por hora
<b>dBA</b>	Decibelios
<b>Pb</b>	Plomo
<b>EFOA</b>	Asociación europea de combustibles oxigenados
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>ETS</b>	Escuela técnica superior
<b>UPM</b>	Universidad politécnica de Madrid
<b>mm</b>	Milímetro
<b>cm</b>	Centímetro
<b>hm<sup>3</sup></b>	Hectómetro cúbico
<b>GW</b>	Gigavatio
<b>Mwe</b>	Megavatio eléctrico
<b>km</b>	Kilómetro
<b>µg</b>	Microgramo



<b>ktoe</b>	Kilotonelada de petróleo equivalente
<b>US\$</b>	Dólares estadounidenses
<b>t</b>	Tonelada
<b>CTE</b>	Código técnico de la edificación
<b>RITE</b>	Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios
<b>IGM</b>	Instituto geográfico militar
<b>USGS</b>	Servicio geológico de los Estados Unidos
<b>CIA</b>	Agencia central de inteligencia
<b>ENSIDESA</b>	Empresa nacional siderúrgica sociedad anónima
<b>ACB</b>	Análisis coste-beneficio
<b>BS</b>	Beneficios sociales
<b>CS</b>	Costes sociales
<b>VAN</b>	Valor actualizado neto o valor presente descontado
<b>EC</b>	Excedente del consumidor
<b>TIR</b>	Tasa interna de rendimiento o retorno
<b>TIN</b>	Tipo interés nominal efectivo
<b>TAE</b>	Tasa anual equivalente
<b>GATT</b>	Acuerdo general sobre aranceles aduaneros y comercio
<b>ELENA</b>	Asistencia energética local europea
<b>FEEE</b>	Fondo europeo de eficiencia energética
<b>AAE</b>	Agencia de abastecimiento de euroatom
<b>CPP</b>	Colaboraciones público-privado
<b>EC FCH2</b>	Empresa común pilas de combustible e hidrógeno 2
<b>ITER</b>	Reactor termonuclear experimental internacional
<b>JET</b>	Toro común europeo
<b>PSC</b>	Célula solar plasmónica
<b>ASA</b>	Acrilonitrilo estireno acrilato
<b>THAWT</b>	Turbina de agua transversal horizontal axial
<b>GESMEY</b>	Generador eléctrico submarino con estructura en Y
<b>PEX</b>	Polietileno reticulado

*Lista de símbolos, abreviaturas y siglas*

## **Lista de tablas y figuras**

### **LISTA DE TABLAS**

<b>Nº</b>		<b><i>Pág</i></b>
<b>1</b>	Resumen energías y sus emisiones	226
<b>2</b>	Nivel de PM <sub>10</sub> diario en las megaciudades del mundo (2016)	232
<b>3</b>	Estimaciones del consumo de energía y emisiones de CO <sub>2</sub> por países	261
<b>4</b>	Estacionariedad y causalidad Granger entre variables	263
<b>5</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub> , intensidades energéticas y energías fósiles	264
<b>6</b>	Productividad de la energía y contribución a las emisiones de CO <sub>2</sub> (2015)	267
<b>7</b>	Emisiones de CO <sub>2</sub> y eficiencia energética (2015)	271
<b>8</b>	Aplicaciones de la energía geotérmica	286
<b>9</b>	Datos por país (2018)	336
<b>10</b>	Datos de los sistemas energéticos	340
<b>11</b>	Variación de los excedentes por hogar (2018)	343
<b>12</b>	Resultados del análisis coste-beneficio	347
<b>13</b>	Sistemas socialmente rentables: VAN y excedentes por magnitud	348
<b>14</b>	Resultados del análisis económico-financiero	357
<b>15</b>	Sistemas social y económicamente rentables	360
<b>16</b>	Sistemas social y económicamente rentables (promedio)	362

## **LISTA DE FIGURAS**

<b>Nº</b>		<b>Pág</b>
<b>1</b>	Efectos de la radiación solar en la Tierra. Efecto invernadero	22
<b>2</b>	Promedio de cinco años de anomalías de temperatura global comparado con la época preindustrial, de 1854 a 2019 para cinco conjuntos de datos	24
<b>3</b>	Anomalías de la temperatura promedio de cinco años de 2015-2019 en relación con el promedio de 1981-2010	24
<b>4</b>	Series temporales del nivel medio del mar global basado en la altimetría desde enero de 1993 hasta mayo de 2019	25
<b>5</b>	Series temporales promedio de la tasa de cambio de masa específica anual observada de todos los glaciares de referencia WGMS, incluidos los promedios de cinco años	27
<b>6</b>	El poder radiactivo de los incendios en gigavatios: una medida de la producción de calor de los incendios forestales que se muestra en junio de 2019, en rojo y el promedio de 2003-2018, en gris	28
<b>7</b>	Número de personas desnutridas en el mundo, 2015-2018	29
<b>8</b>	Cambio en el número de personas expuestas a las olas de calor en millones por año de 2000 a 2017, en relación con el promedio de 1986-2005	30
<b>9</b>	Emisiones mundiales de CO <sub>2</sub> de origen fósil en el período 1960-2018	31
<b>10</b>	Emisiones anuales de CO <sub>2</sub> de origen fósil en el período 1960-2018	32
<b>11</b>	Países emisores de gases de efecto invernadero que suman el 60 % del total de emisiones mundiales	33
<b>12</b>	Emisiones anuales: cuatro principales emisores	34
<b>13</b>	Consumo mundial anual de energía, 2000-2018	35
<b>14</b>	Fuentes y sumideros de CO <sub>2</sub>	35

<b>15</b>	Emisiones globales de CO <sub>2</sub>	36
<b>16</b>	Promedio global de fracción molar de CO <sub>2</sub> (ppm) de 1984 a 2017	38
<b>17</b>	Promedio global de fracción molar de CH <sub>4</sub> (ppb) de 1984 a 2017	39
<b>18</b>	Promedio global de fracción molar de N <sub>2</sub> O (ppb) de 1984 a 2017	40
<b>19</b>	Emisiones globales de gases de efecto invernadero por tipo de gas	41
<b>20</b>	La brecha de emisiones en 2030	42
<b>21</b>	Potenciales básicos de reducción de emisiones totales en comparación con el escenario de política actual para 2030	43
<b>22</b>	Tasas de carbono efectivas sobre el uso de energía en 42 países de la OCDE y del G20 y el rango mínimo de precios de carbono necesario en 2020 para el objetivo de 2 °C	45
<b>23</b>	Emisiones comprometidas con la atmósfera de las centrales eléctricas de carbón existente, en construcción y planificadas, y otros sectores económicos, por región	46
<b>24</b>	Promedio de calentamiento proyectado para 2100 (°C)	48
<b>25</b>	La curva estándar de Hubbert en el diagrama tiempo-producción real y futura del petróleo	89
<b>26</b>	Curva de producción del petróleo de Hubbert	90
<b>27</b>	Predicciones del gobierno de los Estados Unidos para la producción de petróleo (1900-2010)	91
<b>28</b>	Capacidad solar instalada por región	125
<b>29</b>	Diagrama de barras de la capacidad solar instalada por región	126
<b>30</b>	Mapa solar español	136
<b>31</b>	Mapa eólico español	149
<b>32</b>	Mapa forestal español	167
<b>33</b>	Instalación geotérmica	174

<b>34</b>	Mapa geotérmico español	183
<b>35</b>	Mapa hidráulico español	191
<b>36</b>	Mapa eólico marino español	202
<b>37</b>	Energía fósil, renovable y nuclear en Europa y América (2016)	236
<b>38</b>	Energía fósil, renovable y nuclear en Asia y África (2016)	238
<b>39</b>	Evolución de la intensidad energética por bloques de países (1995-2015)	265
<b>40</b>	Estructura interna del planeta	279
<b>41</b>	Relación entre presión, temperatura y profundidad	282
<b>42</b>	Placas tectónicas principales y secundarias en el mundo	293
<b>43</b>	Zonas sísmicas y volcánicas del mundo	294
<b>44</b>	Mapa de los volcanes del mundo	295
<b>45</b>	Esquema transporte-distribución de calor desde central de calor a edificios	302
<b>46</b>	Esquema funcionamiento planta District Heating en un edificio individual	307
<b>47</b>	Esquema funcionamiento planta District Heating en viviendas individuales	308
<b>48</b>	Esquema general sistema DH con caldera de biomasa	310
<b>49</b>	Esquema de intercambiador de calor	311
<b>50</b>	Configuración de un equipo de caldera de biomasa BioFire	314
<b>51</b>	Esquema funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en modo calefacción	318
<b>52</b>	Esquema funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en modo refrigeración	319
<b>53</b>	Esquema panel solar térmico	321
<b>54</b>	Esquema paneles solares térmicos y calentador de gas natural	322

<b>55</b>	Excedentes del consumidor y del productor por hogar	337
<b>56</b>	Zonas sísmicas de Alemania	664
<b>57</b>	Detalle de las zonas sísmicas en Alemania	664
<b>58</b>	Zona sísmica oeste Alemania	665
<b>59</b>	Zona sísmica sudoeste Alemania	665
<b>60</b>	Zona sísmica este Alemania	666
<b>61</b>	Zonas volcánicas de España	667
<b>62</b>	Zonas sísmicas en España	680
<b>63</b>	Zonas sísmicas en las Islas Canarias	680
<b>64</b>	Placas y subplacas tectónicas que atraviesan la Península Ibérica	681
<b>65</b>	Zona sísmica sur-sudeste de España	681
<b>66</b>	Zona sísmica este-noreste de España	682
<b>67</b>	Zona sísmica norte de España	682
<b>68</b>	Zona sísmica noroeste de España	683
<b>69</b>	Mapa de los volcanes de Francia	687
<b>70</b>	Mapa de las zonas sísmicas de Francia	689
<b>71</b>	Sismicidad en Francia	690
<b>72</b>	Mapa zonas sísmicas en Francia	691
<b>73</b>	Mapa zonas volcánicas en Irlanda	697
<b>74</b>	La Calzada de los Gigantes (Irlanda)	699
<b>75</b>	Mapa de las zonas sísmicas en Irlanda	700
<b>76</b>	Principales volcanes y tectónica de placas de Islandia	703

<b>77</b>	Placas tectónicas de Islandia	711
<b>78</b>	Mapa zonas sísmicas de Islandia	712
<b>79</b>	Mapa zonas sísmicas en el norte de Islandia	713
<b>80</b>	Mapa zonas sísmicas en el norte de Islandia	713
<b>81</b>	Zonas volcánicas de Marruecos	715
<b>82</b>	Zonas sísmicas de Marruecos	718
<b>83</b>	Mapa zonas volcánicas de Portugal	720
<b>84</b>	Mapa zonas sísmicas de Portugal	725
<b>85</b>	Mapa sísmico de Portugal continental	726
<b>86</b>	Mapa zonas volcánicas de Reino Unido	728
<b>87</b>	Mapa zonas sísmicas de Reino Unido	731
<b>88</b>	Mapa zonas volcánicas de Estados Unidos	733
<b>89</b>	Mapa zonas sísmicas de Estados Unidos	735



# **CAPÍTULO 1**

## **INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo de investigación presentado en forma de Tesis Doctoral, cuyo título es “Energía geotérmica a partir de aguas termales: análisis de su rentabilidad en los países atlánticos de la Unión Europea y del Atlántico Norte”, está basado en el uso racional y sostenible de la energías renovables, concretamente, en el uso de la energía geotérmica, aprovechando las fuentes termales en desuso o el excedente de balnearios para enviar agua caliente a través de tuberías hacia zonas de población cercanas donde, desde una instalación centralizada dentro de la ciudad o población, se pueda abastecer de calefacción y agua caliente sanitaria (en adelante ACS) a viviendas e instalaciones del núcleo urbano.

El trabajo parte del análisis de algunos hechos estilizados que parecen indicar la existencia de cierto calentamiento global a lo cual parece contribuir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), en especial de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En concreto, se conoce que durante los 44 años que distan desde 1971 a 2015, las emisiones de CO<sub>2</sub> se han multiplicado por 2,4, constituyendo el 76 % del volumen de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. Estos gases de efecto invernadero causan que se densifique la atmósfera hasta el punto de que los rayos infrarrojos que emite la Tierra no salgan al exterior, sino

que reboten en la atmósfera y vuelvan otra vez a la Tierra, causando un sobrecalentamiento. Una fuerte responsabilidad en este calentamiento global recae por tanto en el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub>, por lo que las emisiones humanas de CO<sub>2</sub> deberían poder controlarse. El exceso de estas emisiones es debido fundamentalmente a la actividad económica que genera la producción de bienes y servicios y también al consumo energético.

En este trabajo de investigación se ha realizado un análisis sobre la responsabilidad de la actividad económica y del consumo energético en las emisiones de CO<sub>2</sub> sobre un grupo de veinte países cuya población en 2015 alcanzaba el 61 por ciento de la población mundial, a lo largo del período 1995-2015. El objetivo fue analizar donde se producen mayores emisiones, si como consecuencia de la actividad económica que genera la producción de bienes o bien como consecuencia del consumo energético. Los consumidores no pueden controlar directamente las emisiones debidas a la producción de bienes, pero sí las debidas al consumo doméstico de energía. En este sentido, se ha realizado, también en este trabajo, un análisis de la rentabilidad social y económica del consumo de energía doméstico a partir de energías renovables, incluidas las aguas termales, sobre una sub-muestra de nueve países para un ciclo vital de 25 años (2018-2043).

## **1. MOTIVACIÓN DE LA TESIS DOCTORAL**

La motivación de esta Tesis Doctoral surge de la preocupación existente en la Unión Europea (UE) por la sostenibilidad y el aprovechamiento de los recursos existentes en cada zona concreta, región o país, con el objetivo de conseguir el bienestar de todos los ciudadanos y, en especial, de los más desfavorecidos. Para ello, la UE está tratando a nivel político, económico, social y normativo, los

problemas que se plantean a la hora de enfrentarse a malas praxis relacionadas con el uso de los recursos energéticos disponibles, su explotación, la producción de energía, el tratamiento de residuos, el consumo responsable y sostenible y la pobreza energética. La llamada “pobreza energética” se define como “aquella situación existente en un hogar familiar en el que los ingresos son escasos o nulos para poder pagar la energía suficiente con la que satisfacer las necesidades domésticas”. Se estima que más de 50 millones de hogares en la UE experimentan altos gastos en consumo de energía, como consecuencia del uso ineficiente de edificios y electrodomésticos, lo que junto a los bajos ingresos familiares, da lugar a una situación precaria para millones de familias.

El objetivo principal de la realización de la presente tesis es por tanto la optimización del uso sostenible de la energía, en concreto, la introducción de la energía geotérmica a partir del aprovechamiento de fuentes termales, ya sea a través de instalaciones ya existentes en balnearios, o a través de fuentes hipertermales abandonadas o infrautilizadas, siempre que en estado activo puedan alcanzar temperaturas que superen los 40°C. Si se tiene en cuenta que el cuerpo humano no puede soportar temperaturas iguales o mayores de 40 ° C, las aguas termales por encima de esas temperaturas tendrían que ser tratadas y enfriadas para su posterior uso, lo que conlleva introducir intercambiadores de calor para su enfriamiento. El aprovechamiento de ese calor residual permitiría el ahorro del calor vertido al exterior y por tanto perdido. Estos balnearios y fuentes hipertermales podrían dar cobertura de agua caliente sanitaria y calefacción a zonas adyacentes, representando un ahorro económico y en emisiones.

## 2. CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

En la Tesis se analizan en primer lugar determinados hechos estilizados que subrayan la existencia de cierto calentamiento global como consecuencia de la densificación de la atmósfera terrestre en base fundamentalmente al exceso de emisiones de CO<sub>2</sub>. Este exceso de emisiones tiene su origen en determinados procesos productivos obsoletos y también en el consumo de energía. Los consumidores en general no pueden controlar directamente las emisiones causadas por los procesos productivos, pero sí pueden controlar directamente su consumo doméstico de energía, del cual, el consumo en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria supone aproximadamente las tres cuartas partes. El objetivo final de la presente Tesis consiste en hacer un análisis de rentabilidad social comparando cuatro sistemas basados en energías no contaminantes y renovables para ser utilizados en el consumo doméstico de calefacción y agua caliente sanitaria. En concreto se propone el uso de energía geotérmica en tres de ellos. Las diferencias entre estos sistemas tienen lugar en la existencia o no de prospecciones en el subsuelo y en el tipo de energía auxiliar empleada, es decir, si se utiliza auxiliariamente bomba de calor o bien caldera de biomasa. Un cuarto sistema adicional se basa en el uso de gas natural con paneles solares térmicos como energía auxiliar.

El segundo capítulo de esta Tesis Doctoral presenta una revisión de la literatura sobre el estado y evolución del calentamiento global, analizando los hechos estilizados que indican la existencia de un calentamiento terrestre. En este sentido, se sabe que desde 1896 se han verificado los siguientes hechos: i) se ha establecido una relación directa entre la combustión de combustibles fósiles y las emisiones asociadas de CO<sub>2</sub> con el aumento de la temperatura de la Tierra;

ii) se ha probado también que los océanos retienen hasta un tercio del CO<sub>2</sub> emitido por humanos (antropogénico); iii) la existencia de una relación directa positiva entre la cantidad de CO<sub>2</sub> que hay en la atmósfera y la absorción de la radiación infrarroja y; iv) que el vapor de agua absorbe otros tipos de radiación diferente a la absorbida por el CO<sub>2</sub>, lo que hoy por hoy cuestiona la teoría de la glaciación en favor de la del efecto invernadero.

En este mismo capítulo se han relatado los pactos y normativa de la Unión Europea, con el fin de establecer las cinco dimensiones principales de la Estrategia de la Unión de la Energía, que impulsa la seguridad, sostenibilidad y la competitividad energética. Para ello se ha utilizado la información obtenida a partir de la bibliografía y documentación de la Unión Europea, así como la de los países de la muestra no pertenecientes a la UE.

En el capítulo tercero se ha realizado un breve repaso de las diferentes fuentes de energías existentes, así como de las tecnologías y últimos avances, referentes tanto a energías fósiles como a renovables, observando ventajas e inconvenientes de cada una de ellas. Adicionalmente, se ha realizado un estudio de los recursos energéticos existentes por zonas en España.

El capítulo cuarto analiza si las emisiones de CO<sub>2</sub> son causadas en mayor o menor grado por los procesos productivos de bienes y servicios, o por el consumo energético. Para efectuar este análisis se ha llevado a cabo una especificación microeconómica del consumo de energía suponiendo mercados de bienes en competencia perfecta y mercado de energía en régimen de oligopolio no colusivo, tipos Cournot y Bertrand alternativamente. La aplicación se ha efectuado para el período 1995-2015 sobre una muestra de 20 países con

una población total equivalente al 61 % de la población mundial, mediante técnicas econométricas que incluyen estacionariedad, causalidad y datos de panel y los resultados indican que la mayor parte de las emisiones de CO<sub>2</sub> se deben en mayor grado a los procesos productivos de bienes que al consumo energético.

En el capítulo quinto se analizan en profundidad cuatro posibles sistemas energéticos que se proponen para el consumo doméstico, susceptibles todos de ser empleados en calefacción y ACS. Entre ellos hay dos sistemas inéditos basados en la utilización de energía geotérmica a partir de fuentes termales que estén cercanas a zonas y municipios, para su abastecimiento de calefacción y ACS. Para ello sobre los 9 países seleccionados pertenecientes a la costa atlántica del entorno de la UE más Estados Unidos, se ha realizado un análisis sobre los fenómenos volcánicos, sísmicos y fuentes termales correspondientes, con el fin de observar las zonas que cumplen con los mejores requisitos para realizar instalaciones geotérmicas superficiales. Se ha utilizado el Código Técnico de Edificación de la UE y de los diferentes países extracomunitarios, así como mapas cartográficos, bibliografía y bases de datos de la UE y del resto de países.

Por último, en el capítulo sexto, se han comparado estos cuatro sistemas de suministro de energía con respecto a los beneficios sociales que pueden potencialmente suministrar; tres de estos sistemas están basados en energía geotérmica y el otro en gas natural más paneles solares térmicos. Se han seleccionado estos sistemas por resultar ser los más económicos del mercado. También se ha utilizado un sistema de calor centralizado por distritos (*District Heating*). El contraste de estos cuatro proyectos energéticos se ha llevado a cabo

en nueve países a lo largo de un ciclo vital de 25 años a partir de 2018. Para la evaluación de la rentabilidad social de estos proyectos se han utilizado técnicas de análisis coste-beneficio, haciendo hincapié en el efecto de las externalidades negativas causadas por las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo energético de cada uno de los cuatro sistemas. Bajo ciertas hipótesis microeconómicas basadas en la variación de los excedentes de consumidores y productores se han estimado las variaciones en el bienestar de estos agentes y la rentabilidad social de los cuatro sistemas en los nueve países de la muestra. Finalmente se ha concluido también con un análisis económico-financiero sobre estos cuatro sistemas energéticos.

### **3. PRINCIPALES AFIRMACIONES Y APORTACIONES**

Las principales afirmaciones y aportaciones contenidas en este trabajo de investigación son las siguientes:

- 1) Con respecto a las energías fósiles, las energías renovables dan lugar a menores emisiones de CO<sub>2</sub>, así como del resto de gases causantes del efecto invernadero y de la lluvia ácida.
- 2) La existencia de una gran potencialidad en las energías fósiles si se pudieran utilizar determinados tratamientos en sus emisiones de CO<sub>2</sub>, para así obtener subelementos menos contaminantes, probablemente válidos para países emergentes y en vías de desarrollo, por sus bajos costes y por su facilidad de acceso.
- 3) Preferencia por las energías renovables debido a que causan un descenso en las emisiones y una menor dependencia de los países productores de combustibles fósiles.

- 4) Las energías renovables presentan grandes ventajas para la salud, el bienestar y el medioambiente, existiendo una gran variedad en sus aplicaciones.
- 5) Los costes iniciales de las instalaciones renovables y de las instalaciones auxiliares son elevados, aunque con el tiempo se podrán abaratar debido al aumento de su oferta.
- 6) El aprovechamiento de los recursos cercanos a las zonas a climatizar incide positivamente en la erradicación de la pobreza energética.
- 7) En general las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios son mayores que las asociadas al consumo de energía.
- 8) Sobre una muestra de 20 países analizados sólo el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía son mayores que las relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios en Alemania, Japón, Brasil y México.
- 9) Los países de la muestra donde la diferencia entre los aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios y los aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía resultan ser mayores que la media, son: España, Francia, India, Estados Unidos, Arabia Saudí, África del Sur, y China.
- 10) Los países de la muestra cuyas emisiones per cápita de CO<sub>2</sub> son superiores a la media son: Irlanda, Japón, Alemania, Estados Unidos, Arabia Saudí, China, Irán y Rusia.
- 11) Los bloques de países representados en la muestra que usan la energía más eficientemente, según el orden inverso de intensidad energética, son por orden: Europa, América, Asia y BRICS.



- 12) Los países que han conseguido en 2015 utilizar eficientemente la energía como factor de producción, es decir, países donde la productividad media de la energía es mayor que la productividad marginal de la energía, son: Portugal, España, Francia, India, Estados Unidos, Arabia Saudí, China e Islandia.
- 13) La energía geotérmica obtenida por aprovechamiento de fuentes termales y balnearios cercanos a núcleos de población, gestionando su distribución mediante calor centralizado por distrito, resulta ser una forma barata, sencilla y cómoda de suministrar energía para el consumo doméstico.
- 14) La energía geotérmica a partir de aguas termales propicia el ahorro de la tarifa en calefacción y agua caliente sanitaria, la reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, menores costes de mantenimiento, facilidad en el transporte y en el suministro del agua caliente a través de las tuberías a las viviendas y edificios, ausencia de combustible, seguridad y ausencia de ruidos.
- 15) La caldera de biomasa es un sistema de apoyo energético barato, cuyas emisiones de dióxido de carbono se consideran nulas.
- 16) Se han propuesto en esta Tesis Doctoral cuatro sistemas energéticos para el suministro de energía doméstica dedicada a calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria: a) Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin realizar prospección, utilizando como refuerzo caldera de biomasa; b) Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin realizar prospección, utilizando como refuerzo bomba de calor geotérmica; c) Sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, realizando prospección,

utilizando como refuerzo bomba de calor geotérmica y d) Sistema con paneles solares térmicos y gas natural.

- 17) El sistema que más se acerca al óptimo es el sistema basado en la energía geotérmica obtenida de una fuente termal o hipertermal, o bien procedente de balnearios, sin prospección y utilizando una caldera de biomasa como energía auxiliar.
- 18) Los sistemas económicamente rentables para el hogar que invierte en nuevas fuentes de energía para calefacción y agua caliente sanitaria son los siguientes por país: el gas natural con paneles solares en Alemania, Estados Unidos, Reino Unido e Irlanda. Aguas termales con bomba de calor, en Islandia, España, Francia y Marruecos y aguas termales con caldera de biomasa en Irlanda y Portugal.
- 19) De los cuatro sistemas propuestos, la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor es, de entre los considerados, el sistema menos rentable para el consumidor-inversor en todos los países de la muestra, excepto en Estados Unidos, donde el sistema menos rentable serían las aguas termales con caldera de biomasa.
- 20) El consumidor-inversor recupera la inversión inicial antes con el sistema de gas natural más paneles solares térmicos en todos los países de la muestra, excepto en Marruecos. Y, por el contrario, la inversión inicial se recupera más tardíamente con el sistema de prospección geotérmica más bomba de calor, también en todos los países excepto Marruecos.
- 21) Considerando los cuatro sistemas, los mayores valores del valor actualizado neto (VAN) financiero para el consumidor-inversor se obtienen en Estados Unidos e Islandia, y los peores en Marruecos y Portugal.

- 22) En cuanto a los beneficios de las empresas suministradoras de energía, los mayores beneficios del sistema de aguas termales y biomasa se obtienen en Estados Unidos. Las empresas suministradoras de Islandia, Irlanda, Portugal, España, Francia y Marruecos obtendrían mayores beneficios con el gas natural más paneles solares térmicos que con ningún otro sistema de entre los comparados. En Alemania y Reino Unido, los mayores beneficios de las empresas suministradoras se obtendrían con los sistemas que emplean electricidad (bombas de calor). En todos los países de la muestra, con un sistema energético a partir de aguas termales más biomasa se obtienen los menores beneficios para las empresas suministradoras, excepto en Estados Unidos, Islandia y Marruecos. En todos los países y con los cuatro sistemas comparados, los beneficios de las empresas suministradoras de energía resultan ser positivos a lo largo de los 25 años del ciclo vital del sistema.
- 23) Los sistemas económicamente más rentables para el hogar inversor son los siguientes: en Estados Unidos, en mayor medida con gas natural y paneles solares térmicos; en Marruecos, con aguas termales más bomba de calor eléctrica; en Islandia son rentables económicamente todos los sistemas comparados en aproximadamente la misma cuantía; y en Francia, Reino Unido, España, Portugal, Irlanda y Alemania el sistema menos rentable económicamente es la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor mientras que los restantes tres sistemas destacan por su rentabilidad económica.
- 24) A lo largo de los nueve países de la muestra se han detectado 25 sistemas económicamente a la vez que socialmente rentables en los nueve países de la muestra, de los cuales el 32 % son sistemas de gas natural con paneles

solares térmicos; el 24 % son sistemas de aguas termales con caldera de biomasa; otro 32 % son aguas termales con bombas de calor y el 12 % restante pertenece a prospecciones geotérmicas auxiliadas con bombas de calor. Se puede observar que el sistema basado en la utilización de aguas termales son el 56 % de los sistemas social y económicamente rentables y que los sistemas que utilizan electricidad, como las bombas de calor son sólo el 36 % de los sistemas social y económicamente rentables en los nueve países de la muestra.

El análisis realizado en la presente Tesis mantiene empíricamente la propuesta de utilización de las aguas termales como sistema energético alternativo, social y económicamente rentable, para ser utilizado en calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios situados en las zonas cercanas a las fuentes termales, siempre que estas cuenten con suficiente temperatura y caudal.

#### **4. LIMITACIONES DEL PRESENTE TRABAJO**

Las limitaciones con las que se han encontrado en la presente tesis están relacionadas en algunos casos con la divergencia en la información referente a un mismo dato entre fuentes, como la Organización de Naciones Unidas (ONU), la Agencia Internacional de la Energía (IEA), la Unión Europea (Eurostat) y las bases de datos de los países estudiados. Así mismo se han efectuado determinadas simplificaciones, algunas veces fuertes, en las modelizaciones realizadas en los capítulos 4 y 6 sin que, por otra parte, haya habido pérdida ostensible en el rigor. En el capítulo 4 se ha llevado a cabo algunas simplificaciones en la especificación del consumo de energía: 1) Se ha supuesto una economía cerrada y sin Sector Público. 2) Se han supuesto funciones de

utilidad y de producción tipo Cobb-Douglas, 3) Se han omitido los costes fijos en la maximización de los beneficios de las empresas por no ser significativos en el resultado final al ser su derivada cero, y 4) Se ha supuesto en la especificación del consumo energético que las empresas suministradoras de energía están en competencia imperfecta e imponen todas ellas el mismo margen (*mark-up*) sobre los costes marginales. En el capítulo 6 las principales simplificaciones, que en algún caso resultan ser también limitaciones, son las siguientes: 1) Por simplicidad se han supuesto funciones de utilidad cuasilineales, con las que se obtienen funciones de demanda-precio lineales. La simplificación se hace bajo el supuesto de que siempre se puede ajustar una recta a la función demanda-precio. 2) El supuesto de funciones demanda-precio lineales resulta fundamental por la facilidad de cálculo de los excedentes netos, sobre todo el del consumidor, ya que se transforma en un triángulo cuya área es sencilla de calcular. Es una simplificación muy operativa ya que las variaciones en el bienestar, cuando la función de utilidad es cuasi-lineal, puede calcularse por la variación del excedente en vez de calcular la variación compensatoria y la variación equivalente, ya que en sólo en este caso las tres medidas coinciden. 3) La forma triangular del excedente neto del consumidor debido a funciones de demanda lineales, comparada con la forma rectangular del excedente neto del productor (ingresos menos costes variables) hace que en general los excedentes netos de los productores tengan valores mayores que los de los consumidores, sin que ello tenga que ser siempre cierto. 4) Se ha supuesto por simplicidad que, en el equilibrio, la elasticidad demanda-precio de la demanda de energía para calefacción y agua caliente sanitaria siempre coincide con la elasticidad demanda-precio de la demanda agregada del mercado de energía en el equilibrio

que, además, suponemos constante a lo largo del ciclo vital de 25 años. 5) También los costes marginales de las empresas que suministran energía se han supuesto constantes a lo largo del tiempo. Y por último 6) En el análisis financiero el tipo de interés nominal efectivo se ha asimilado a la tasa anual equivalente (TAE), para incluir los gastos y comisiones asociadas al préstamo, lo que refleja mucho más exactamente el interés que se va a pagar, que el tipo de interés nominal efectivo.

Otras limitaciones obedecen a: i) la dificultades de encontrar los precios normalizados, debido a que existen diferentes precios para un solo componente en las diferentes empresas suministradoras de energía; ii) la extensa normativa de la Unión Europea unida a propuestas y declaraciones de intenciones, a veces iterativa; y iii) a que la búsqueda de fuentes termales y balnearios ha sido especialmente complicada dado que por regla general la información dada por los balnearios es desde el punto de vista comercial y/o turístico en lugar de datos técnicos necesarios para la realización de la presente Tesis.

## **5. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN**

Al igual que existen fuentes de aguas calientes, denominadas termales e hipertermales, también existen fuentes de aguas frías o muy frías en algunos balnearios y fuentes llamadas hipotermas o de agua fría o muy frías. Estas fuentes son aquellas cuyas aguas tienen temperaturas inferiores a 15 °C, llegando incluso a tener temperaturas de 3 o 4 °C y que podrían resolver el problema del exceso de calor en diferentes zonas del mundo. De cara al futuro y debido al calentamiento global que implica olas de calor, cada vez más continuas en el tiempo, se requiere de refrigeración en viviendas e instalaciones, sobre todo en época estival. Mi futura línea de investigación está relacionada con

el análisis de sistemas de refrigeración basados en fuentes hipotermas para su uso en ciudades y pedanías que se encuentren cercanas a estas fuentes.





## CAPÍTULO 2

### ENERGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO: NORMATIVA

#### Resumen

Se ha verificado que la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera está aumentando en detrimento del oxígeno. Desde 1975 a 2019 esta concentración ha aumentado en volumen de 330 partes por millón a 415. La atmósfera contiene de forma natural una determinada proporción de CO<sub>2</sub>, pero se ha observado que las emisiones antropogénicas (causadas directamente por los humanos) se han multiplicado por 2,4 desde 1971 a 2015. Sea cual sea la razón, la cuestión es que la atmósfera se está densificando debido muy probablemente al aumento de la concentración de CO<sub>2</sub>. Se sabe que la Tierra es uno de los pocos planetas de nuestro sistema solar que por diversas causas emite más radiación infrarroja al exterior que la que recibe, pero cuanto más se densifica la atmósfera menos radiación sale al exterior, porque ésta rebota en la atmósfera y vuelve a la Tierra. El efecto que esto produce es un recalentamiento de la superficie del planeta y de las capas bajas de la atmósfera. En este sentido se ha observado que desde 1980 a 2018 la temperatura media en la superficie terrestre se ha incrementado en 1 °C. Relacionado con este aumento de la temperatura se han observado dos fenómenos: 1) Un aumento del deshielo de los glaciares en general y de los casquetes polares en particular, lo que está ocasionando una paulatina elevación del nivel del mar. De hecho, se conoce que entre 1997 y 2016 el nivel medio del mar en el planeta ha aumentado en 6,3 cm. 2) También se ha comprobado que el aumento de la temperatura hace que se evapore el oxígeno diluido en el mar, de forma que se ha comprobado que entre 1960 y 2010 el porcentaje de oxígeno diluido en los océanos ha disminuido en media un 2 %. El efecto del aumento de concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera tiene otro efecto adicional: se ha comprobado que el mar absorbe el 25 % de las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub>. La disolución del CO<sub>2</sub> en el agua de mar produce ácido carbónico y de hecho se ha comprobado que entre 1999 y 2019 el pH medio del mar ha descendido desde 8,2 a 7,7 verificándose una cierta acidificación del mar. No conocemos si estas tendencias se mantendrán o no, pero es evidente que todos estos hechos van incidiendo en el clima terrestre y también en la economía y modo de vida humanos. La Unión Europea no es ajena a ello y está tratando de establecer una normativa eficiente, incluyendo un Pacto Verde, tal que con todo ello se pueda ser capaz de curvar la trayectoria de esta situación que se ha dado en llamar Calentamiento Global. El presente capítulo analiza estos hechos, así como las acciones y normativas que la Unión Europea se propone aplicar.

## 1. INTRODUCCIÓN

En la primera parte del presente capítulo se desarrollan algunos elementos relacionados con la motivación que impulsa el desarrollo de esta Tesis. En gran parte, estos elementos están relacionados con los hechos estilizados que sustentan la idea de la existencia de un calentamiento generalizado del planeta desde hace miles de años. Se expone una relación de los gases capaces de causar efecto invernadero y subsiguientemente el calentamiento global cuya consecuencia derivaría en un posible cambio climático. Del análisis realizado se concluye, que el clima global seguirá sufriendo un calentamiento significativo en respuesta a las emisiones continuas de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (Anderson et al., 2016), siendo el CO<sub>2</sub>, según un estudio del Instituto de Estudios Espaciales Goddard<sup>1</sup> de la NASA<sup>2</sup> en Nueva York (Estados Unidos), el gas de efecto invernadero más influyente en el calentamiento global de la Tierra. La investigación del instituto combina análisis de conjuntos de datos globales derivados de estaciones de superficie combinadas con datos de satélites para Temperatura Superficial del Mar (TSM) con modelos globales de procesos atmosféricos de superficie terrestre y oceánicos.

A partir de los hechos estilizados que indican la existencia de un calentamiento de la superficie del planeta, la segunda parte del capítulo trata de la reacción de los países y bloques de países plasmada en acuerdos, políticas y normativas

---

<sup>1</sup> El Instituto Goddard de Estudios Espaciales (*Goddard Institute for Space Studies* o GISS) es un laboratorio de la División de Ciencias de la Tierra del Centro de Vuelo Espacial Goddard de la NASA y una unidad del Instituto de la Tierra de la Universidad de Columbia.

<sup>2</sup> NASA es la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, (*National Aeronautics and Space Administration*), es la agencia del gobierno estadounidense responsable del programa espacial civil, así como de la investigación aeronáutica y aeroespacial.

encaminadas a frenar la tendencia de este calentamiento global contrastado empíricamente.

Uno de los primeros científicos en establecer una relación directa entre la combustión de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono con el aumento de la temperatura de la Tierra fue Arrhenius (1896), que, al igual que Chamberlin (1899) en el transcurso de una investigación sobre cómo influía el dióxido de carbono en los procesos de hielo y deshielo en la tierra, encontraron la relación existente entre las concentraciones de CO<sub>2</sub> y el aumento de la temperatura terrestre. Arrhenius calculó que la temperatura media en la superficie terrestre era de 15 °C debido al efecto invernadero causado naturalmente por la capacidad de absorción de la radiación infrarroja del vapor de agua y el dióxido de carbono. Así mismo, dedujeron que, si se duplicaban las concentraciones de CO<sub>2</sub>, debido a la actividad humana, se podría provocar un aumento de la temperatura de la Tierra en, aproximadamente, 5 °C. Con el tiempo otros investigadores dedujeron que la influencia del ser humano no era significativa comparada con la actividad de la propia naturaleza, como la radiación solar, los vientos, las fuerzas marinas y oceánicas, que actuaban como filtro para limpiar la contaminación existente.

Durante este tiempo, se comprobó que:

- El aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera aumentaba la absorción de los rayos infrarrojos.
- El vapor de agua absorbía diferentes tipos de radiaciones diferentes al que absorbía el dióxido de carbono.

Plass (1956a, b y 1959) llegó a la conclusión de que el incremento de dióxido de carbono en la atmósfera captaba la radiación infrarroja, perdiéndose en el espacio y, por ende, provocando el sobrecalentamiento de la tierra. Al principio de 1960, Keeling (1960) usó el método de producción de curvas de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, mostrando una disminución de las temperaturas registradas entre los años 1940 a 1970. Por otro lado, se investigaron los sedimentos oceánicos llegando a la conclusión de que en los últimos 2,5 millones de años hubo, al menos, treinta y dos ciclos de calor y frío. A partir de los años 80 se empieza a cuestionar la teoría de una posible glaciación y va cogiendo fuerza la teoría del calentamiento global, el cambio climático y su impacto en el planeta y en los seres vivos, siendo uno de los precursores y experto en calentamiento terrestre Stephen Schneider, que en los años setenta, fue de los primeros en apoyar la teoría de que los gases industriales dañan la capa de ozono y llevan a un incremento de la temperatura. A partir de 1988 existe un reconocimiento ante el aumento de las temperaturas, que son superiores a épocas anteriores a 1880, así como de la teoría del efecto invernadero provocado por la emisión de ciertos gases a la atmósfera.

En 1988 se crea el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC) por el Programa Medioambiental de Naciones Unidas y la Organización Mundial Meteorológica, cuya función es predecir el impacto de los gases de efecto invernadero teniendo en cuenta los modelos existentes y de previsión sobre el clima. Durante los años 90, dada la poca fiabilidad de los datos aportados, mediciones y modelos, los científicos expertos en este campo realizaron nuevos proyectos de investigación, llegando a la conclusión de que 1998 fue el año más

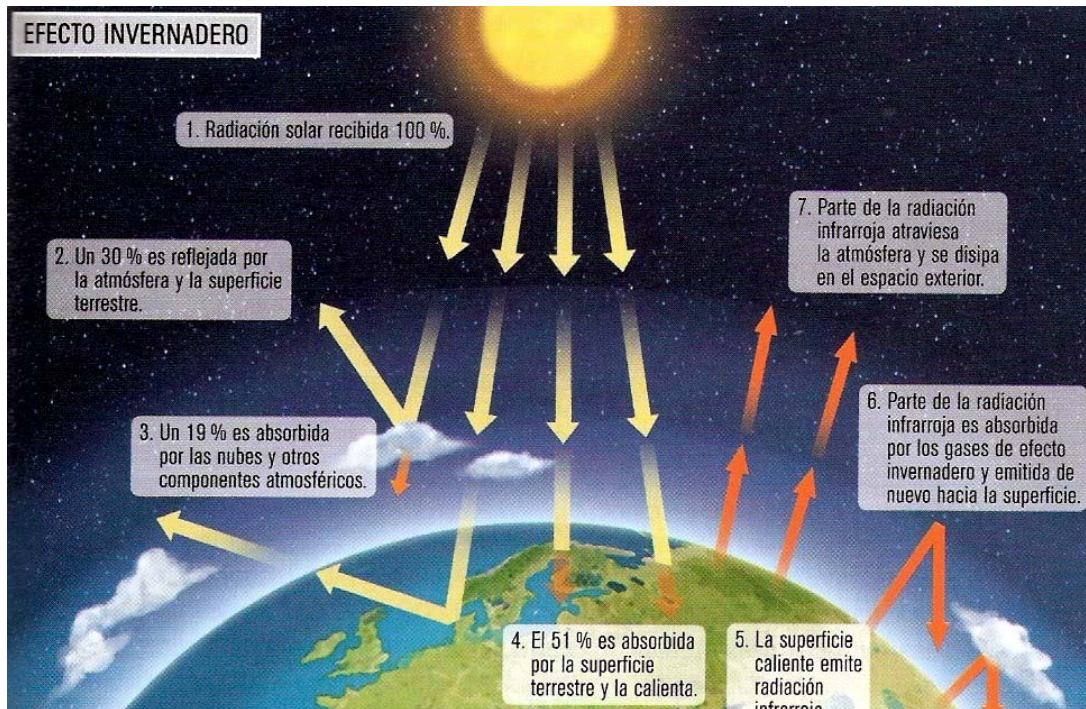
cálido registrado. Desde 1998 se utiliza el término efecto invernadero en lugar de calentamiento global o cambio climático.

## **2. EFECTO INVERNADERO**

El sol irradia energía solar de la que una pequeña parte se dirige a la Tierra. De esa irradiación que llega a la Tierra, aproximadamente el 45%, rebota y se vuelve a irradiar al espacio. Si la atmósfera se densifica por la formación de gases de efecto invernadero, la energía vuelve a rebotar en la atmósfera y vuelve a la Tierra, lo que provoca un calentamiento generalizado del planeta. Este fenómeno natural es lo que se denomina efecto invernadero, que está correlacionado con los cambios de temperatura global. Si los gases de efecto invernadero no existieran, la Tierra tendría temperaturas por debajo de los 18 °C bajo cero, no apta para la vida en el planeta.

Por otro lado, un aumento de los gases de efecto invernadero podría provocar un enfriamiento de la estratosfera, European Environmental Agency (2015), debido a que la mayoría de los rayos infrarrojos son absorbidos a bajas altitudes, quedando poca radiación para calentar la estratosfera.

En la figura 1, se observa los efectos de la radiación solar en la Tierra: De los rayos solares que inciden en la Tierra, aproximadamente el 30% de esa radiación se refleja al exterior de la atmósfera, un 20% lo absorben las nubes y otros componentes atmosféricos y el 50% lo absorbe la superficie terrestre y la calienta. La superficie caliente emite radiación infrarroja, en la que parte de esa radiación atraviesa la atmósfera disipándose en el espacio exterior y la radiación restante es absorbida por los gases de efecto invernadero y emitida de nuevo hacia la superficie terrestre.



**Figura 1: Efectos de la Radiación Solar en la Tierra. Efecto Invernadero.**

Fuente: [juanpicard.wordpress.com](http://juanpicard.wordpress.com).

A pesar de las acciones de muchas organizaciones medio ambientales, no todos los países aceptan el efecto invernadero como un problema medioambiental global y opinan que la teoría aun siendo correcta en cierto modo, exagera las consecuencias derivadas de este efecto invernadero.

### 3. HECHOS ESTILIZADOS

El informe *United in Science*<sup>3</sup>, convocado por el Grupo Asesor de Ciencias de la Cumbre de Acción Climática de la ONU, Siegmund et al. (2019), reúne los detalles sobre el estado actual del clima y presenta tendencias en las emisiones

<sup>3</sup> El Informe *United in Science* creado por las principales organizaciones de ciencia climática del mundo fuerzas para producir una evaluación unificada para la Cumbre de Acción Climática de las Naciones Unidas subraya las brechas evidentes y crecientes entre los objetivos acordados para abordar el calentamiento global y la realidad real, destacando la urgencia de desarrollar e implementar compromisos y acciones concretos. Otras agencias contribuyentes son: la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Vigilancia de la Atmósfera Global (*Global Atmosphere Watch*), Proyecto Global del Carbono (*Global Carbon Project*), el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), Tierra Futura (*Future Earth*), Liga de la Tierra (*Earth League*) y el Marco Global de Servicios Climáticos.



y concentraciones atmosféricas de los principales gases de efecto invernadero. En la investigación los científicos destacan la urgencia de una transformación socioeconómica fundamental en sectores clave como el uso de la tierra y la energía para evitar un aumento peligroso de la temperatura global con impactos potencialmente irreversibles.

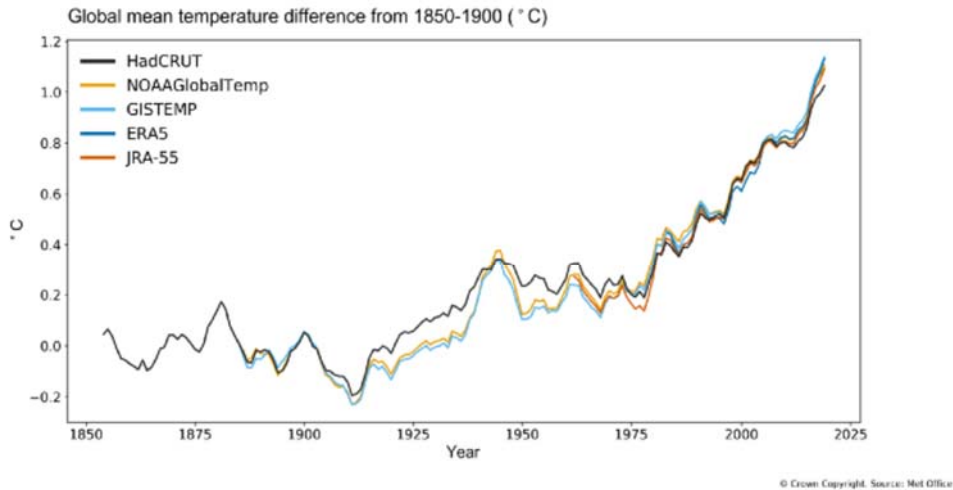
Los hechos estilizados constatados son los que a continuación se relatan:

**Registro de temperaturas más altas en cinco años:** Según la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), el *Goddard Institute for Space Studies*, Susskind et al., (2019), constataron que la temperatura global promedio para el período 2015 y 2019 estuvo entre las más altas registradas en grandes áreas como Estados Unidos, incluido Alaska, zona oriental de América del Sur, la mayor parte de Europa, Oriente Medio, norte de Eurasia, Australia y áreas de África subsahariana, como consecuencia de sistemas de altas presiones que han ido creando lo que los expertos denominan un "domo de calor"<sup>4</sup>.

Actualmente se estima la temperatura global promedio entre 1,0 y 1,2 °C por encima de la época preindustrial situada entre los años 1850 y 1900 y, entre 0,12 °C y 0,28 °C más alta que la temperatura global promedio entre los años 2011 y 2015 (ver figura 2).

---

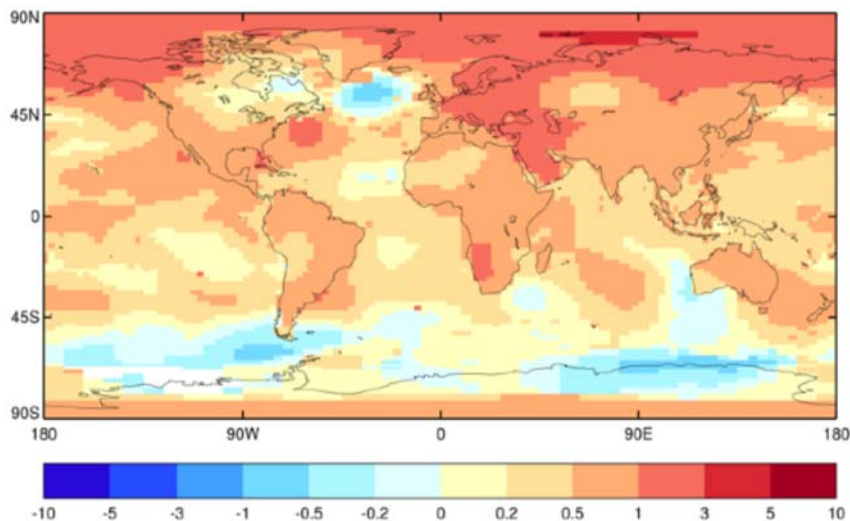
<sup>4</sup> Domo es una especie de cúpula, así "domo de calor" es una cúpula de calor de alta presión, que es similar a una ola de calor, pero que en diversos aspectos es más intenso que una ola de calor. El "domo de calor" responsable de las altísimas temperaturas, proviene del desierto del Sahara, dirigiéndose hacia el nordeste de Europa continental.



**Figura 2: Promedio de cinco años de anomalías de temperatura global comparado con la época preindustrial, de 1854 a 2019 para cinco conjuntos de datos.**

Fuente: *United in Science*.

En el periodo que se muestra en el mapa de la figura 3, los puntos amarillos muestran dónde se rompió un registro de temperatura máxima en una fecha determinada; el color rosa indica los lugares más calurosos en el mes que se muestra y el rojo oscuro representa el lugar más caluroso desde que comenzaron los registros.



**Figura 3: Anomalías de la temperatura promedio de cinco años de 2015-2019 en relación con el promedio de 1981-2010.**

Fuente: *National Aeronautics and Space Administration (NASA) GISTEMP<sup>5</sup> v4*.

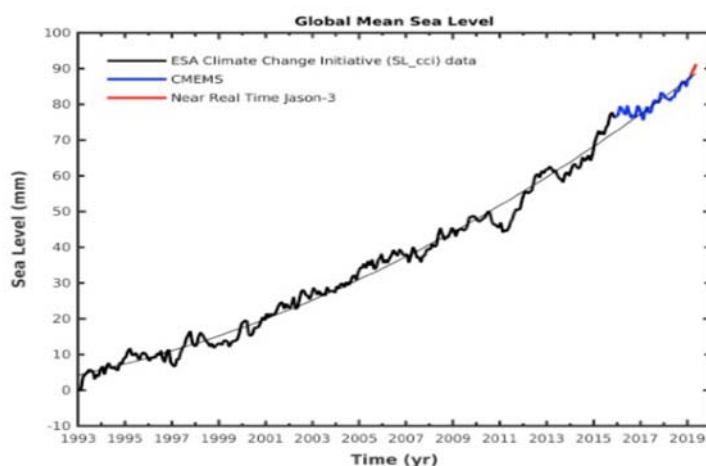
<sup>5</sup> El análisis de temperatura de la superficie global de *Goddard* (GISTEMP) de la NASA combina las temperaturas del aire de la superficie terrestre en un conjunto completo de datos de temperatura de la



Si esta tendencia continúa, se estima que la temperatura global podría aumentar entre 3 y 5 °C para el año 2100.

**Aceleración en el aumento del nivel del mar:** La tasa observada de aumento medio global del nivel del mar pasó de 3,04 milímetros por año (mm/año) durante el período 1997-2006 a, aproximadamente, 4 mm/año durante el período 2007–2016. La tasa acelerada en el aumento del nivel del mar se atribuye al calentamiento que origina el derretimiento del hielo terrestre de Groenlandia y la Antártida Occidental.

**Acidificación del agua de mar:** En el informe publicado por *United in Science*, el océano se ve también afectado de tal manera que absorbe casi el 25% de las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> antropogénico, lo que ayuda a aliviar la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera y con ello el efecto invernadero. El CO<sub>2</sub> absorbido reacciona con el agua de mar provocando cierto grado de acidez que va aumentando paulatinamente.



**Figura 4: Series temporales del nivel medio del mar global basado en la altimetría desde enero de 1993 hasta mayo de 2019.**

Fuente: Iniciativa sobre el cambio climático (CCI) de la Agencia Espacial Europea (ESA) 2015, ampliados por datos del Servicio Marino de Copérnico (CEEMS)

---

superficie global que abarca desde 1880 hasta el presente. Es uno de los principales conjuntos de datos utilizados para monitorear la variabilidad y las tendencias de la temperatura global y regional.

En la figura 4 se muestra la línea serrada negra, que es una función cuadrática que muestra la aceleración media del aumento del nivel del mar.

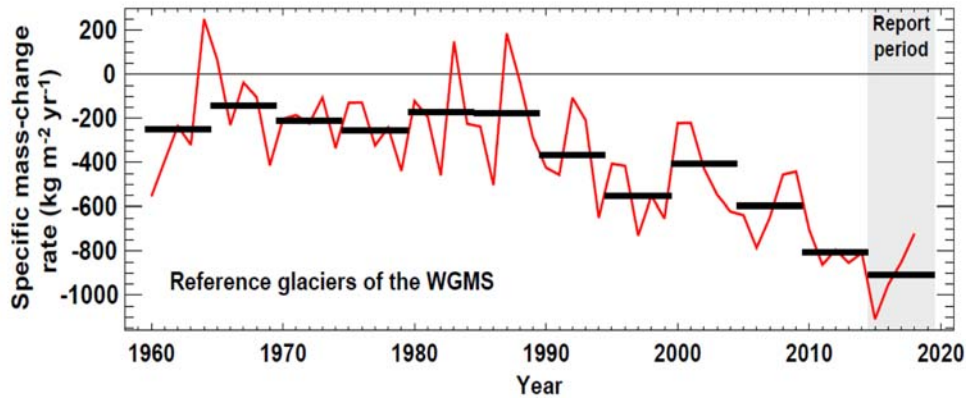
Las observaciones muestran un aumento general del 26% en la acidez del océano desde el comienzo de la era industrial, siendo el coste ecológico para el océano muy alto, ya que los cambios en la acidez están vinculados a cambios en otros parámetros de la química del carbonato, en detrimento de la vida marina y los servicios oceánicos.

**Disminución continua del hielo:** La tendencia a largo plazo durante el período 1979-2018 indica que la extensión del hielo marino del verano ártico<sup>6</sup> ha disminuido, aproximadamente, un 12% por década, situándose en los últimos cinco años muy por debajo del promedio existente en el período 1981-2010. La cantidad de hielo perdido anualmente de la capa de hielo antártica aumentó al menos seis veces entre 1979 y 2017. La pérdida total de masa de la capa de hielo aumentó desde 40 Gigatonnes por año (Gt/año) en el período 1979-1990, a 252 Gt/año en el período 2009–2017, debido, en su mayoría a incursiones de agua proveniente de los océanos relativamente cálida.

El nivel del mar en la Antártida aumentó, en promedio, desde, aproximadamente, 12,0 - 16,0 milímetros (mm), hasta 15,1 - 20,1 mm.

---

<sup>6</sup> El verano ártico es un indicador de las consecuencias de la alteración climatológica del planeta. Allí se amplifica el calentamiento de origen humano, es decir, hasta el 80% la radiación solar rebota en la superficie blanca del hielo. Pero si no hay hielo, esa radiación es absorbida por el agua marina, lo que redundaría en un mayor calentamiento del planeta.



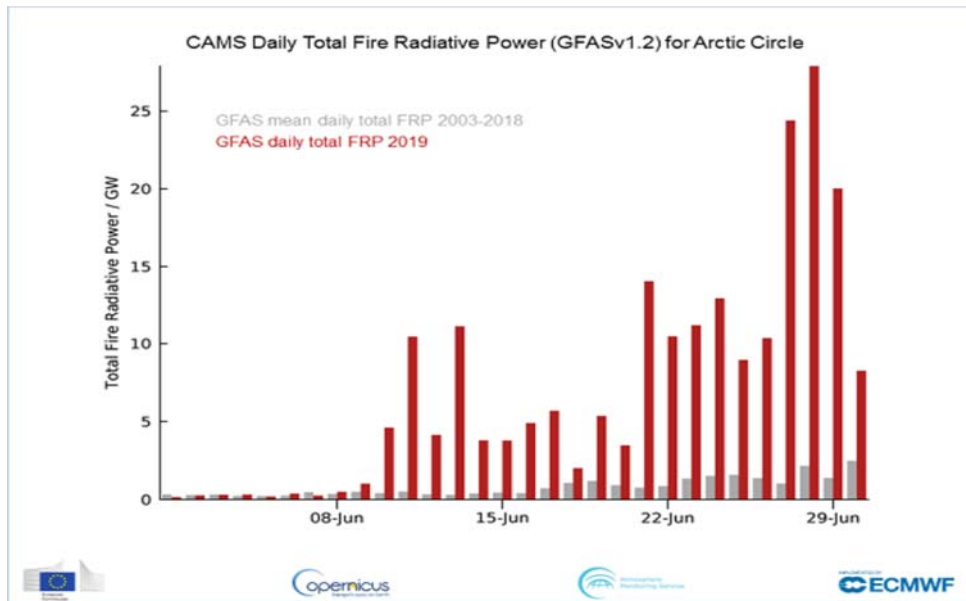
**Figura 5: Series temporales promedio de la tasa de cambio de masa específica anual observada de todos los glaciares de referencia WGMS<sup>7</sup>, incluidos los promedios de cinco años.**

Fuente: *World glacier monitoring service* (WGMS).

Los resultados de estas series temporales son solo parcialmente representativos, ya que están sesgados a regiones accesibles como los Alpes europeos, Escandinavia y las Montañas Rocosas, aunque dan una información directa sobre la variación anual en el balance de masa de glaciares en estas regiones (ver figura 5). El aire caliente de la ola de calor existente en Europa en julio de 2019 llegó a Groenlandia, aumentando la temperatura, con la fusión de la superficie de la isla a niveles de récord.

**Intensas olas de calor e incendios forestales:** Las olas de calor fueron el mayor peligro meteorológico en el período 2015-2019, afectando a todos los continentes y estableciendo récords de temperatura. Los incendios forestales de junio del 2019 en la región del Ártico emitieron 50 megatonnes (Mt) de dióxido de carbono a la atmósfera, más que el CO<sub>2</sub> emitido en el período completo comprendido entre 2010 y 2018 (ver figura 6).

<sup>7</sup> El Servicio Mundial de Monitorización de Glaciares o WGMS, *World glacier monitoring service*, en inglés, es un servicio internacional creado en el año 1986 para estudiar las fluctuaciones de los campos de hielo y masas de hielo continental de todo el mundo. Depende de la Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas (IACS) y de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (UGG) y del Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente (UNEP).



**Figura 6: El poder radiactivo de los incendios en Gigavatios: una medida de la producción de calor de los incendios forestales que se muestra en junio de 2019, en rojo y el promedio de 2003-2018, en gris.**

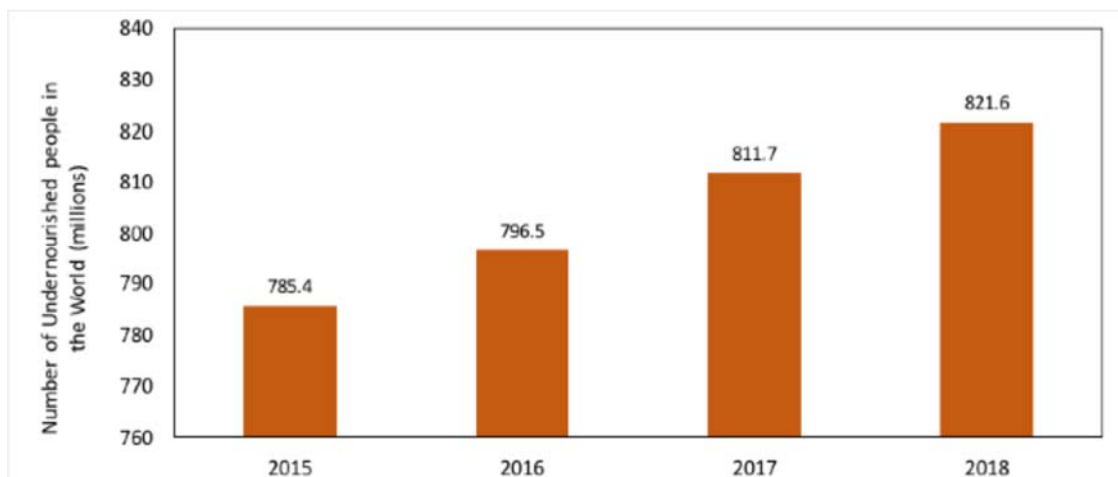
Fuente: Servicios de Monitoreo Atmosférico (CAMS) de Copernicus<sup>8</sup>.

**Pérdidas económicas asociadas a los ciclones tropicales:** El año 2018 fue especialmente activo, con un mayor número de ciclones tropicales que los acontecidos en cualquier otro año en el siglo XXI. Todas las cuencas del hemisferio norte experimentaron una actividad superior al promedio y el Pacífico nororiental registró su mayor valor de energía ciclónica acumulada<sup>9</sup> (ECA). Los ciclones tropicales del Océano Índico azotaron Mozambique en marzo y abril de 2019.

<sup>8</sup> El Servicio de Vigilancia Atmosférica de Copernicus (CAMS) proporciona datos e información sobre la composición atmosférica de forma continua. Describe la situación actual, formula predicciones para los próximos días y analiza sistemáticamente registros de datos retrospectivos correspondientes a los últimos años, además, da soporte a numerosas aplicaciones en diversos ámbitos, como la salud, la vigilancia medioambiental, las energías renovables, la meteorología y la climatología. El CAMS se centra en cinco áreas principales: calidad del aire y composición de la atmósfera; capa de ozono y radiación ultravioleta; emisiones y flujos de superficie; radiación solar y forzamiento climático.

<sup>9</sup> La Energía Ciclónica Acumulada (ECA) [en inglés: *Accumulated Cyclonic Energy* (ACE)] es un índice usado por la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por su sigla en inglés) para expresar la actividad de los ciclones tropicales, así como también la actividad de las temporadas de ciclones, especialmente las del océano Atlántico. La medida usa una aproximación de la energía empleada por un sistema tropical durante su vida y se calcula cada seis horas. La ECA de una temporada es la suma de la ECA de todos los ciclones de dicha temporada y toma en cuenta el número, la intensidad y duración de cada uno de ellos.

**Aumento de la inseguridad alimenticia:** Según el informe de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO<sup>10</sup>), las sequías e inundaciones son un factor negativo relacionado con el hambre en el mundo, sobre todo en cuanto a la seguridad alimenticia y a la nutrición en el mundo (ver figura 7).



**Figura 7: Número de personas desnutridas en el mundo, 2015-2018.** Fuente: Food and Agriculture Organization (FAO), International Fund for Agricultural Development (IFAD<sup>11</sup>), United Nations International Children's Emergency Fund (UNICEF<sup>12</sup>) y Organización Mundial de la Salud (OMS<sup>13</sup>), 2019.

**Incremento de enfermedades y muertes relacionadas con el clima:** Según datos y análisis de la OMS, entre 2000 y 2016, se estimó un aumento de unos 125 millones de personas más expuestas a olas de calor. Siendo la duración de

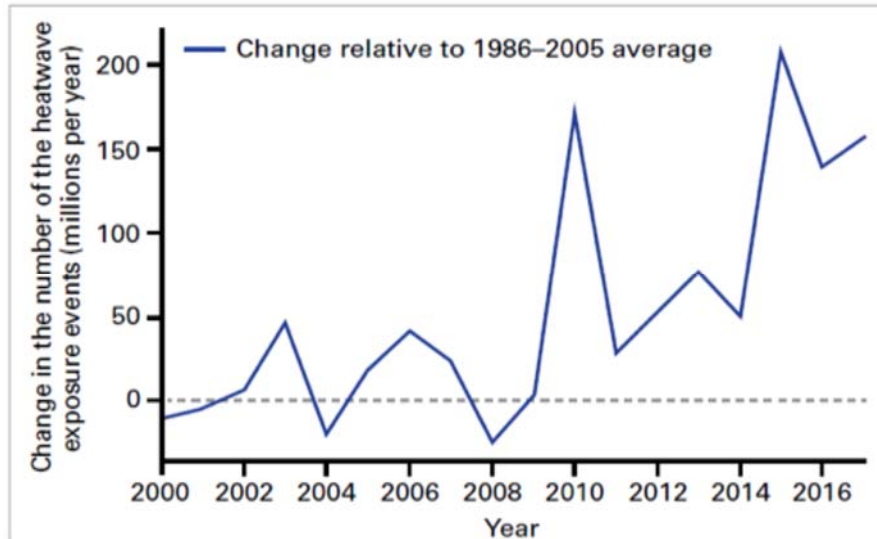
<sup>10</sup> La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, ONUAA, o FAO (*Food and Agriculture Organization*, en inglés), es un organismo especializado de la ONU que dirige las actividades internacionales encaminadas a erradicar el hambre en el mundo.

<sup>11</sup> El Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola Internacional, IFAD (Fund for Agricultural Development, en inglés) es una agencia especializada de las Naciones Unidas cuyo objetivo es proporcionar fondos y movilizar recursos adicionales para promover el progreso económico de los habitantes en situación de pobreza de zonas rurales, mejorando la productividad agrícola.

<sup>12</sup> El Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia o Unicef (*United Nations International Children's Emergency Fund*, en inglés) es una agencia de la Organización de las Naciones que provee ayuda humanitaria y desarrollo a niños y madres en países subdesarrollados y en vías de desarrollo.

<sup>13</sup> La Organización Mundial de la Salud (OMS) o (*World Health Organisation*, en inglés, WHO) es el organismo de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) especializado en gestionar políticas de prevención, promoción e intervención a nivel mundial en la salud

la exposición promedio por persona de 0,37 días más, en comparación con el período entre 1986 y 2008 (ver figura 8).



**Figura 8: Cambio en el número de personas expuestas a las olas de calor en millones por año de 2000 a 2017, en relación con el promedio de 1986-2005.**

Fuente: Watts et al., 2018. *The Lancet Regional Health*.

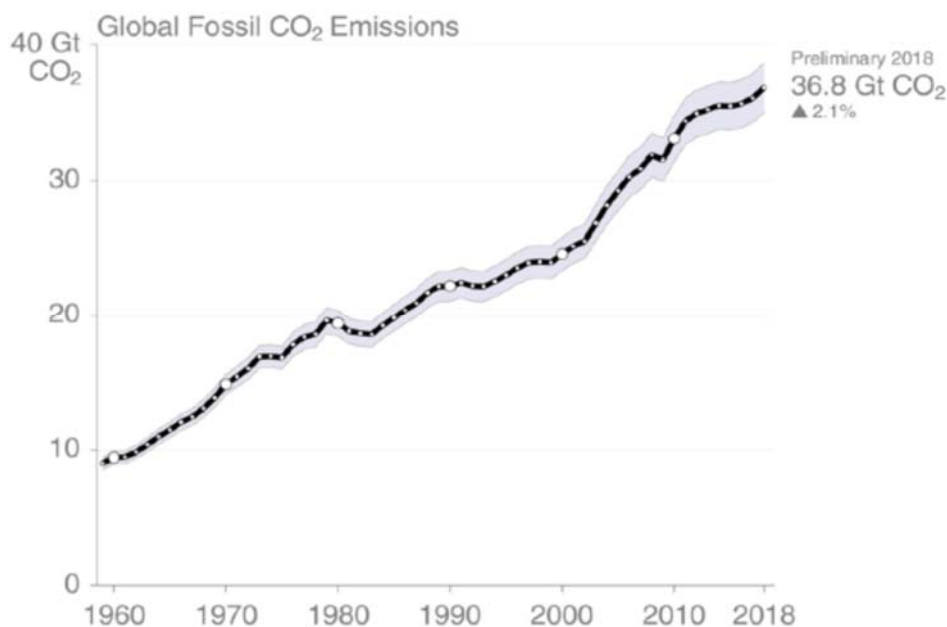
Los hechos estilizados anteriores están relacionados con las emisiones de CO<sub>2</sub> antropogénico proveniente en su mayoría de la quema de combustibles.

#### **4. EMISIONES MUNDIALES DE CO<sub>2</sub>**

Según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)<sup>14</sup> la quema de combustibles fósiles, junto a la producción de cemento liberan, aproximadamente, cerca del 90% de todas las emisiones de dióxido de carbono y el 70% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero procedente de la actividad humana.

<sup>14</sup> La Agencia de Protección Ambiental, (*Environmental Protection Agency*, en inglés, EPA), es una agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente en el aire, agua y suelo.

Durante 2018 las emisiones de CO<sub>2</sub> crecieron, aproximadamente, en un 2%, con 37.000 millones de toneladas de dióxido de carbono, creciendo en la actualidad en más del 1% anual (ver figuras 9 y 10).



**Figura 9: Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> de origen fósil en el período 1960-2018.**

Fuente: *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC<sup>15</sup>)/Global Carbon Project (GCP<sup>16</sup>)/British Petroleum (BP<sup>17</sup>)/United States Geological Survey (USGS<sup>18</sup>).*

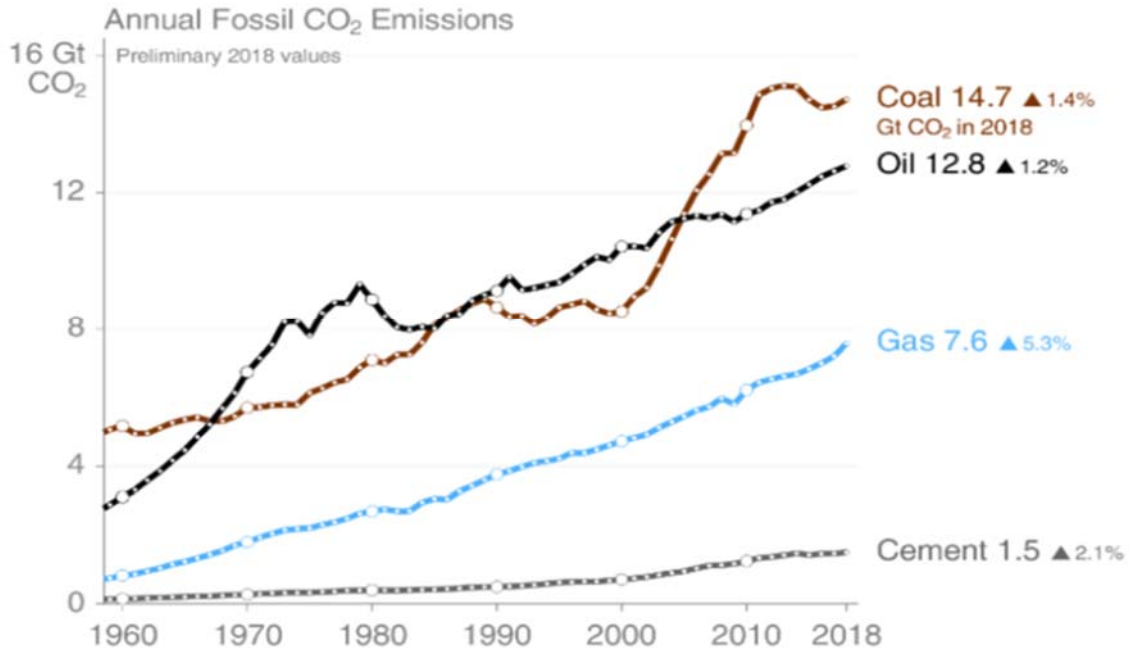
Las emisiones de la combustión de carbón, de petróleo y de gas, así como de cemento, a día de hoy continúan creciendo rápidamente.

<sup>15</sup> El Centro de Análisis de Información sobre Dióxido de Carbono (*Carbon Dioxide Information Analysis Center*, en inglés, CDIAC) fue una organización dentro del Departamento de Energía de los Estados Unidos cuya responsabilidad principal era proporcionar al gobierno de los Estados Unidos y a la comunidad de investigación datos y análisis sobre el calentamiento global referidos a cuestiones energéticas. El CDIAC, y su subsidiaria *World Data Center for Atmospheric Trace Gases* se enfocaron en obtener, evaluar y distribuir datos relacionados con el cambio climático y las emisiones de gases de efecto invernadero.

<sup>16</sup> El Proyecto Global de Carbono (GCP, *Global Carbon Project*, en inglés) integra el conocimiento de los gases de efecto invernadero para las actividades humanas y el sistema de la Tierra, incluyendo presupuestos globales para los tres gases de efecto invernadero dominantes: dióxido de carbono, metano y óxido nítrico, así como esfuerzos complementarios en emisiones.

<sup>17</sup> BP plc (*public limited companies*), anteriormente *British Petroleum*, es una compañía de energía, dedicada principalmente al petróleo y al gas natural.

<sup>18</sup> El Servicio Geológico de los Estados Unidos, (USGS, *United States Geological Survey*, en inglés) es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan.

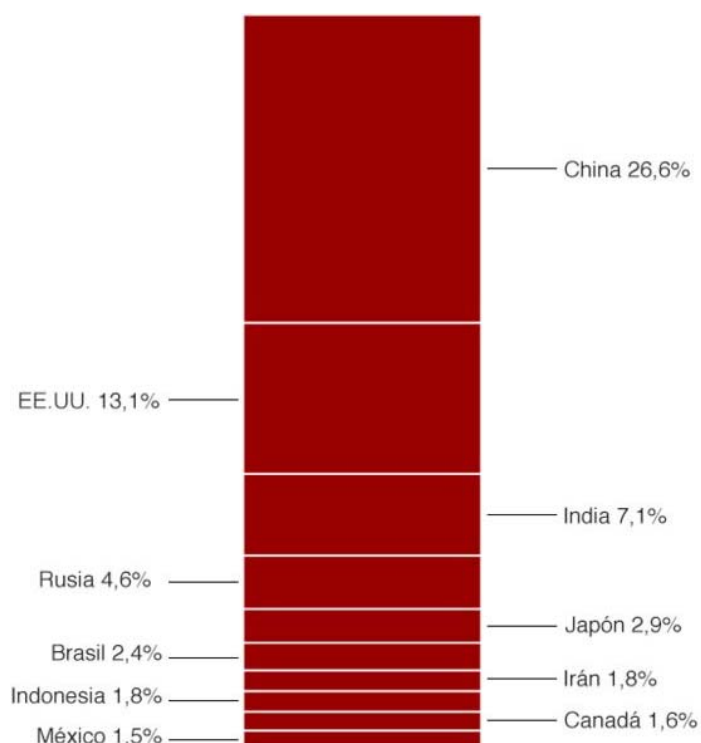


**Figura 10: Emisiones anuales de CO<sub>2</sub> de origen fósil en el período 1960-2018.**  
Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC<sup>19</sup>)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).

A pesar de la tendencia al alza en el mundo, las emisiones de los Estados Unidos y la Unión Europea han disminuido en la última década, y las emisiones de China ha disminuido significativamente en comparación con la década del 2000 (ver figura 11).

<sup>19</sup> La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, *United Nations Framework Convention on Climate Change*, en inglés) es el principal instrumento jurídico de respuesta internacional ante el reto del cambio climático. Persigue estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera para así impedir perturbaciones peligrosas de carácter antropogénico en el sistema climático.





**Figura 11: Países emisores de gases de efecto invernadero que suman el 60 % del total de emisiones mundiales.**

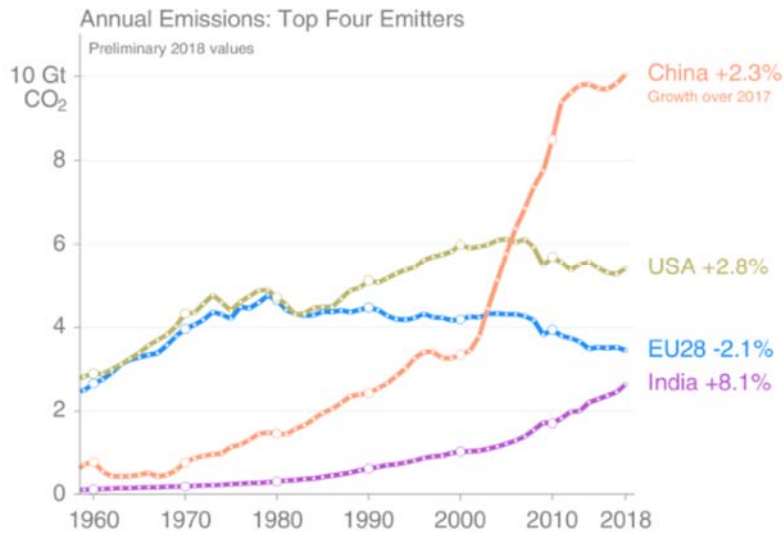
Fuente: *Joint Research Centre (JRC<sup>20</sup>)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL<sup>21</sup>)*.

Las emisiones en India están creciendo fuertemente a un ritmo anual superior al 5%, y más de un centenar de países, principalmente en desarrollo, son responsables del 40% restante de las emisiones, que continúan creciendo fuertemente (ver figura 12).

La eficiencia energética y la producción de energía renovable han ayudado a la disminución de las emisiones per cápita en la mayoría de los países desarrollados.

<sup>20</sup> El Centro Común de Investigación (JRC, *Joint Research Centre*, en inglés) es una Dirección General de la Comisión Europea, encargada de proporcionar asesoramiento científico y técnico a la Comisión Europea y a los estados miembros de la Unión Europea en apoyo a sus políticas.

<sup>21</sup> La Agencia de Evaluación Ambiental de los Países Bajos (PBL, *Netherlands Environmental Assessment Agency*, en inglés) es el instituto nacional para el análisis de políticas estratégicas en los campos del medio ambiente, la naturaleza y la planificación espacial.



**Figura 12: Emisiones anuales: cuatro principales emisores.**

Fuente: Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).

Aunque en la actualidad va creciendo el uso de las energías renovables, el sistema energético mundial sigue dominado por las fuentes de combustibles fósiles, siendo el aumento anual en el uso de energía fósil mayor que el aumento en la energía renovable, lo que significa que el uso de combustibles fósiles y las emisiones de CO<sub>2</sub> continúan creciendo (ver Figura 13).

Para llegar a unas emisiones cero que pudieran estabilizar el clima, se requieren tecnologías de tratamientos de residuos y emisiones de los combustibles fósiles tales como la captura y el almacenamiento de carbono. Por otro lado, el uso de gas natural está creciendo más del 2% por año desde 2013, y, a pesar de ser el más limpio de los combustibles fósiles, sigue siendo un importante contribuyente al crecimiento mundial de las emisiones de CO<sub>2</sub> y las fugas contribuyen al crecimiento de las emisiones de metano (CH<sub>4</sub>).

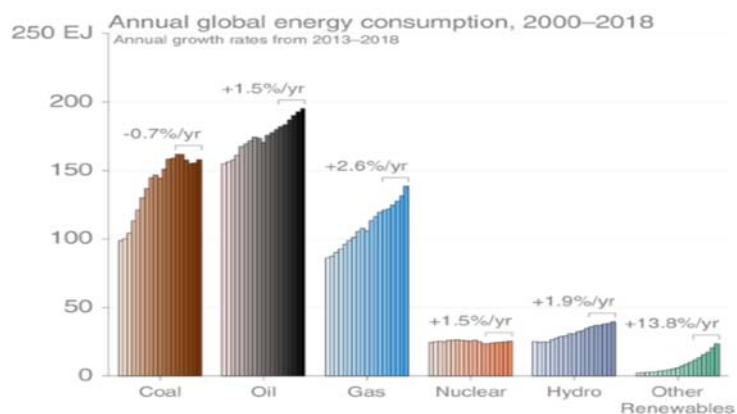


Figura 13: Consumo mundial anual de energía, 2000-2018.

Fuente: *British Petroleum* (BP).

La figura 14 muestra la contribución histórica a las emisiones de CO<sub>2</sub> de las diferentes fuentes y sumideros<sup>22</sup> en partes por millón<sup>23</sup> (ppm).

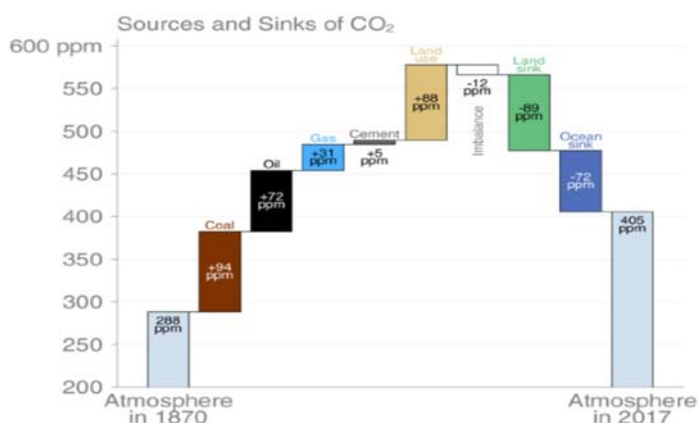


Figura 14: Fuentes y sumideros de CO<sub>2</sub>.

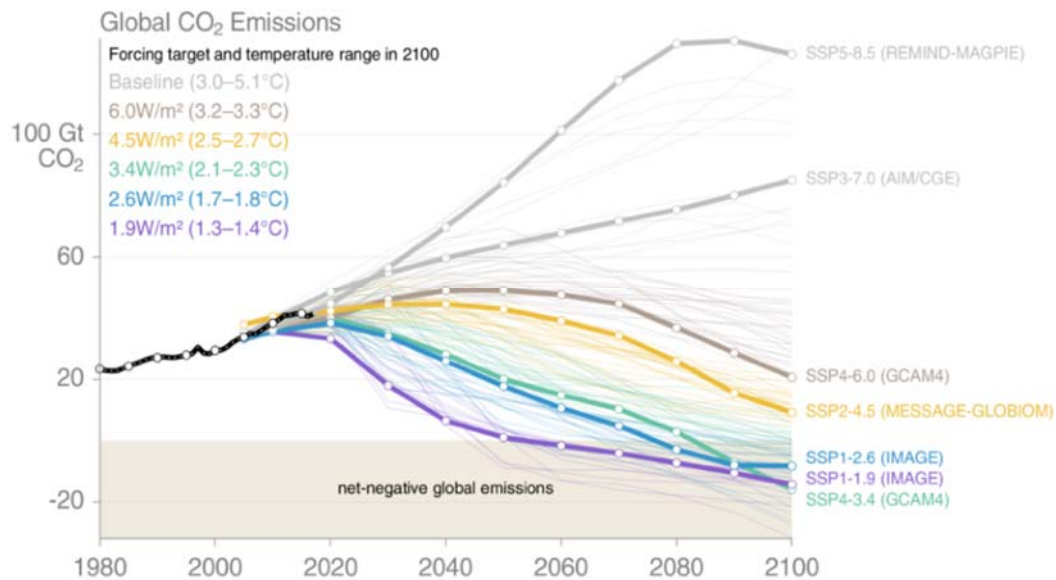
Fuente: *Carbon Dioxide Information Analysis Center (CDIAC)/Global Carbon Project (GCP)/National Oceanic and Atmospheric Administration-Earth System Research Laboratories (NOAA-ESRL<sup>24</sup>)/United Nations Framework Convention on Climate Change (UNGCC)/British Petroleum (BP)/United States Geological Survey (USGS).*

<sup>22</sup> Un sumidero de carbono o de CO<sub>2</sub> es un depósito natural o artificial de carbono, que absorbe el carbono de la atmósfera y contribuye a reducir la cantidad de CO<sub>2</sub> del aire. Los principales sumideros eran los procesos biológicos de producción de carbón, petróleo, gas natural, los hidratos de metano y las rocas calizas. Hoy día son los océanos, y ciertos medios vegetales como bosques en formación.

<sup>23</sup> ppm es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Determina un rango de tolerancia. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada millón de unidades del conjunto. Si se mide la concentración de los contaminantes del aire, se refiere a partes de vapor o gas por cada millón de partes de aire contaminado.

<sup>24</sup> El Laboratorio de Investigación del Sistema Terrestre (ESRL, *Earth System Research Laboratory*, en inglés) es un laboratorio en la Oficina de Investigación Oceánica y Atmosférica de la Administración

Los sumideros naturales de CO<sub>2</sub>, como la vegetación y los océanos, eliminan aproximadamente la mitad de todas las emisiones de las actividades humanas, siendo muy recomendable la reforestación de los bosques y la ampliación de los sumideros naturales de CO<sub>2</sub>, restaurando los hábitats más favorables.



**Figura 15: Emisiones globales de CO<sub>2</sub>.**

Fuente: Riahi et al. (2017), Rogelj et al. (2018), *Shared Socioeconomic Pathways*, (SSP) Database<sup>25</sup> (versión 2).

En general, si las tendencias actuales de CO<sub>2</sub> y otras emisiones de gases de efecto invernadero continúan durante la próxima década, es probable que la temperatura global promedio de la Tierra se caliente por encima de los objetivos climáticos firmados en el Acuerdo de París, por lo que sería necesaria una acción inmediata y sostenida para reducir las emisiones de combustibles fósiles.

---

Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA, *National Oceanic and Atmospheric Administration's Office of Oceanic and Atmospheric Research*, en inglés).

<sup>25</sup> La base de datos SSP tiene como objetivo la documentación de proyecciones cuantitativas de las denominadas Rutas Socioeconómicas Compartidas (SSP, *Shared Socioeconomic Pathways*, en inglés) y escenarios de Evaluación Integrada relacionados, siendo parte de un nuevo marco que la comunidad de investigación del cambio climático ha adoptado para facilitar el análisis integrado de futuros impactos climáticos, vulnerabilidades, adaptación y mitigación.

Las tendencias observadas (ver Figura 15) debidas a las emisiones globales de dióxido de carbono se relacionan a continuación:

**Las concentraciones de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero (GEI) continúan su tendencia al alza:** Los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) podrían superar 410 partes por millón (ppm) a partir del 2020.

Un análisis global realizado en el año 2017 de los tres GEI principales mostró que las concentraciones atmosféricas promedio de CO<sub>2</sub> estuvieron comprendidas entre 405,5 y 405,7 partes por millón (ppm); las concentraciones atmosféricas promedio de CH<sub>4</sub> estuvieron comprendidas entre 1.857,0 y 1.861,0 partes por billón<sup>26</sup> (ppb) y las concentraciones atmosféricas promedio de N<sub>2</sub>O estuvieron comprendidas entre 329,8 y 330,0 ppb, constituyendo, respectivamente, el 146% para el CO<sub>2</sub>, el 257% para el CH<sub>4</sub> y el 122% para el N<sub>2</sub>O, de los niveles preindustriales, es decir, anteriores a 1850.

El CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero antropogénico más importante en la atmósfera y contribuye alrededor del 66% de la fuerza radiante de los gases de efecto invernadero de larga duración. Esta fuerza radiante se incrementó en un 82% en la última década, especialmente en los últimos cinco años.

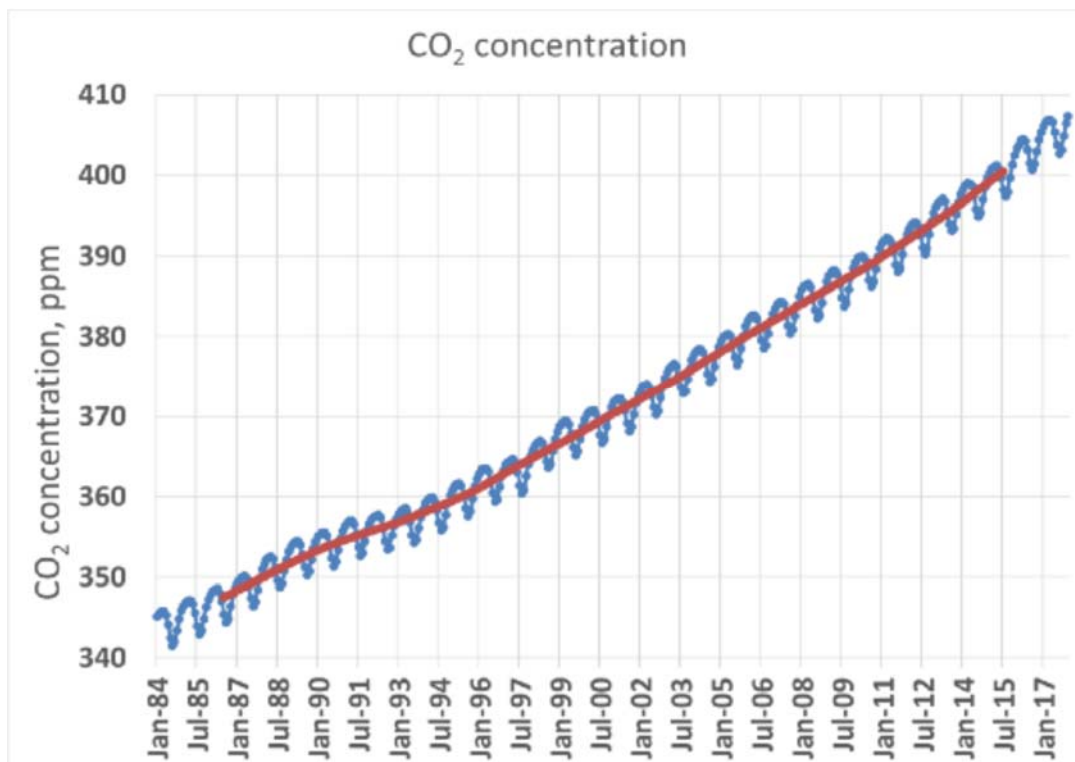
Los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico representan el equilibrio entre las emisiones a la atmósfera y los sumideros en los océanos y la biosfera terrestre (ver Figura 16).

---

<sup>26</sup> ppb, partes por mil millones (ppb del inglés parts per billion) es una unidad de medida con la que se mide la concentración. Se refiere a la cantidad de unidades de una determinada sustancia que hay por cada mil millones de unidades del conjunto. Es de uso relativamente frecuente en la medida de la concentración de compuestos químicos muy diluídos, así como de sustancias que se encuentran a nivel de trazas, como las impurezas o los contaminantes.

Por otro lado, el metano ( $\text{CH}_4$ ) contribuye con, aproximadamente, el 17% de la fuerza radiante de los gases de efecto invernadero de larga duración, de donde el 40% del metano es emitido a la atmósfera por fuentes naturales y alrededor del 60% es proveniente de fuentes antropogénicas.

El metano promedio global calculado a partir de observaciones in situ en 2017 fue de 7 partes por billón (ppb) más alto con respecto al año anterior.

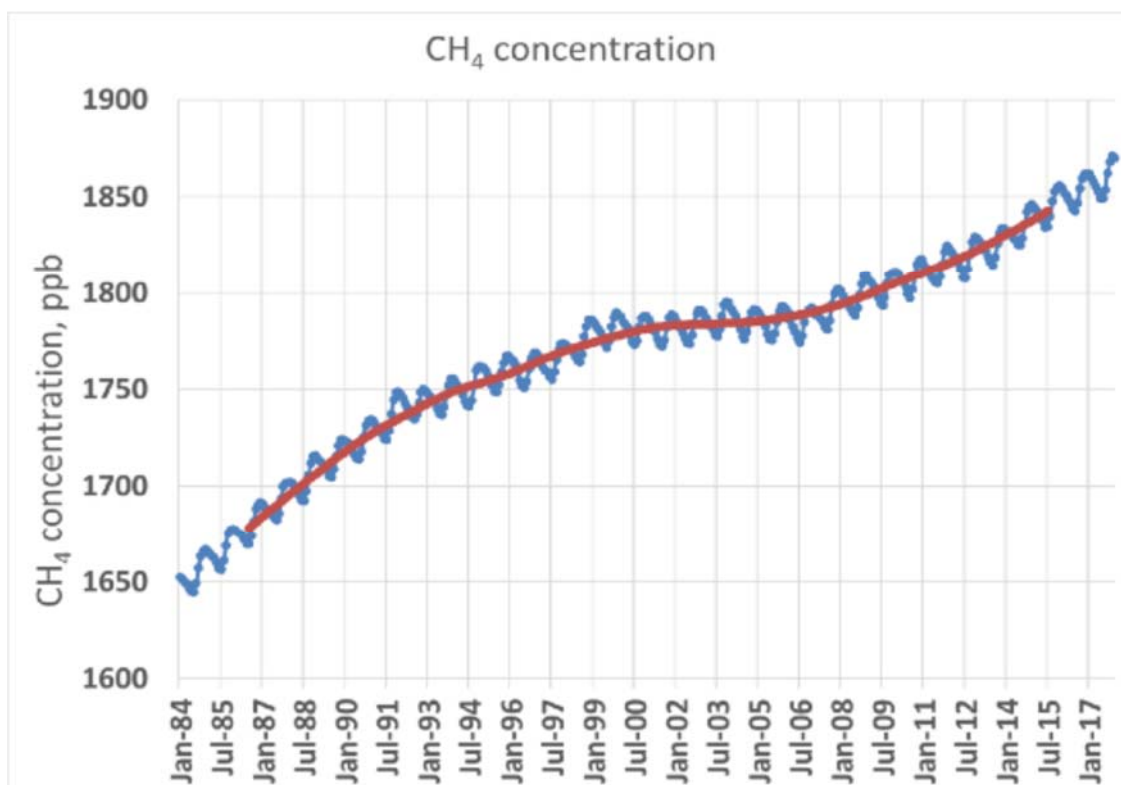


**Figura 16: Promedio global de fracción molar<sup>27</sup> de CO<sub>2</sub> (ppm) de 1984 a 2017.**  
Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW)*<sup>28</sup>

<sup>27</sup> La fracción molar es una unidad química que se usa para expresar la concentración de un soluto en una disolución.

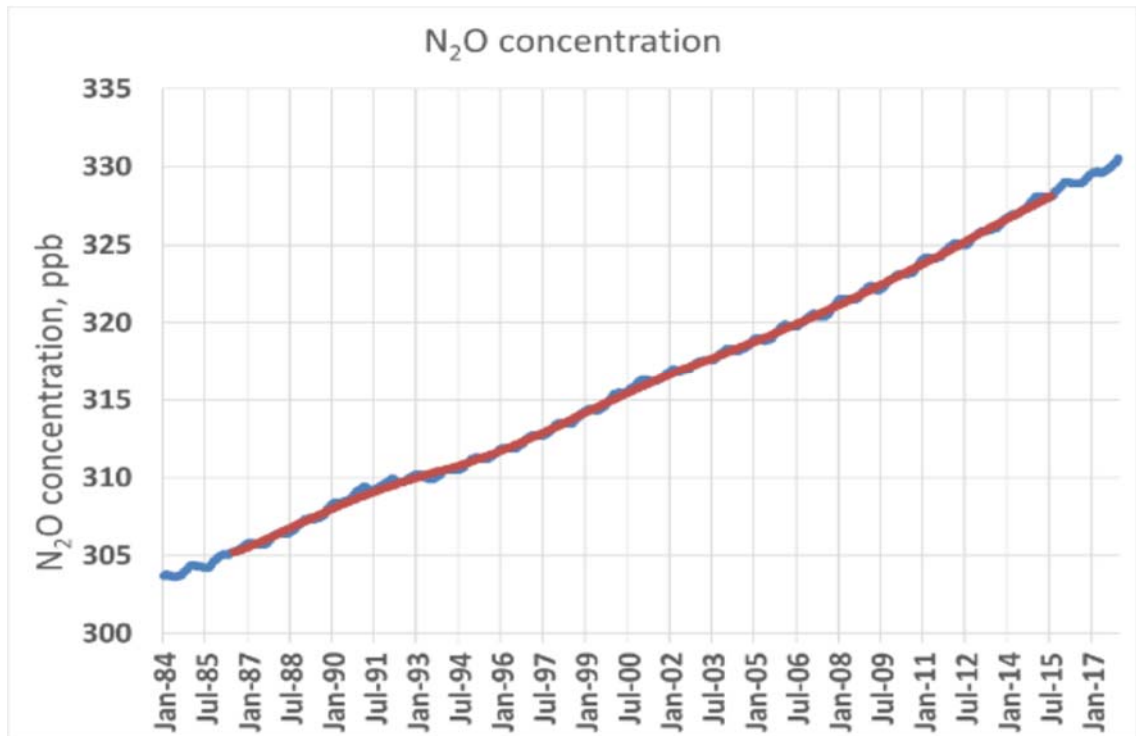
<sup>28</sup> La Vigilancia Atmosférica Global (GAW, *Global Atmosphere Watch*, en inglés) es un sistema mundial establecido por la Organización Meteorológica Mundial de las Naciones Unidas, para monitorear las tendencias en la atmósfera de la Tierra.

Por otro lado, el aumento anual promedio de CH<sub>4</sub> disminuyó desde 12 ppb/año a finales de los años 80 hasta casi situarse en nulo durante el período 1999–2006, para volver a aumentar desde el 2007 (ver figura 17).



**Figura 17: Promedio global de fracción molar de CH<sub>4</sub> (ppb) de 1984 a 2017.**  
Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW)*.

El óxido nitroso contribuye con, aproximadamente, el 6% de la fuerza radiante de los GEI de larga duración, emitiéndose a la atmósfera en un 60% desde fuentes naturales y en un 40% desde fuentes antropogénicas, incluidos los océanos, los suelos, la quema de biomasa, el uso de fertilizantes y diversos procesos industriales, siendo la fracción molar de N<sub>2</sub>O promediada a nivel mundial en 2017 de 0,9 ppb por encima del año anterior (ver figura 18).



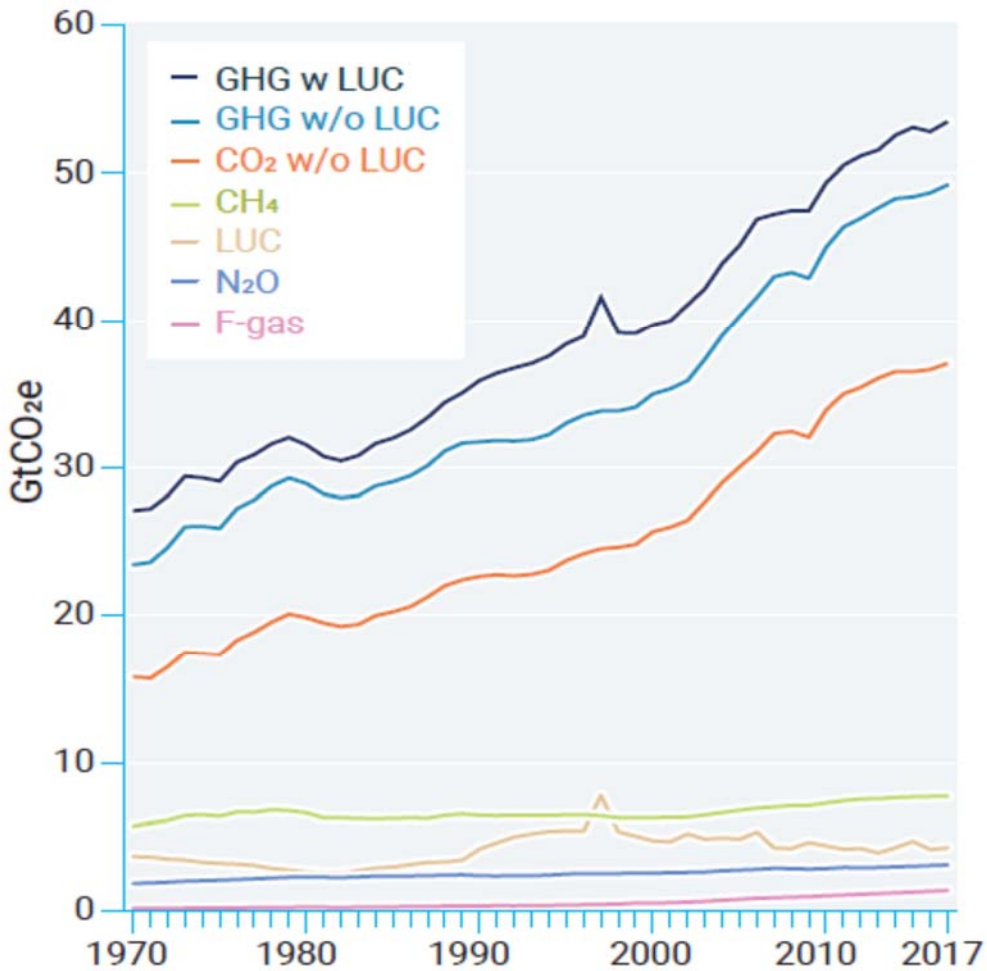
**Figura 18: Promedio global de fracción molar de N<sub>2</sub>O (ppb) de 1984 a 2017.**  
Fuente: *Global Atmosphere Watch (GAW)*

**Las emisiones globales no muestran signos de pico:** Las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero han crecido a una tasa del 1,6 % anual entre 2008 y 2017, alcanzando un récord de 53,5 Gigatoneladas de CO<sub>2</sub> equivalente<sup>29</sup> (GtCO<sub>2e</sub>) en 2017, incluidas las emisiones derivadas del cambio en el uso del suelo.

Los resultados preliminares del Informe 2019 sobre la brecha de emisiones indicaron que las emisiones continuaron aumentando en 2018, por lo que se estimó que las emisiones globales no alcancen su punto máximo para 2030 (ver figura 19).

<sup>29</sup> El equivalente de CO<sub>2</sub> o equivalente de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>eq o Carbon Dioxide Equivalent, en inglés), es una medida en toneladas de la huella de carbono. Huella de carbono es el nombre dado a la totalidad de la emisión de gases de efecto invernadero. Los gases de efecto invernadero distintos del dióxido de carbono son convertidos a su valor de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub> eq) multiplicando la masa del gas en cuestión por su potencial de calentamiento global. Así, un kilo de CO<sub>2</sub> pesa 0,2727 Kg de equivalente carbono, esta referencia sirve para medir sólo el peso del carbono en el CO<sub>2</sub>.



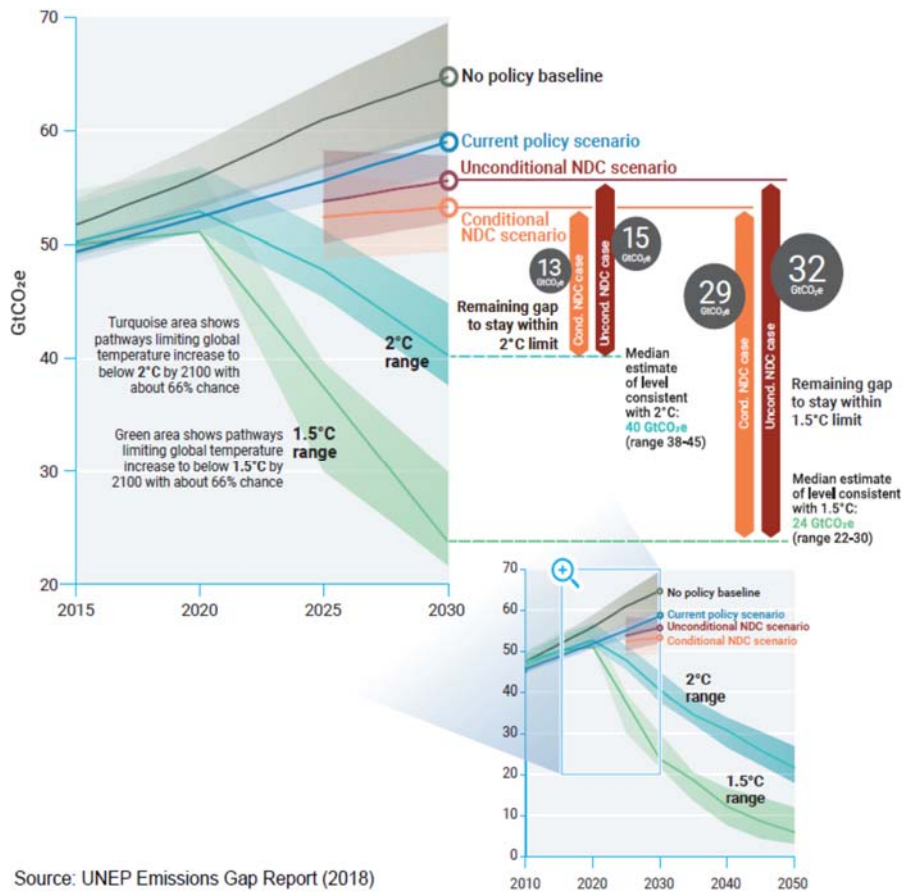


**Figura 19: Emisiones globales de gases de efecto invernadero por tipo de gas.**  
Fuente: UNEP<sup>30</sup> *Emissions Gap Report*<sup>31</sup> (2018).

**La brecha de emisiones es más grande que nunca:** La brecha de emisiones para 2030 se prevé estará entre 13 GtCO<sub>2e</sub> y 15 GtCO<sub>2e</sub> para un objetivo de disminución de 2 °C, y entre 29 GtCO<sub>2e</sub> y 32 GtCO<sub>2e</sub> para un objetivo de disminución de 1,5 °C (ver figura 20).

<sup>30</sup> El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (UNEP, *United Nations Environment Programme*, en inglés), es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas -ONU- que coordina sus actividades ambientales, ayudando a los países en desarrollar y aplicar políticas y prácticas ecológicamente racionales.

<sup>31</sup> Los informes sobre la brecha de emisiones (*Emissions Gap Report*) son evaluaciones anuales basadas en la ciencia de la brecha existente entre las promesas de los países sobre la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y las reducciones necesarias para lograr un aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C como finalidad en este siglo.



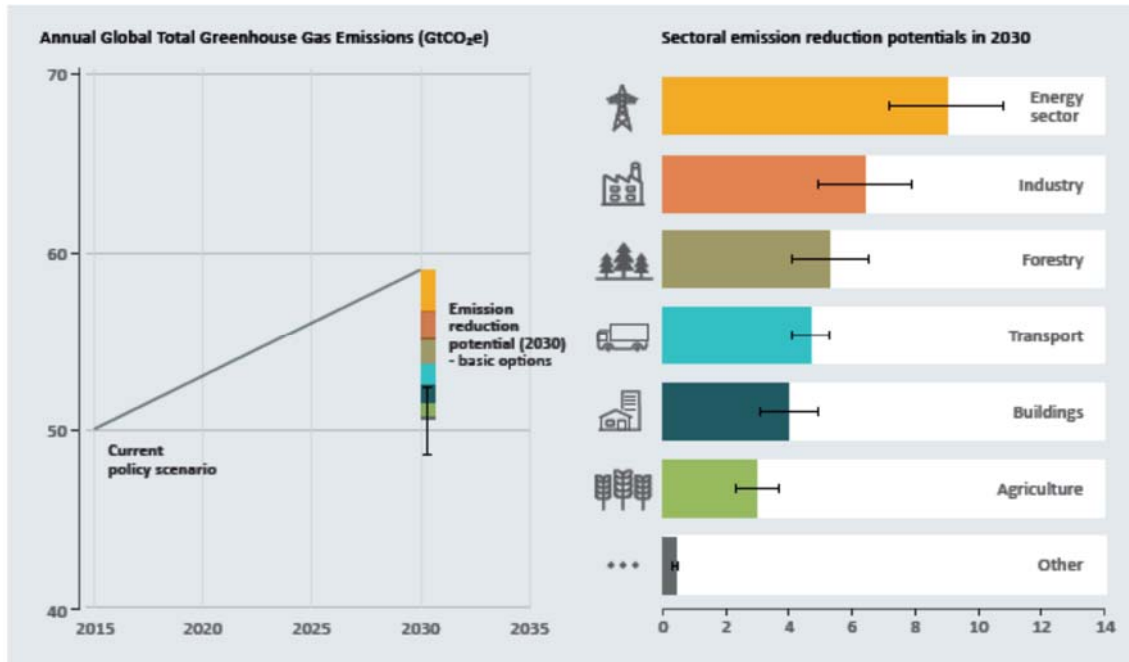
**Figura 20: La brecha de emisiones en 2030.**

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2018).

Se estima que las Contribuciones Determinadas a nivel Nacional<sup>32</sup>(NDC) actuales disminuirán las emisiones globales en, aproximadamente, hasta 6 GtCO<sub>2e</sub> para el 2030 en comparación con la continuación de las políticas actuales. Este nivel debe triplicarse para alinearse con el objetivo de 2°C y quintuplicarse para alinearse con el objetivo de 1,5 °C.

<sup>32</sup> Las Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC, *Nationally Determined Contributions*, en inglés) son reducciones previstas de las emisiones de gases de efecto invernadero en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC).

Técnicamente, todavía es posible cerrar la brecha en 2030, International Energy Agency (2003), para garantizar que el calentamiento global se mantenga por debajo de 2 °C y 1,5 °C. El potencial de reducción de emisiones sectoriales en 2030 se estima entre 30 y 40 GtCO<sub>2e</sub> (ver figura 21).



**Figura 21: Potenciales básicos de reducción de emisiones totales en comparación con el escenario de política actual para 2030.**

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

**Medidas de reducción estudiadas por el Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (PNUMA<sup>33</sup>) para cerrar la brecha de emisiones para 2030:** Las medidas para reducir la brecha de emisiones de cara al 2030 afectan a los siguientes puntos:

**a) Energía solar y eólica:** Los aspectos principales a considerar serán:

- Tarifas de alimentación.

<sup>33</sup> El Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, PNUMA (UNEP, *United Nations Environment Programme*, en inglés), es un organismo de la Organización de las Naciones Unidas que coordina sus actividades ambientales, ayudando a los países en desarrollar y aplicar políticas y prácticas ecológicamente racionales.

- Subastas.
- Costes de electricidad competitivos.

**b) Electrodomésticos y turismos de bajo consumo:** Los aspectos principales

a considerar serán:

- Estándares mínimos de rendimiento energético<sup>34</sup> (MEPS).
- Etiquetas.
- Normas de ahorro de combustible.
- Normas de emisiones de CO<sub>2</sub>.

**c) Reforestación y reducción de la deforestación:** Los aspectos principales

a considerar serán:

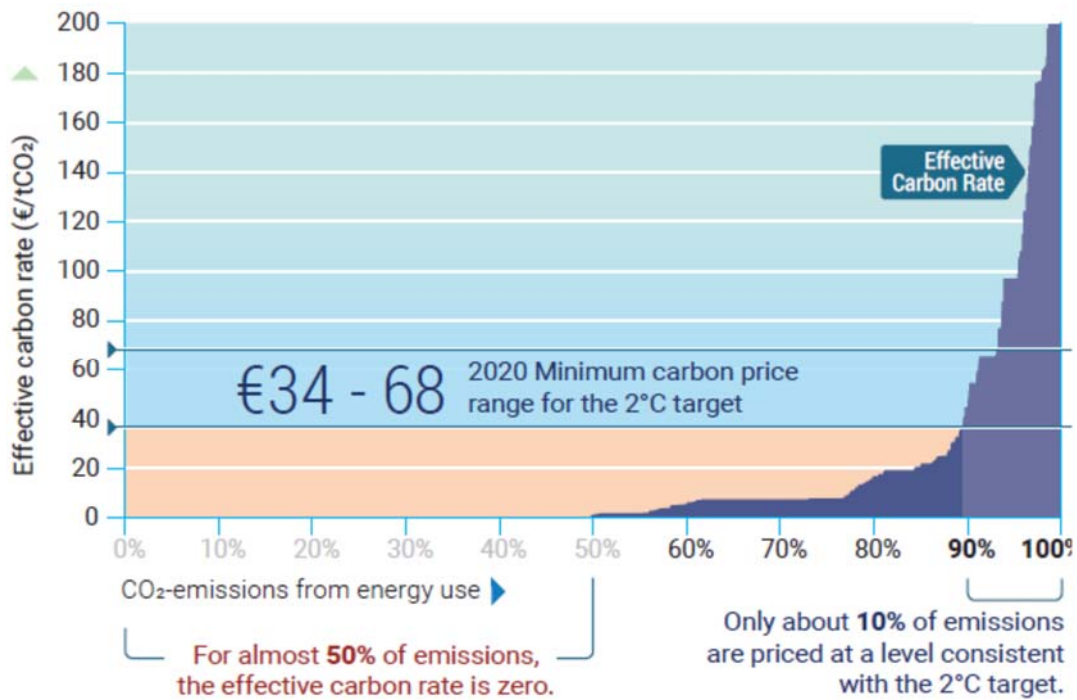
- Planificación del uso del suelo.
- Producción sostenible.
- Monitoreo y verificación.

El uso de la fijación de precios del carbono incluido impuestos específicos a la energía, para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, en general no se aplica a un nivel suficiente para facilitar un cambio real hacia sociedades con bajas emisiones de carbono, estimándose que solo el 10 % de las emisiones globales de los combustibles fósiles tienen un precio consistente que limita el calentamiento global a 2 °C (ver figura 22).

Si se eliminaran gradualmente todos los subsidios a los combustibles fósiles, se provocaría una reducción de las emisiones globales de carbono de hasta, aproximadamente, un 10 % para 2030.

---

<sup>34</sup> Un estándar de rendimiento energético mínimo (MEPS, *minimum energy performance standards*, en inglés) es una especificación, que contiene una serie de requisitos de rendimiento para un dispositivo que utiliza energía, que limita efectivamente la cantidad máxima de energía que puede consumir un producto al realizar una tarea específica.



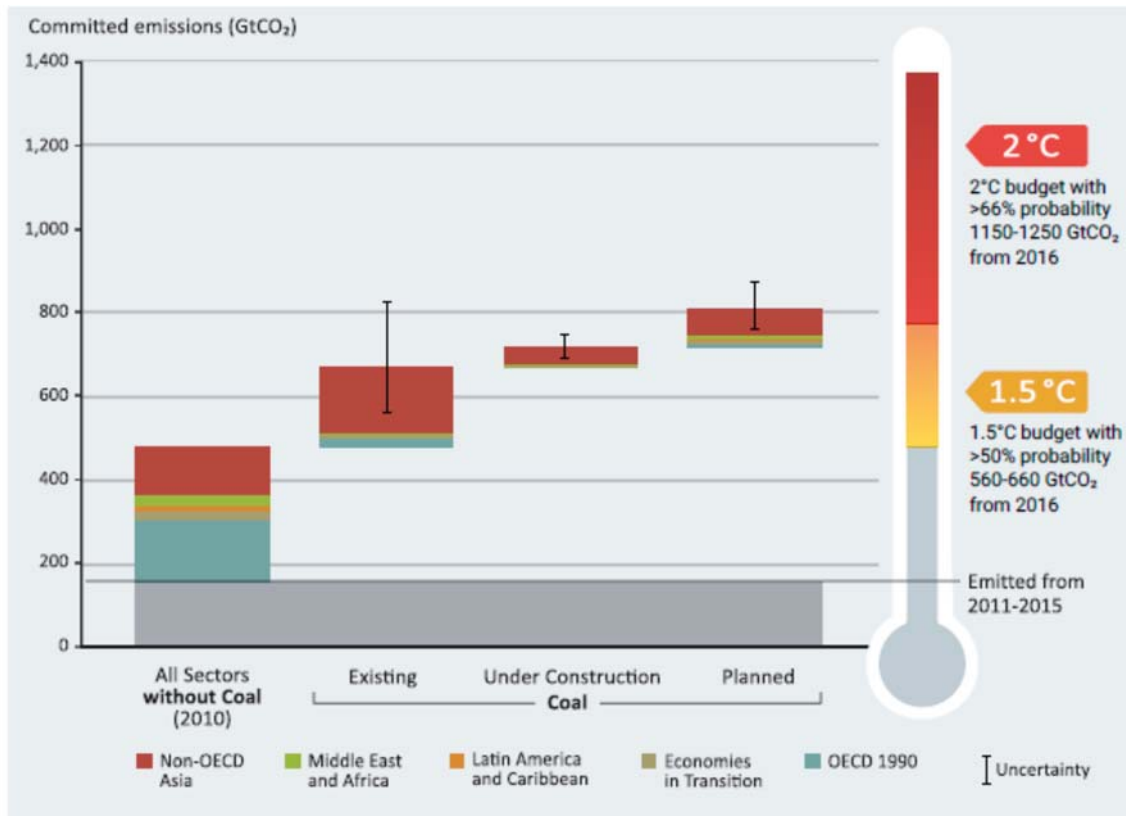
**Figura 22: Tasas de carbono efectivas sobre el uso de energía en 42 países de la OCDE<sup>35</sup> y del G20<sup>36</sup> y el rango mínimo de precios de carbono necesario en 2020 para el objetivo de 2 °C.**

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

A escala mundial, el stock de centrales eléctricas de carbón sigue aumentando, al igual que las emisiones de carbono. Las existencias, en combinación con lo que está actualmente planificado y en construcción (ver figura 23), representan una parte significativa del presupuesto de carbono disponible para un objetivo de 2 °C, haciendo inviable un objetivo de 1,5 °C, siendo necesario evitar un mayor bloqueo y facilitar una transición equilibrada del carbón para la producción de energía.

<sup>35</sup> La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), (OECD, *Organisation for Economic Co-operation and Development*, en inglés; (OCDE, *Organisation de Coopération et de Développement Économiques*, en francés) es un organismo de cooperación internacional, compuesto por 37 estados,<sup>34</sup> cuyo objetivo es promover políticas que favorezcan la prosperidad, la igualdad, las oportunidades y el bienestar para todas las personas.

<sup>36</sup> El Grupo de los 20 (G-20) es un foro internacional de gobernantes y presidentes de bancos centrales, con el objeto de discutir sobre políticas relacionadas con la promoción de la estabilidad financiera internacional, siendo el principal espacio de deliberación política y económica del mundo.



**Figura 23: Emisiones comprometidas con la atmósfera de las centrales eléctricas de carbón existentes, en construcción y planificadas, y otros sectores económicos, por región.**

Fuente: UNEP *Emissions Gap Report* (2017).

El aumento del nivel del mar y la acidificación de los océanos son otros indicadores importantes del cambio climático, y ambos se están acelerando con consecuencias importantes para comunidades y hábitats costeros. La tasa de aumento del nivel del mar durante el período 2007-2016 fue de, aproximadamente, 4 mm/año, muy por encima de la tendencia a largo plazo de 3 mm/año.

El uso humano de la tierra afecta directamente a más del 70 % de la superficie terrestre libre de hielo terrestre y, aproximadamente, el 23 % de las emisiones totales de gases de efecto invernadero entre 2007 y 2016 se originan en la agricultura, silvicultura y otras actividades de uso de la tierra.

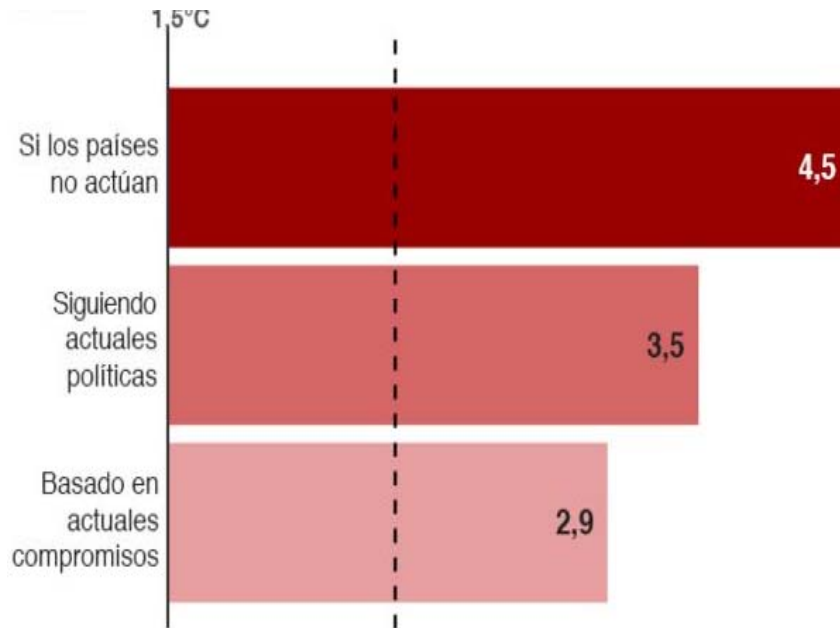
Los procesos clave que actualmente mantienen el clima estable se están debilitando, arriesgando por el establecimiento de circuitos de retroalimentación, como la pérdida de hielo marino del Ártico o la muerte forestal, que podrían obstaculizar los esfuerzos para estabilizar el clima, incluso a medida que se reducen las emisiones. La estabilidad del sistema de la Tierra está influenciada por las retroalimentaciones entre el sistema climático y los procesos de regulación del carbono, como los suelos congelados en el permafrost<sup>37</sup> o la absorción de carbono por parte de los bosques.

Hay una creciente comprensión de la relación entre estos procesos de retroalimentación del carbono en la biosfera y la estabilización del sistema climático. Esos procesos están perdiendo fuerza, aumentando el riesgo de que los mecanismos de autoreforzo se vuelvan relevantes y contrarresten los esfuerzos para mitigar el calentamiento global, como ocurre con la reducción de la capacidad de retención de carbono de la tierra y suelos en los trópicos, o la liberación de CO<sub>2</sub> y metano a partir de la descongelación de los suelos de permafrost.

Una buena mayoría de científicos están de acuerdo en que realmente no solo necesitamos mantener el aumento de la temperatura por debajo de los 2 °C, sino por debajo de los 1,5 °C.

---

<sup>37</sup> El permafrost es la capa de suelo permanentemente congelado, pero no permanentemente cubierto de hielo o nieve, de las regiones muy frías o periglaciares, como la tundra.



**Figura 24: Promedio de calentamiento proyectado para 2100 (°C).**

Fuente: *Climate Action Tracker*<sup>38</sup> CAT (2018).

Hay un reconocimiento cada vez mayor de que los impactos climáticos están golpeando con más fuerza y además con adelanto a los tiempos que se indicaron en evaluaciones climáticas de hace una década. A medida que se intensifica el calentamiento global (ver figura 24), las ciudades son particularmente vulnerables a los impactos como el estrés por calor y pueden desempeñar un papel clave en la reducción de emisiones a nivel local y global. Las olas de calor ahora plantean un desafío recurrente en todos los continentes habitados y generan una gama cada vez mayor de amenazas para la vida humana y el bienestar, particularmente en ciudades donde los entornos construidos aumentan la exposición al calor. Esto es importante porque se espera que cerca del 70 % de la población mundial viva en ciudades para 2050 y se exponga a un

<sup>38</sup> El Climate Action Tracker (Rastreador de Acción Climática) es sitio web donde se realiza un análisis científico independiente que rastrea la acción climática del gobierno y la mide en contra del objetivo del Acuerdo de París acordado a nivel mundial de "mantener el calentamiento muy por debajo de 2 °C y realizar esfuerzos para limitar el calentamiento a 1,5 °C".



calor extremo si no se toman medidas para modificar los entornos urbanos. Un estudio de las 1.692 ciudades más pobladas del mundo encontró que, aproximadamente, el 60 % de la población urbana ya ha experimentado un calentamiento dos veces mayor que durante el período 1950-2015.

Como las ciudades consumen alrededor del 78 % de la energía mundial y producen más del 60 % de todas las emisiones de CO<sub>2</sub>, sus acciones son fundamentales para minimizar el aumento de la temperatura media global. En particular, los cambios hacia energías más limpias no solo reducirán las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también reducirán la contaminación del aire y los efectos del calor dentro de las ciudades.

La descarbonización profunda implementada con medidas como, la protección y la mejora de los sumideros de carbono y la biodiversidad, así como los esfuerzos para eliminar el CO<sub>2</sub> de la atmósfera, permitirían cumplir con el Acuerdo de París<sup>39</sup>.

Las posibles soluciones propuestas por la UNEP son:

**1) Descarbonización profunda:** Las vías para limitar el calentamiento global a 1,5 °C requieren reducir a la mitad las emisiones globales cada década a partir de 2020 y respetar un presupuesto global de carbono de alrededor de entre 420 y 570 mil millones de toneladas de CO<sub>2</sub> neto total emitido a la atmósfera. Tal descarbonización profunda requiere grandes transformaciones en todos los sistemas sociotécnicos de la sociedad, comenzando con los

---

<sup>39</sup> El Acuerdo de París es un acuerdo dentro del marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que establece medidas para la reducción de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero a través de la mitigación, adaptación y resiliencia de los ecosistemas a efectos del Calentamiento Global.

sectores de la energía, del transporte y de los alimentos como primeros adoptadores fundamentales.

En el sector de la energía, las innovaciones sociales y tecnológicas, junto con fuertes estándares de eficiencia, pueden reducir la demanda de energía sin comprometer los estándares de vida globales, especialmente porque ya existen sustituciones tecnológicas disponibles para más del 70 % de las emisiones actuales.

En el sector alimentario, una nueva investigación confirma que una transformación global a dietas más saludables, donde se incluye el consumo reducido de carne y un sistema de producción de alimentos más sostenible es fundamental para lograr el Acuerdo de París, pudiendo evitar hasta 11 millones de muertes por año.

**2) Medidas políticas:** Las medidas políticas más fuertes y diversas para la descarbonización rápida son elementos esenciales de la política climática para lograr el Acuerdo de París:

- **Reformas fiscales:** Tanto las reformas tributarias como los sistemas de comercio de emisiones (RCDE UE<sup>40</sup>) pueden ser elementos de la transformación necesaria hacia un precio único e intersectorial del carbono, junto con una eliminación gradual de los subsidios a los combustibles fósiles. Para lograr la aceptabilidad social, las reformas fiscales deberán considerar el equilibrio social y beneficiar a los hogares de bajos ingresos.

---

<sup>40</sup> El régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE), (ETS, *Emissions Trading System*, en inglés), constituye un hito de la política europea de lucha contra el cambio climático y su herramienta principal para reducir de forma rentable las emisiones de gases de efecto invernadero. Este régimen es el principal mercado de carbono del mundo y el de mayor tamaño.

- **Instrumentos de políticas sectoriales:** Las nuevas normas y prácticas, incentivos, moratorias en los sectores del tráfico, la construcción y la energía pueden paliar los fallos de mercado e inclinar el desarrollo hacia una senda sostenible.

### 3) **Protección y mejora de los sumideros de carbono y de la biodiversidad:**

La protección de los sumideros de carbono y la biodiversidad existentes es posible a través de soluciones naturales que promueven la restauración de tierras forestales degradadas a escala mundial y mejores acciones de gestión de la tierra. Dichas acciones podrían proporcionar más de un tercio de la mitigación climática necesaria entre ahora y 2030 para estabilizar el calentamiento a menos de 2 °C.

- ### 4) **Eliminación de CO<sub>2</sub>:** Para alcanzar el objetivo de 1,5 °C, se deben eliminar del aire aproximadamente de 100 a 1.000 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> durante este siglo. Se han propuesto una gama de tecnologías con emisiones negativas (NET<sup>41</sup>) que incluye desde la reforestación y la plantación forestal hasta la bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS<sup>42</sup>) o la captura directa de CO<sub>2</sub> en el aire. Los NET desempeñan un papel esencial en los escenarios de mitigación con los Acuerdos de París, pero a una escala mucho mayor que la actualmente implementada. Si bien los NET serán indispensables en combinación con otros esfuerzos de mitigación, especialmente para contrarrestar fuentes de emisiones, como las aeronaves

---

<sup>41</sup> Las tecnologías de emisiones negativas, (NET, *Negative Emissions Technologies*, en inglés), son aquellas tecnologías que retiran CO<sub>2</sub> de la atmósfera, siendo una de las alternativas con más posibilidades para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París.

<sup>42</sup> La bioenergía con captura y almacenamiento de carbono (BECCS) es el proceso de extraer bioenergía de la biomasa y capturar y almacenar el carbono, eliminándolo de la atmósfera.

o el ganado. Las nuevas evaluaciones indican que pocas de estas opciones de eliminación a gran escala podrían estar disponibles antes de 2050.

El Marco Global para los Servicios Climáticos<sup>43</sup> se estableció en 2009 con la visión de permitir una mejor gestión del cambio climático, mediante el desarrollo y la incorporación de información, predicción y planificación.

La Agricultura, la Seguridad Alimentaria y el Agua son reconocidos como los Sectores Prioritarios para la adaptación al Cambio Climático (OMM y FAO, 2019). En el área de la Agricultura y la Seguridad Alimentaria, el 85 % de los países, es decir, 100 de los 117, identificaron los llamados "Servicios Climáticos" como parte importante de la planificación y la toma de decisiones. La capacidad de los países para prestar servicios de información climática y de alerta temprana varía según las regiones, dependiendo de varios factores, que van desde las observaciones y el monitoreo de eventos climáticos hasta la agregación y combinación de datos climáticos con datos socioeconómicos.

## **5. NORMATIVA UNIÓN EUROPEA**

La rápida evolución del cambio climático y la dependencia cada vez mayor de la energía han convertido a la Unión Europea en una economía basada en el bajo consumo de energía, que debe ser estable, segura, competitiva, producida localmente y sostenible, cuyo funcionamiento sea eficaz, y cuya política energética fomente la interconexión de redes energéticas y de la eficiencia

---

<sup>43</sup> El Marco Mundial para los Servicios Climáticos agrupa, de forma global y coordinada, a las organizaciones que ya trabajan en la producción y utilización de información y servicios climáticos. En el Marco desempeñan un papel esencial los Servicios Meteorológicos e Hidrológicos Nacionales, que ya reúnen e intercambian datos climáticos, investigan, y generan productos de información sobre el clima. En el Marco también se fomentará la relación entre investigadores, proveedores y usuarios de información sobre el clima, con el fin de mejorar las técnicas y de ayudar a conseguir que todos los sectores sociales dispongan de la información adecuada para sus actividades cotidianas y de planificación a largo plazo.

energética. Esta política abarca fuentes de energía que van desde los combustibles fósiles a las energías renovables, pasando incluso por la energía nuclear. Por otro lado la política medioambiental de la Unión Europea pretende ser una política de protección de los recursos naturales con el fin de preservar la salud y bienestar de los ciudadanos europeos, enfrentándose a desafíos, como, el calentamiento de la superficie terrestre, el cambio climático, la contaminación medioambiental y el consumo y la producción insostenibles, garantizando la adecuada eliminación de los residuos, realizando estudios de los productos químicos tóxicos y ayudando a las empresas a avanzar hacia una economía sostenible. Las políticas y estrategias de la UE aplicadas al cambio climático desempeñan un papel impulsor en las negociaciones internacionales sobre el clima, asegurando la adecuada aplicación de los Acuerdos de París y aplicando el régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE). A este respecto, los países de la UE han acordado cumplir diversos objetivos en los próximos años. La normativa europea en materia de energía, medio ambiente y cambio climático se muestra a través de una síntesis de la legislación europea, cuyas fuentes son: La Comisión Europea<sup>44</sup>, *Eurostat*<sup>45</sup> y [eur-lex.europa.eu](http://eur-lex.europa.eu)<sup>46</sup>.

Los artículos en materia de Medio Ambiente, Cambio Climático y Energía son: Destaca el Artículo 194<sup>47</sup> del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea

---

<sup>44</sup> La Comisión Europea (*European Commission*) es una de las siete instituciones de la Unión Europea. Ostenta el poder ejecutivo y la iniciativa legislativa. Se encarga de proponer legislación, aplicar las decisiones comunitarias, defender los tratados de la Unión y se ocupa de los asuntos diarios de la Unión.

<sup>45</sup> La Oficina Europea de Estadística, más conocida como *Eurostat*, es la oficina estadística de la Comisión Europea, que produce datos sobre la Unión Europea y promueve la armonización de los métodos estadísticos de los estados miembros.

<sup>46</sup> EUR-Lex es un servicio de publicación en línea de textos legislativos de la Unión Europea, desde su página oficial en el portal [europa.eu](http://europa.eu). Reemplaza al primer servicio de publicación de este tipo, llamado CELEX. EUR-Lex proporciona acceso directo y gratuito a los textos legislativos de la Unión europea.

<sup>47</sup> **Título XXI. Energía:**

**Artículo 194:**

(TFUE), que posee Disposiciones específicas en materia de seguridad de abastecimiento, redes energéticas, carbón, energía nuclear, mercado interior de la energía, política exterior de la energía, política medioambiental y energía:

**Seguridad del abastecimiento: Título VIII. Política económica y monetaria.**

**Capítulo I. Política económica. Artículo 122 del TFUE (antiguo artículo 100 TCE<sup>48</sup>):**

1. Sin perjuicio de los demás procedimientos establecidos en los Tratados, el Consejo, a propuesta de la Comisión, podrá decidir, con un espíritu de solidaridad entre Estados miembros, medidas adecuadas a la situación económica, en particular si surgieren dificultades graves en el suministro de determinados productos, especialmente en el ámbito de la energía.

---

1. En el marco del establecimiento o del funcionamiento del mercado interior y atendiendo a la necesidad de preservar y mejorar el medio ambiente, la política energética de la Unión tendrá por objetivo, con un espíritu de solidaridad entre los Estados miembros: i) garantizar el funcionamiento del mercado de la energía; ii) garantizar la seguridad del abastecimiento energético en la Unión; iii) fomentar la eficiencia energética y el ahorro energético así como el desarrollo de energías nuevas y renovables; y iv) fomentar la interconexión de las redes energéticas.

2. Sin perjuicio de la aplicación de otras disposiciones de los Tratados, el Parlamento Europeo y el Consejo establecerán, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario, las medidas necesarias para alcanzar los objetivos mencionados en el apartado 1. Dichas medidas se adoptarán previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones.

No afectarán al derecho de un Estado miembro a determinar las condiciones de explotación de sus recursos energéticos, sus posibilidades de elegir entre distintas fuentes de energía y la estructura general de su abastecimiento energético, sin perjuicio del **Título XX. Medio ambiente: Artículo 192 (antiguo artículo 175 TCE), apartado 2, letra c:** (2. No obstante el procedimiento de toma de decisiones contemplado en el apartado 1, y sin perjuicio del artículo 114, el Consejo, por unanimidad con arreglo a un procedimiento legislativo especial, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, adoptará: i) disposiciones esencialmente de carácter fiscal; ii) las medidas que afecten a la ordenación territorial; la gestión cuantitativa de los recursos hídricos o que afecten directa o indirectamente a la disponibilidad de dichos recursos y la utilización del suelo, con excepción de la gestión de los residuos; iii) las medidas que afecten de forma significativa a la elección por un Estado miembro entre diferentes fuentes de energía y a la estructura general de su abastecimiento energético.

El Consejo, por unanimidad, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, podrá disponer que el procedimiento legislativo ordinario sea aplicable a los ámbitos mencionados en el párrafo primero).

3. No obstante lo dispuesto en el apartado 2, el Consejo, con arreglo a un procedimiento legislativo especial, por unanimidad y previa consulta al Parlamento Europeo, establecerá las medidas mencionadas en ese apartado cuando sean esencialmente de carácter fiscal.

<sup>48</sup> Tratado Constitutivo de la Unión Europea (TCE).

2. En caso de dificultades o en caso de serio riesgo de dificultades graves en un Estado miembro, ocasionadas por catástrofes naturales o acontecimientos excepcionales que dicho Estado no pudiere controlar, el Consejo, a propuesta de la Comisión, podrá acordar, en determinadas condiciones, una ayuda financiera de la Unión al Estado miembro en cuestión. El presidente del Consejo informará al Parlamento Europeo acerca de la decisión tomada.

**Redes energéticas: Título XVI. Redes transeuropeas. Artículos 170 a 172 del TFUE: Artículo 170 (antiguo artículo 154 TCE):**

1. A fin de contribuir a la realización de los objetivos contemplados en los artículos 26<sup>49</sup> y 174<sup>50</sup> y de permitir que los ciudadanos de la Unión, los operadores económicos y los entes regionales y locales participen plenamente de los beneficios resultantes de la creación de un espacio sin fronteras interiores, la Unión contribuirá al establecimiento y al desarrollo de redes transeuropeas en los sectores de las infraestructuras de transportes, de las telecomunicaciones y de la energía.

2. En el contexto de un sistema de mercados abiertos y competitivos, la acción de la Unión tendrá por objetivo favorecer la interconexión e interoperabilidad de las redes nacionales, así como el acceso a dichas redes. Tendrá en cuenta, en

---

<sup>49</sup> Tercera parte. Políticas y acciones internas de la unión. Título I. Mercado interior:

**Artículo 26 (antiguo artículo 14 TCE):**

1. La Unión adoptará las medidas destinadas a establecer el mercado interior o a garantizar su funcionamiento, de conformidad con las disposiciones pertinentes de los Tratados.

<sup>50</sup> Título XVIII. Cohesión económica, social y territorial:

**Artículo 174 (antiguo artículo 158 TCE):**

A fin de promover un desarrollo armonioso del conjunto de la Unión, ésta desarrollará y proseguirá su acción encaminada a reforzar su cohesión económica, social y territorial.

La Unión se propondrá, en particular, reducir las diferencias entre los niveles de desarrollo de las diversas regiones y el retraso de las regiones menos favorecidas.

Entre las regiones afectadas se prestará especial atención a las zonas rurales, a las zonas afectadas por una transición industrial y a las regiones que padecen desventajas naturales o demográficas graves y permanentes como, por ejemplo, las regiones más septentrionales con una escasa densidad de población y las regiones insulares, transfronterizas y de montaña.

particular, la necesidad de establecer enlaces entre las regiones insulares, sin litoral y periféricas y las regiones centrales de la Unión.

**Artículo 171 (antiguo artículo 151 TCE):**

1. A fin de alcanzar los objetivos mencionados en el artículo 170, la Unión:

i) elaborará un conjunto de orientaciones relativas a los objetivos, prioridades y grandes líneas de las acciones previstas en el ámbito de las redes transeuropeas; estas orientaciones identificarán proyectos de interés común, ii) realizará las acciones que puedan resultar necesarias para garantizar la interoperabilidad de las redes, especialmente en el ámbito de la armonización de las normas técnicas, iii) podrá apoyar proyectos de interés común apoyados por Estados miembros y determinados de acuerdo con las orientaciones mencionadas en el primer guion, especialmente mediante estudios de viabilidad, de garantías de crédito o de bonificaciones de interés; la Unión podrá aportar también una contribución financiera por medio del Fondo de Cohesión creado conforme a lo dispuesto en el artículo 177<sup>51</sup> a proyectos específicos en los Estados miembros en el ámbito de las infraestructuras del transporte.

La acción de la Unión tendrá en cuenta la viabilidad económica potencial de los proyectos.

---

<sup>51</sup> **Título XVIII. Cohesión económica, social y territorial:**

**Artículo 177 (antiguo artículo 161 TCE):**

Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 178, el Parlamento Europeo y el Consejo, mediante reglamentos adoptados con arreglo al procedimiento legislativo ordinario, y tras consultar al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, determinarán las funciones, los objetivos prioritarios y la organización de los fondos con finalidad estructural, lo que podrá suponer la agrupación de los fondos. Mediante el mismo procedimiento, se determinarán asimismo las normas generales aplicables a los fondos, así como las disposiciones necesarias para garantizar su eficacia y la coordinación de los fondos entre sí y con los demás instrumentos financieros existentes.

Un Fondo de Cohesión, creado con arreglo al mismo procedimiento, proporcionará una contribución financiera a proyectos en los sectores del medio ambiente y de las redes transeuropeas en materia de infraestructuras del transporte.



2. Los Estados miembros coordinarán entre sí, en colaboración con la Comisión, las políticas que apliquen a escala nacional y que puedan tener una influencia significativa en la realización de los objetivos previstos en el artículo 170. La Comisión, en estrecha colaboración con los Estados miembros, podrá tomar cualquier iniciativa útil para fomentar dicha coordinación.

3. La Unión podrá decidir cooperar con terceros países para el fomento de proyectos de interés común y para garantizar la interoperabilidad de las redes.

**Artículo 172 (antiguo artículo 156 TCE):**

El Parlamento Europeo y el Consejo, previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, adoptarán con arreglo al procedimiento legislativo ordinario las orientaciones y las restantes medidas previstas en el apartado 1 del artículo 171.

Las orientaciones y proyectos de interés común relativos al territorio de un Estado miembro requerirán la aprobación del Estado miembro de que se trate.

**Carbón:** el Protocolo n.º 37 explica las consecuencias financieras de la expiración del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero (Tratado CECA<sup>52</sup>) en 2002.

**Protocolo nº 37. Sobre las consecuencias financieras de la expiración del Tratado CECA y el Fondo de Investigación del Carbón y del Acero donde**

**dice:** Las altas partes contratantes, recordando que todos los elementos del patrimonio activo y pasivo de la Comunidad Europea del Carbón y del Acero, tal como existían a 23 de julio de 2002, fueron transferidos a la Comunidad Europea a partir del 24 de julio de 2002, tomando en consideración que es deseable utilizar dichos fondos para la investigación en los sectores vinculados a la

---

<sup>52</sup> La Comunidad Europea del Carbón y del Acero o CECA fue una entidad supranacional del ámbito europeo que regulaba los sectores del carbón y del acero de los Estados miembros.

industria del carbón y del acero, y la consiguiente necesidad de establecer algunas reglas particulares al efecto, han convenido en las siguientes disposiciones, que se incorporarán como anexo al Tratado de la Unión Europea y al Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea:

**Artículo 1.**

1. Sin perjuicio de todo incremento o disminución que pudiera producirse a raíz de las operaciones de liquidación, el valor neto de dichos elementos, tal como figuren en el balance de la CECA a 23 de julio de 2002, se considerará como un patrimonio destinado a la investigación en los sectores relacionados con la industria del carbón y del acero, designado como CECA en liquidación. Tras el cierre de la liquidación, el patrimonio se denominará Activos del Fondo de Investigación del Carbón y del Acero.

2. Los ingresos que genere este patrimonio, denominados Fondo de Investigación del Carbón y del Acero, se utilizarán exclusivamente con fines de investigación en los sectores vinculados a la industria del carbón y del acero al margen del programa marco de investigación, de conformidad con lo dispuesto en el presente Protocolo y en los actos adoptados en virtud del mismo.

**Artículo 2.**

El Consejo, con arreglo a un procedimiento legislativo especial y previa aprobación del Parlamento Europeo, adoptará todas las disposiciones necesarias para la aplicación del presente Protocolo, incluidos los principios esenciales.

El Consejo adoptará, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, las medidas que establezcan las directrices financieras plurianuales para la gestión del patrimonio del Fondo de Investigación del Carbón y del Acero,

así como de las directrices técnicas para el programa de investigación de dicho Fondo.

### **Artículo 3.**

Salvo disposición en contrario del presente Protocolo y de los actos adoptados en virtud del mismo, serán de aplicación las disposiciones de los Tratados.

**Energía nuclear:** el Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Tratado Euratom<sup>53</sup>) constituye la base jurídica de la mayoría de las acciones europeas en el ámbito de la energía nuclear.

Otras disposiciones que afectan a la política energética son:

**Mercado interior de la energía: Título VII. Normas comunes sobre competencia, fiscalidad y aproximación de las legislaciones. Capítulo III. Aproximación de las legislaciones.**

### **Artículo 114 del TFUE:**

1. Salvo que los Tratados dispongan otra cosa, se aplicarán las disposiciones siguientes para la consecución de los objetivos enunciados en el artículo 26. El Parlamento Europeo y el Consejo, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario y previa consulta al Comité Económico y Social, adoptarán las medidas relativas a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que tengan por objeto el establecimiento y el funcionamiento del mercado interior.

2. El apartado 1 no se aplicará a las disposiciones fiscales, a las disposiciones relativas a la libre circulación de personas ni a las relativas a los derechos e intereses de los trabajadores por cuenta ajena.

---

<sup>53</sup> La Comunidad Europea de Energía Atómica o Euratom es un organismo público europeo encargado de coordinar los programas de investigación de la energía nuclear. Es legalmente distinta de la Unión Europea, pero tiene los mismos miembros, y está gobernada por las instituciones de la UE.

3. La Comisión, en sus propuestas previstas en el apartado 1 referentes a la aproximación de las legislaciones en materia de salud, seguridad, protección del medio ambiente y protección de los consumidores, se basará en un nivel de protección elevado, teniendo en cuenta especialmente cualquier novedad basada en hechos científicos. En el marco de sus respectivas competencias, el Parlamento Europeo y el Consejo procurarán también alcanzar ese objetivo.

4. Si, tras la adopción por el Parlamento Europeo y el Consejo, por el Consejo o por la Comisión de una medida de armonización, un Estado miembro estimare necesario mantener disposiciones nacionales, justificadas por alguna de las razones importantes contempladas en el artículo 36<sup>54</sup> o relacionadas con la protección del medio de trabajo o del medio ambiente, dicho Estado miembro notificará a la Comisión dichas disposiciones, así como los motivos de su mantenimiento.

5. Asimismo, sin perjuicio del apartado 4, si tras la adopción de una medida de armonización por el Parlamento Europeo y el Consejo, por el Consejo o por la Comisión, un Estado miembro estimara necesario establecer nuevas disposiciones nacionales basadas en novedades científicas relativas a la protección del medio de trabajo o del medio ambiente y justificadas por un problema específico de dicho Estado miembro surgido con posterioridad a la

---

<sup>54</sup> **Título II. Libre circulación de mercancías. Capítulo III. Prohibición de las restricciones cuantitativas entre los estados miembros:**

**Artículo 36 (antiguo artículo 30 TCE):**

Las disposiciones de los artículos 34 y 35 no serán obstáculo para las prohibiciones o restricciones a la importación, exportación o tránsito justificadas por razones de orden público, moralidad y seguridad públicas, protección de la salud y vida de las personas y animales, preservación de los vegetales, protección del patrimonio artístico, histórico o arqueológico nacional o protección de la propiedad industrial y comercial. No obstante, tales prohibiciones o restricciones no deberán constituir un medio de discriminación arbitraria ni una restricción encubierta del comercio entre los Estados miembros.

adopción de la medida de armonización, notificará a la Comisión las disposiciones previstas así como los motivos de su adopción.

**6.** La Comisión aprobará o rechazará, en un plazo de seis meses a partir de las notificaciones a que se refieren los apartados 4 y 5, las disposiciones nacionales mencionadas, después de haber comprobado si se trata o no de un medio de discriminación arbitraria o de una restricción encubierta del comercio entre Estados miembros y si constituyen o no un obstáculo para el funcionamiento del mercado interior.

Si la Comisión no se hubiera pronunciado en el citado plazo, las disposiciones nacionales a que se refieren los apartados 4 y 5 se considerarán aprobadas.

Cuando esté justificado por la complejidad del asunto y no haya riesgos para la salud humana, la Comisión podrá notificar al Estado miembro afectado que el plazo mencionado en este apartado se amplía por un período adicional de hasta seis meses.

**7.** Cuando, de conformidad con el apartado 6, se autorice a un Estado miembro a mantener o establecer disposiciones nacionales que se aparten de una medida de armonización, la Comisión estudiará inmediatamente la posibilidad de proponer una adaptación a dicha medida.

**8.** Cuando un Estado miembro plantee un problema concreto relacionado con la salud pública en un ámbito que haya sido objeto de medidas de armonización previas, deberá informar de ello a la Comisión, la cual examinará inmediatamente la conveniencia de proponer al Consejo las medidas adecuadas.

9. Como excepción al procedimiento previsto en los artículos 258<sup>55</sup> y 259<sup>56</sup> de la TFUE, la Comisión y cualquier Estado miembro podrá recurrir directamente al Tribunal de Justicia de la Unión Europea si considera que otro Estado miembro abusa de las facultades previstas en el presente artículo.

10. Las medidas de armonización anteriormente mencionadas incluirán, en los casos apropiados, una cláusula de salvaguardia que autorice a los Estados miembros a adoptar, por uno o varios de los motivos no económicos indicados en el artículo 36, medidas provisionales sometidas a un procedimiento de control de la Unión.

**Política exterior de la energía: Título V. Acuerdos internacionales. Artículos 216-218, del TFUE.**

**Artículo 216:**

1. La Unión podrá celebrar un acuerdo con uno o varios terceros países u organizaciones internacionales cuando así lo prevean los Tratados o cuando la celebración de un acuerdo bien sea necesaria para alcanzar, en el contexto de

---

<sup>55</sup> **Sección V. El tribunal de justicia de la Unión Europea:**

**Artículo 258 (antiguo artículo 226 TCE):**

Si la Comisión estimare que un Estado miembro ha incumplido una de las obligaciones que le incumben en virtud de los Tratados, emitirá un dictamen motivado al respecto, después de haber ofrecido a dicho Estado la posibilidad de presentar sus observaciones.

Si el Estado de que se trate no se atuviere a este dictamen en el plazo determinado por la Comisión, ésta podrá recurrir al Tribunal de Justicia de la Unión Europea.

<sup>56</sup> **Sección V. El tribunal de justicia de la Unión Europea:**

**Artículo 259 (antiguo artículo 227 TCE):**

Cualquier Estado miembro podrá recurrir al Tribunal de Justicia de la Unión Europea, si estimare que otro Estado miembro ha incumplido una de las obligaciones que le incumben en virtud de los Tratados.

Antes de que un Estado miembro interponga, contra otro Estado miembro, un recurso fundado en un supuesto incumplimiento de las obligaciones que le incumben en virtud de los Tratados deberá someter el asunto a la Comisión.

La Comisión emitirá un dictamen motivado, una vez que los Estados interesados hayan tenido la posibilidad de formular sus observaciones por escrito y oralmente en procedimiento contradictorio.

Si la Comisión no hubiere emitido el dictamen en el plazo de tres meses desde la fecha de la solicitud, la falta de dictamen no será obstáculo para poder recurrir al Tribunal.

las políticas de la Unión, alguno de los objetivos establecidos en los Tratados, bien esté prevista en un acto jurídicamente vinculante de la Unión, o bien pueda afectar a normas comunes o alterar el alcance de las mismas.

2. Los acuerdos celebrados por la Unión vincularán a las instituciones de la Unión y a los Estados miembros.

**Artículo 217 (antiguo artículo 310 TCE):**

La Unión podrá celebrar con uno o varios terceros países o con organizaciones internacionales acuerdos que establezcan una asociación que entrañe derechos y obligaciones recíprocos, acciones comunes y procedimientos particulares.

**Artículo 218 (antiguo artículo 300 TCE):**

1. Sin perjuicio de las disposiciones particulares del artículo 207, para la negociación y celebración de acuerdos entre la Unión y terceros países u organizaciones internacionales se aplicará el procedimiento siguiente.

2. El Consejo autorizará la apertura de negociaciones, aprobará las directrices de negociación, autorizará la firma y celebrará los acuerdos.

3. La Comisión, o el Alto Representante de la Unión para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad cuando el acuerdo previsto se refiera exclusiva o principalmente a la política exterior y de seguridad común, presentará recomendaciones al Consejo, que adoptará una decisión por la que se autorice la apertura de negociaciones y se designe, en función de la materia del acuerdo previsto, al negociador o al jefe del equipo de negociación de la Unión.

4. El Consejo podrá dictar directrices al negociador y designar un comité especial, al que deberá consultarse durante las negociaciones.

**5.** El Consejo adoptará, a propuesta del negociador, una decisión por la que se autorice la firma del acuerdo y, en su caso, su aplicación provisional antes de la entrada en vigor.

**6.** El Consejo adoptará, a propuesta del negociador, una decisión de celebración del acuerdo.

Con excepción de los acuerdos que se refieran exclusivamente a la política exterior y de seguridad común, el Consejo adoptará la decisión de celebración del acuerdo. Previa aprobación del Parlamento Europeo en los casos siguientes:

i) acuerdos de asociación; ii) acuerdo de adhesión de la Unión al Convenio Europeo para la Protección de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales; iii) acuerdos que creen un marco institucional específico al organizar procedimientos de cooperación; iv) acuerdos que tengan repercusiones presupuestarias importantes para la Unión; v) acuerdos que se refieran a ámbitos a los que se aplique el procedimiento legislativo ordinario o, si se requiere la aprobación del Parlamento Europeo, el procedimiento legislativo especial.

En caso de urgencia, el Parlamento Europeo y el Consejo podrán convenir en un plazo para la aprobación, previa consulta al Parlamento Europeo en los demás casos. El Parlamento Europeo emitirá su dictamen en un plazo que el Consejo podrá fijar según la urgencia. De no haberse emitido un dictamen al término de dicho plazo, el Consejo podrá pronunciarse.

**7.** No obstante, lo dispuesto en los apartados 5, 6 y 9, el Consejo, al celebrar un acuerdo, podrá autorizar al negociador a aprobar, en nombre de la Unión, las modificaciones del acuerdo para cuya adopción éste prevea un procedimiento



simplificado o la intervención de un órgano creado por el acuerdo. El Consejo podrá supeditar dicha autorización a condiciones específicas.

**8.** El Consejo se pronunciará por mayoría cualificada durante todo el procedimiento.

Sin embargo, el Consejo se pronunciará por unanimidad cuando el acuerdo se refiera a un ámbito en el que se requiera la unanimidad para la adopción de un acto de la Unión y cuando se trate de acuerdos de asociación y de los acuerdos previstos en el artículo 212 con los Estados candidatos a la adhesión. El Consejo se pronunciará también por unanimidad sobre el acuerdo de adhesión de la Unión al Convenio Europeo para la Protección de los Derechos Humanos y de las Libertades Fundamentales; la decisión de celebración de dicho acuerdo entrará en vigor después de haber sido aprobada por los Estados miembros, de conformidad con sus respectivas normas constitucionales.

**9.** El Consejo adoptará, a propuesta de la Comisión o del Alto Representante de la Unión para Asuntos Exteriores y Política de Seguridad, una decisión por la que se suspenda la aplicación de un acuerdo y se establezcan las posiciones que deban adoptarse en nombre de la Unión en un organismo creado por un acuerdo, cuando dicho organismo deba adoptar actos que surtan efectos jurídicos, con excepción de los actos que completen o modifiquen el marco institucional del acuerdo.

**10.** Se informará cumplida e inmediatamente al Parlamento Europeo en todas las fases del procedimiento.

**11.** Un Estado miembro, el Parlamento Europeo, el Consejo o la Comisión podrán solicitar el dictamen del Tribunal de Justicia sobre la compatibilidad con los Tratados de cualquier acuerdo previsto. En caso de dictamen negativo del

Tribunal de Justicia, el acuerdo previsto no podrá entrar en vigor, salvo modificación de éste o revisión de los Tratados.

**Política Medioambiental: Título XX. Medio Ambiente. Artículos 191-193, del TFUE.**

**Artículo 191 (antiguo artículo 174 TCE):**

1. La política de la Unión en el ámbito del medio ambiente contribuirá a alcanzar los siguientes objetivos:

- La conservación, la protección y la mejora de la calidad del medio ambiente.
- La protección de la salud de las personas.
- La utilización prudente y racional de los recursos naturales.
- El fomento de medidas a escala internacional destinadas a hacer frente a los problemas regionales o mundiales del medio ambiente. y en particular a luchar contra el cambio climático.

2. La política de la Unión en el ámbito del medio ambiente tendrá como objetivo alcanzar un nivel de protección elevado, teniendo presente la diversidad de situaciones existentes en las distintas regiones de la Unión. Se basará en los principios de cautela y de acción preventiva, en el principio de corrección de los atentados al medio ambiente, preferentemente en la fuente misma, y en el principio de quien contamina paga, Jiménez & Pérez (2019).

En este contexto, las medidas de armonización necesarias para responder a exigencias de la protección del medio ambiente incluirán, en los casos apropiados, una cláusula de salvaguardia que autorice a los Estados miembros

a adoptar, por motivos medioambientales no económicos, medidas provisionales sometidas a un procedimiento de control de la Unión.

**3.** En la elaboración de su política en el área del medio ambiente, la Unión tendrá en cuenta:

- Los datos científicos y técnicos disponibles.
- Las condiciones del medio ambiente en las diversas regiones de la Unión.
- Las ventajas y las cargas que puedan resultar de la acción o de la falta de acción.
- El desarrollo económico y social de la Unión en su conjunto y el desarrollo equilibrado de sus regiones.

**4.** En el marco de sus respectivas competencias, la Unión y los Estados Miembros cooperarán con los terceros países y las organizaciones internacionales competentes. Las modalidades de la cooperación de la Unión podrán ser objeto de acuerdos entre ésta y las terceras partes interesadas.

El párrafo precedente se entenderá sin perjuicio de la competencia de los Estados miembros para negociar en las instituciones internacionales y para concluir acuerdos internacionales.

**Artículo 192 (antiguo artículo 175 TCE):**

**1.** El Parlamento Europeo y el Consejo, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario y previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las

Regiones, decidirán las acciones que deba emprender la Unión para la realización de los objetivos fijados en el artículo 191<sup>57</sup>.

2. No obstante el procedimiento de toma de decisiones contemplado en el apartado 1, y sin perjuicio del artículo 114<sup>58</sup>, el Consejo, por unanimidad con

---

<sup>57</sup> **Artículo 191:** Artículo anterior.

<sup>58</sup> **Artículo 114 (antiguo artículo 95 TCE):**

1. Salvo que los Tratados dispongan otra cosa, se aplicarán las disposiciones siguientes para la consecución de los objetivos enunciados en el artículo 26. El Parlamento Europeo y el Consejo, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario y previa consulta al Comité Económico y Social, adoptarán las medidas relativas a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados miembros que tengan por objeto el establecimiento y el funcionamiento del mercado interior.

2. El apartado 1 no se aplicará a las disposiciones fiscales, a las disposiciones relativas a la libre circulación de personas ni a las relativas a los derechos e intereses de los trabajadores por cuenta ajena.

3. La Comisión, en sus propuestas previstas en el apartado 1 referentes a la aproximación de las legislaciones en materia de salud, seguridad, protección del medio ambiente y protección de los consumidores, se basará en un nivel de protección elevado, teniendo en cuenta especialmente cualquier novedad basada en hechos científicos. En el marco de sus respectivas competencias, el Parlamento Europeo y el Consejo procurarán también alcanzar ese objetivo.

4. Si, tras la adopción por el Parlamento Europeo y el Consejo, por el Consejo o por la Comisión de una medida de armonización, un Estado miembro estimare necesario mantener disposiciones nacionales, justificadas por alguna de las razones importantes contempladas en el artículo 36 o relacionadas con la protección del medio de trabajo o del medio ambiente, dicho Estado miembro notificará a la Comisión dichas disposiciones, así como los motivos de su mantenimiento.

5. Asimismo, sin perjuicio del apartado 4, si tras la adopción de una medida de armonización por el Parlamento Europeo y el Consejo, por el Consejo o por la Comisión, un Estado miembro estimara necesario establecer nuevas disposiciones nacionales basadas en novedades científicas relativas a la protección del medio de trabajo o del medio ambiente y justificadas por un problema específico de dicho Estado miembro surgido con posterioridad a la adopción de la medida de armonización, notificará a la Comisión las disposiciones previstas así como los motivos de su adopción.

6. La Comisión aprobará o rechazará, en un plazo de seis meses a partir de las notificaciones a que se refieren los apartados 4 y 5, las disposiciones nacionales mencionadas, después de haber comprobado si se trata o no de un medio de discriminación arbitraria o de una restricción encubierta del comercio entre Estados miembros y si constituyen o no un obstáculo para el funcionamiento del mercado interior.

Si la Comisión no se hubiera pronunciado en el citado plazo, las disposiciones nacionales a que se refieren los apartados 4 y 5 se considerarán aprobadas. Cuando esté justificado por la complejidad del asunto y no haya riesgos para la salud humana, la Comisión podrá notificar al Estado miembro afectado que el plazo mencionado en este apartado se amplía por un período adicional de hasta seis meses.

7. Cuando, de conformidad con el apartado 6, se autorice a un Estado miembro a mantener o establecer disposiciones nacionales que se aparten de una medida de armonización, la Comisión estudiará inmediatamente la posibilidad de proponer una adaptación a dicha medida.

8. Cuando un Estado miembro plantee un problema concreto relacionado con la salud pública en un ámbito que haya sido objeto de medidas de armonización previas, deberá informar de ello a la Comisión, la cual examinará inmediatamente la conveniencia de proponer al Consejo las medidas adecuadas.

9. Como excepción al procedimiento previsto en los artículos 258 y 259, la Comisión y cualquier Estado miembro podrá recurrir directamente al Tribunal de Justicia de la Unión Europea si considera que otro Estado miembro abusa de las facultades previstas en el presente artículo.

10. Las medidas de armonización anteriormente mencionadas incluirán, en los casos apropiados, una cláusula de salvaguardia que autorice a los Estados miembros a adoptar, por uno o varios de los motivos no económicos indicados en el artículo 36, medidas provisionales sometidas a un procedimiento de control de la Unión.

arreglo a un procedimiento legislativo especial, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, adoptará:

**a)** Disposiciones esencialmente de carácter fiscal.

**b)** Las medidas que afecten a:

- La ordenación territorial.

- La gestión cuantitativa de los recursos hídricos o que afecten directa o indirectamente a la disponibilidad de dichos recursos.

- La utilización del suelo, con excepción de la gestión de los residuos.

**c)** Las medidas que afecten de forma significativa a la elección por un Estado miembro entre diferentes fuentes de energía y a la estructura general de su abastecimiento energético.

El Consejo, por unanimidad, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, podrá disponer que el procedimiento legislativo ordinario sea aplicable a los ámbitos mencionados en el párrafo primero.

**3.** El Parlamento Europeo y el Consejo adoptarán, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario y previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, programas de acción de carácter general que fijen los objetivos prioritarios que hayan de alcanzarse.

Las medidas necesarias para la ejecución de dichos programas se adoptarán de conformidad con las condiciones contempladas en el apartado 1 o en el apartado 2, según proceda.

4. Sin perjuicio de determinadas medidas adoptadas por la Unión, los Estados Miembros tendrán a su cargo la financiación y la ejecución de la política en materia de medio ambiente.

5. Sin perjuicio del principio de quien contamina paga, cuando una medida adoptada con arreglo a lo dispuesto en el apartado 1 implique costes que se consideren desproporcionados para las autoridades públicas de un Estado Miembro, dicha medida establecerá las disposiciones adecuadas en forma de:

- Excepciones de carácter temporal.

- Apoyo financiero con cargo al Fondo de Cohesión creado de conformidad con lo dispuesto en el artículo 177<sup>59</sup>, o ambas posibilidades.

#### **Artículo 193 (antiguo artículo 176 TCE):**

Las medidas de protección adoptadas en virtud del artículo 192<sup>60</sup> no serán obstáculo para el mantenimiento y la adopción, por parte de cada Estado

---

#### <sup>59</sup> **Artículo 177 (antiguo artículo 161 TCE):**

Sin perjuicio de lo establecido en el artículo 178, el Parlamento Europeo y el Consejo, mediante reglamentos adoptados con arreglo al procedimiento legislativo ordinario, y tras consultar al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, determinarán las funciones, los objetivos prioritarios y la organización de los fondos con finalidad estructural, lo que podrá suponer la agrupación de los fondos. Mediante el mismo procedimiento, se determinarán asimismo las normas generales aplicables a los fondos, así como las disposiciones necesarias para garantizar su eficacia y la coordinación de los fondos entre sí y con los demás instrumentos financieros existentes.

Un Fondo de Cohesión, creado con arreglo al mismo procedimiento, proporcionará una contribución financiera a proyectos en los sectores del medio ambiente y de las redes transeuropeas en materia de infraestructuras del transporte.

<sup>60</sup> **Artículo 192:** Artículo anterior.

miembro, de medidas de mayor protección. Dichas medidas deberán ser compatibles con los Tratados y se notificarán a la Comisión.

**Energía: Título XXI. Energía. Artículo 194, del TFUE.**

**Artículo 194:**

1. En el marco del establecimiento o del funcionamiento del mercado interior y atendiendo a la necesidad de preservar y mejorar el medio ambiente, la política energética de la Unión tendrá por objetivo, con un espíritu de solidaridad entre los Estados Miembros:

- a) Garantizar el funcionamiento del mercado de la energía.
- b) Garantizar la seguridad del abastecimiento energético en la Unión.
- c) Fomentar la eficiencia energética y el ahorro energético, así como el desarrollo de energías nuevas y renovables.
- d) Fomentar la interconexión de las redes energéticas.

2. Sin perjuicio de la aplicación de otras disposiciones de los Tratados, el Parlamento Europeo y el Consejo establecerán, con arreglo al procedimiento legislativo ordinario, las medidas necesarias para alcanzar los objetivos mencionados en el apartado 1. Dichas medidas se adoptarán previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones.

No afectarán al derecho de un Estado Miembro a determinar las condiciones de explotación de sus recursos energéticos, sus posibilidades de elegir entre

distintas fuentes de energía y la estructura general de su abastecimiento energético, sin perjuicio de la letra c)<sup>61</sup> del apartado 2 del artículo 192.

3. No obstante lo dispuesto en el apartado 2, el Consejo, con arreglo a un procedimiento legislativo especial, por unanimidad y previa consulta al Parlamento Europeo, establecerá las medidas mencionadas en ese apartado cuando sean esencialmente de carácter fiscal.

## **6. SÍNTESIS DE LA LEGISLACIÓN DE LA UE EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA**

La Unión Europea, que posee una política medioambiental y económica respetuosa con el medio ambiente, protege sus recursos naturales y preserva la salud y el bienestar de sus ciudadanos, enfrentándose a desafíos tales como los problemas y las consecuencias derivadas del cambio climático, la producción y el consumo no sostenibles y la contaminación.

La política medioambiental europea se basa en los artículos 11 y 191 a 193 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea. En virtud del artículo 191, la lucha contra el cambio climático es un objetivo explícito de la política medioambiental de la UE. El desarrollo sostenible es un objetivo general para la UE, que se compromete a alcanzar un «alto nivel de protección y mejora de la calidad del medio ambiente» (artículo 3 del Tratado de la Unión Europea).

---

<sup>61</sup> **Letra c) del apartado 2 del artículo 192:**

Las medidas que afecten de forma significativa a la elección por un Estado miembro entre diferentes fuentes de energía y a la estructura general de su abastecimiento energético.

El Consejo, por unanimidad, a propuesta de la Comisión y previa consulta al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones, podrá disponer que el procedimiento legislativo ordinario sea aplicable a los ámbitos mencionados en el párrafo primero.



Por otro lado, el cambio climático y la dependencia de la energía han marcado la determinación de la Unión Europea de convertirse en una economía basada en el bajo consumo de energía, que debe ser estable, segura, competitiva, producida localmente y sostenible, garantizando que el mercado energético de la UE funcione eficazmente.

El artículo 194 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea introduce una base legal específica para el campo de la energía basada en las competencias compartidas entre la UE y los Estados Miembros.

La síntesis de la legislación de la UE en materia de medio ambiente, cambio climático y energía más destacados aparecen reflejados en el Apéndice A1.

## **7. PACTO VERDE EUROPEO**

El objetivo primordial del Pacto Verde Europeo<sup>62</sup> es alcanzar un clima en equilibrio, neutro, adoptándose medidas reales y decisivas en materia de cambio climático. Ello implica la inversión en innovación e investigación, rediseño de la economía de la Unión Europea, así como la actualización de la política industrial europea.

El Pacto Verde Europeo incluirá el primer acto legislativo climático europeo que consagrará en una norma el objetivo de neutralidad climática para 2050.

El “Pacto Verde” pretende rebajar en la próxima década drásticamente las emisiones contaminantes antes de llegar en 2050 a esa neutralidad climática,

---

<sup>62</sup> El Pacto Verde Europeo o “*Green Deal*” es una herramienta de lucha contra el cambio climático, lanzada por la Unión Europea, que pretende que Europa sea, en 2050, el primer continente climáticamente neutro.

siendo el objetivo para 2030 un recorte entre el 55 y el 60 % de las emisiones actuales. El índice de reducción toma como referencia las emisiones realizadas en el año 1990.

Para alcanzar en el 2050 cero emisiones será necesaria la ampliación del régimen de comercio de derechos de emisión a fin de cubrir el sector marítimo y reducir los derechos gratuitos asignados a las compañías aéreas, ampliando estas medidas para cubrir el tráfico y la construcción. Se complementarán estas medidas con la implantación de un impuesto sobre el carbono en frontera para evitar fugas de carbono, conforme con las normas de la Organización Mundial del Comercio (OMC)<sup>63</sup>, seleccionando inicialmente una serie de sectores básicos y ampliándose de manera gradual, además de una revisión de la Directiva sobre la fiscalidad de la energía.

La transición se realizará reduciendo las emisiones de carbono de las industrias con gran consumo de energía, liderando la economía circular y las tecnologías limpias de manera personalizada, ya que no todos los países de la UE están al mismo nivel, por lo que se intentará una transición lo más justa posible, de manera que se apoyará a las zonas más afectadas, a través de un nuevo Fondo de Transición Justa (FTJ)<sup>64</sup> que concederá principalmente subvenciones.

---

<sup>63</sup> La Organización Mundial del Comercio (OMC) es la organización internacional que se ocupa de las normas que rigen el comercio entre los países. Los pilares sobre los que descansa son los Acuerdos de la OMC, que han sido negociados y firmados por la mayoría de los países que participan en el comercio mundial y ratificados por sus respectivos Parlamentos. El objetivo es garantizar que los intercambios comerciales se realicen de la forma más fluida, previsible y libre posible. La finalidad primordial de la OMC es abrir el comercio en beneficio de todos.

<sup>64</sup> El Fondo de Transición Justa (FTJ) es un nuevo instrumento financiero en el ámbito de la política de cohesión cuyo objetivo es prestar apoyo a los territorios que se enfrentan a retos socioeconómicos graves derivados del proceso de transición a la neutralidad climática. El FTJ facilitará la aplicación del Pacto Verde Europeo, cuyo objetivo es lograr una Unión climáticamente neutra de aquí a 2050.

Por ello, la FTJ contempla, entre otros aspectos:

- Inversión en tecnologías respetuosas con el medio ambiente.
- Apoyo a la innovación industrial.
- Transporte público sano.
- Descarbonización de la energía.
- Edificios eficientes desde un punto de vista energético.
- Colaboración con otros agentes internacionales.

La Base jurídica del FTJ se encuentra en el Artículo 175 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea<sup>65</sup>. Para ello es necesaria concienciación a nivel colectivo e individual, a través de la educación y motivación, diseñando y cumpliendo compromisos que cambien el comportamiento en los países de la UE.

Se presenta una estrategia de Financiación Verde<sup>66</sup> y un Plan Europeo de Inversión Sostenible<sup>67</sup> en la que D'Alfonso (2020) realiza un informe de iniciativa

---

<sup>65</sup> **Artículo 175 (antiguo artículo 159 TCE):**

Los Estados miembros conducirán su política económica y la coordinarán con miras a alcanzar también los objetivos enunciados en el artículo 174. Al formular y desarrollar las políticas y acciones de la Unión y al desarrollar el mercado interior, se tendrán en cuenta los objetivos enunciados en el artículo 174, participando en su consecución. La Unión apoyará asimismo dicha consecución a través de la actuación que realiza mediante los fondos con finalidad estructural (Fondo Europeo de Orientación y de Garantía Agrícola, sección "Orientación"; Fondo Social Europeo; Fondo Europeo de Desarrollo Regional), el Banco Europeo de Inversiones y los otros instrumentos financieros existentes.

Cada tres años, la Comisión presentará un informe al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones sobre los avances realizados en la consecución de la cohesión económica, social y territorial y sobre la forma en que los distintos medios establecidos en el presente artículo hayan contribuido a ellos. En caso necesario, dicho informe deberá ir acompañado de propuestas adecuadas.

Si se manifestare la necesidad de acciones específicas al margen de los fondos y sin perjuicio de las medidas decididas en el marco de las demás políticas de la Unión, el Parlamento Europeo y el Consejo podrán adoptar dichas acciones con arreglo al procedimiento legislativo ordinario y previa consulta al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones.

<sup>66</sup> La Financiación Verde y Sostenible representa los servicios financieros utilizados para proyectos que combaten el cambio climático.

<sup>67</sup> El Plan Europeo de Inversiones Sostenibles son un elemento clave para el éxito de la transición ecológica, junto con la aplicación de una serie de mejoras.

propia donde expone la posición del Parlamento Europeo y en qué consiste dicho Plan, es decir, se pasan de actividades económicas insostenibles a actividades económicas sostenibles, teniendo en cuenta la clasificación u ordenación en grupos con características comunes de la UE y el principio de no ocasionar daños significativos, contando con indicadores de sostenibilidad armonizados, una metodología para cuantificar el impacto, el papel de la política comercial para evitar la fuga de carbono y la garantizar de igualdad de condiciones para las empresas de la UE. Y se presenta también la transformación de partes del Banco Europeo de Inversiones en el Banco Climático Europeo, siendo su aportación del 25% de la financiación total, y con intención de duplicar esa aportación para el 2025. Para el 2030, se plantea la reducción al 50 % de las emisiones, basándose en evaluaciones de impacto social, económico y medioambiental que garanticen la igualdad de condiciones y estimulen la innovación, la competitividad y el empleo.

El cambio climático, la biodiversidad, la seguridad alimentaria, la deforestación y la degradación del suelo van de la mano, por lo que es necesario un cambio en la producción, el consumo y el comercio, en forma de estrategia sobre biodiversidad perteneciente al Pacto Verde Europeo. Es fundamental preservar e invertir en las zonas rurales, la agricultura, ya que de ello depende la calidad del aire, el agua y los alimentos que se consumen, de manera que se disminuya la degradación y contaminación del medio ambiente.

Para 2050, ante el peligro existente en los océanos ante la ingente cantidad de plástico que afectan seriamente la vida marina, es necesaria una fuerte normativa ante los desechos plásticos abordando también los microplásticos<sup>68</sup>.

Así, la Comunicación establece cinco dimensiones principales a partir de la Estrategia de la Unión de la Energía para impulsar la seguridad, la sostenibilidad y la competitividad.

**Seguridad de suministro energético:** Para garantizar la seguridad del suministro energético, la UE debe:

- Diversificación de las fuentes de energía, incluido un uso más eficiente de sus fuentes autóctonas.
- Colaboración estrecha con sus vecinos, incluidos los ocho países de fuera de la UE que son miembros de la Comunidad de la Energía, en momentos en los que haya escasez o crisis energéticas.
- Creación de un organismo que se encargue de la compra colectiva de gas durante una crisis.

**Reducción de las emisiones:** Entre los objetivos energéticos de la UE para el año 2030 se incluye una reducción del 40% en las emisiones de gases de efecto invernadero con respecto a los niveles de 1990.

---

<sup>68</sup> Los microplásticos son pequeñas piezas de plástico que contaminan el medioambiente. Aunque aún se debate a partir de qué tamaño puede considerárseles microplásticos, la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica utiliza el parámetro de menos de 5 mm de diámetro para clasificarlos. Estos provienen de una gran variedad de fuentes, incluidos los cosméticos, ropa, artículos de pesca, desechos plásticos de uso cotidiano y procesos industriales.

Para conseguirlos será necesario:

- Revisión del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) de la UE y fomento de las inversiones en nuevas tecnologías e infraestructuras.
- Liderazgo mundial de las energías renovables.

**Mercado interior plenamente integrado:** Para realizar un mercado interior de la energía plenamente integrado hacen falta:

- Aumento del número de interconectores entre los países de la UE para fomentar un flujo de la energía rápido y libre.
- Potenciación del trabajo y mantenimiento en las infraestructuras básicas.
- Aumento de la competitividad entre los proveedores que permita bajar los precios.

**Eficiencia energética:** La UE considera que las reducciones del consumo de energía reducirán las importaciones de energía y la contaminación, y aumentarán la conservación de los recursos energéticos internos. La Comunicación subraya especialmente la necesidad de aumentar las inversiones y la sensibilización acerca del potencial de ahorro energético en los sectores del transporte y la construcción.

**Investigación e innovación:** La UE aspira a lograr avances en las tecnologías hipocarbónicas<sup>69</sup>. Dichos avances se lograrán coordinando la investigación y financiando proyectos en asociación con el sector privado.

---

<sup>69</sup> El término hipocarbónico es una adaptación al español de low carbon economy, concepto que establece que en una economía y una sociedad baja en carbono, las emisiones de CO<sub>2</sub> son inferiores a las requeridas para estabilizar a largo plazo su concentración en la atmósfera. La UE se ha erigido en líder mundial de los esfuerzos para descarbonizar la economía y ha formado parte de la high ambition coalition en la reciente COP21, poniéndose como meta para 2030 que sus emisiones de CO<sub>2</sub> sean un 40% inferiores a las de 1990. El seguimiento de esta tendencia no es similar en EE UU, China o India, responsables de la mitad del CO<sub>2</sub> mundial. Y sin su contribución, los loables esfuerzos europeos, cuyas emisiones suponen el 10% del total, tendrán poca repercusión directa.

La Unión Europea quiere ofrecer una energía fiable y asequible para toda la ciudadanía y conseguir los objetivos para 2030, transformando el mercado de la energía e implantando una nueva concepción del mercado de la electricidad, con el objetivo de atraer nuevas inversiones, teniendo en cuenta las nuevas tecnologías, respondiendo al rápido crecimiento de las energías renovables variables<sup>70</sup> y a la necesidad de que la red eléctrica funcione de forma segura y estable.

La estrategia de protección del abastecimiento energético de la Unión Europea en el actual contexto geopolítico de dependencia de las importaciones de energía, precisa la adopción de ocho medidas clave:

- Medidas inmediatas para evitar problemas de abastecimiento energético.
- Refuerzo de los mecanismos de emergencia y solidaridad de los países de la UE.
- Moderación de la demanda de energía.
- Garantía de un mercado interno eficaz e integrado.
- Aumento de la producción propia de energía de la UE, incluido un mayor uso de energías renovables, la producción sostenible de combustibles fósiles y la aplicación completa de la Directiva relativa a la captura y el almacenamiento de carbono.
- Desarrollo de las tecnologías energéticas para una mayor reducción de la demanda de energía, diversificación y consolidación de las opciones de abastecimiento y optimización de las infraestructuras energéticas.

---

<sup>70</sup> Energías renovables variables: las energías renovables se obtienen a partir de fuentes naturales, por lo que sus niveles de producción pueden fluctuar.

- Diversificación de las fuentes externas de abastecimiento y las infraestructuras correspondientes, prestando atención a las inversiones realizadas en nuevas centrales nucleares para garantizar una cartera diversificada de abastecimiento de combustible nuclear y reducir así la dependencia de Rusia.
- Mejora de la coordinación de las políticas energéticas nacionales y la comunicación sobre cuestiones externas.

## **8. REFLEXIONES FINALES**

En este capítulo se han relatado las normativas de energía, medioambiente y cambio climático dentro del marco de la Unión Europea. Tras el análisis de los Hechos estilizados que demuestran la existencia del calentamiento generalizado del planeta y la contribución de los Gases de Efecto Invernadero (GEI), en especial el CO<sub>2</sub>, causantes en parte del calentamiento del mismo, es evidente que el cambio en el clima mundial es una realidad, con independencia de las opiniones de los científicos que apoyan o no la idea de la implicación humana en el mismo, y que hay que intentar estabilizar, haciendo hincapié en el uso de las energías renovables y de otros indicadores que minimicen los efectos derivados de este calentamiento.

La Unión Europea ha sido taxativa al respecto, dando gran importancia a la producción y consumo de las energías renovables, que deben ser sostenibles, eficientes, seguras y estables, creando una extensa normativa que trata tanto los temas energéticos como los medioambientales. Por ello, se han estudiado mecanismos de seguimiento de los Gases de Efecto Invernadero, con vistas a obtener una economía baja en carbono y en combustibles fósiles, lo que



adicionalmente proporcionará una mayor independencia de los países productores de petróleo y gas natural, al optar por la obtención de energía y combustible local y renovable, explotando recursos energéticos de cada zona, de forma que se cumplan las cinco dimensiones propuestas por la Estrategia de la Unión de la Energía: 1) Seguridad Energética; 2) Mercado Interior de la Energía; 3) Eficiencia Energética; 4) Descarbonización y 5) Investigación, Innovación y Competitividad.

Las energías renovables tienen muy baja o ninguna emisión de Gases de Efecto Invernadero (GHG<sup>71</sup>), y son interesantes desde el punto de vista del ahorro de la energía y de la lucha contra la pobreza energética. El uso de energías como la solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidráulica o hidroeléctrica, la energía de los residuos, las energías marinas, mareomotriz<sup>72</sup> y undimotriz<sup>73</sup> y otras energías limpias, como la energía del hielo<sup>74</sup>, la energía azul o de potencia osmótica<sup>75</sup>, reducen drásticamente la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Por ello, en la presente Tesis, se sugiere la utilización de energías renovables y en concreto el uso de fuentes termales para calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios en las zonas adecuadas para ello. Se pretende demostrar en los siguientes capítulos que su uso puede ahorrar energía, disminuir la

---

<sup>71</sup> GHG, Greenhouse gas en inglés, o Gases de Efecto Invernadero (GEI).

<sup>72</sup> La energía mareomotriz es la energía que se obtiene aprovechando las mareas: mediante el uso de un alternador se puede utilizar el sistema para la generación de electricidad, transformando así la energía mareomotriz en energía renovable.

<sup>73</sup> La energía undimotriz o energía de las olas es la captura de energía del movimiento de las olas que produce el viento para realizar un trabajo útil, como generar electricidad, desalinizar o bombear agua.

<sup>74</sup> Los hidratos de metano son concentraciones de ese gas en estado de congelación que se esconden en los océanos de prácticamente todo el planeta. Esas concentraciones se conocen popularmente como hielo ardiente o hielo de metano, ya que la alta concentración de ese gas presente en él hace que arda al acercarle una llama.

<sup>75</sup> La energía azul o potencia osmótica es la energía obtenida por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de río. El residuo en este proceso es únicamente agua salobre. Esta fuente de energía renovable presenta un gran potencial en regiones con ríos caudalosos.

pobreza energética, además de cumplir con las cinco dimensiones de la Estrategia de la Unión de la Energía.

## CAPÍTULO 3

# ENERGÍAS FÓSILES VERSUS ENERGÍAS RENOVABLES

### Resumen

En el capítulo anterior se han analizado los fenómenos que están relacionados con la actual existencia de un cierto calentamiento global, así como también se examinaron algunas políticas y normativas cuya intención es poder curvar la tendencia de este calentamiento con el fin de limitar sus posibles efectos sobre los océanos, el clima, la salud y economía de los habitantes del planeta. Según se ha analizado, parece que existe cierta correlación entre este calentamiento global y las emisiones antropogénicas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. De los 194 países que existen actualmente en el mundo, los nueve que emiten más CO<sub>2</sub> a la atmósfera emiten conjuntamente el 67 % del total mundial de las emisiones. En conjunto, el consumo de energía de estos nueve países se compone de un 85 % de energía fósil, un 13 % de energía renovable y un 2 % de energía nuclear. El mayor emisor es China con un 28 % de las emisiones mundiales en 2018, seguido de Estados Unidos con un 15 % de las emisiones, seguido de India con un 7 %, Rusia con un 5 % y Japón con un 3 % de las emisiones mundiales. Sin embargo, un país como Nigeria sólo emite el 0,2 % de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub>, pero su consumo energético se compone sólo de un 19 % de energía fósil y de un 81 % de energía renovable. Lo mismo ocurre por ejemplo con Islandia, cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera suponen el 0,06 % del total mundial y la composición de su consumo energético es de un 22 % de energía fósil y de un 78 % de renovable. La razón es que Nigeria utiliza sobre todo energía hidráulica, mientras Islandia utiliza energía geotérmica, ambas energías renovables y sostenibles. Lo contrario ocurre con China, que utiliza fundamentalmente carbón, o Rusia con gas natural, o Arabia Saudí con petróleo, todas ellas energías fósiles. Parece, al menos a simple vista, que existe una relación entre el uso de energía fósil y las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, así como entre el uso de energía renovable y la disminución de emisiones a la atmósfera. El presente capítulo discute y analiza las diversas opciones energéticas con sus ventajas e inconvenientes medioambientales además de su impacto económico, estudiando las diversas energías fósiles, así como también las energías renovables, además de la nuclear. En el capítulo se estudian las emisiones causadas por todos estos tipos de energía, así como también los últimos avances tecnológicos que incorporan.

## **1. INTRODUCCIÓN**

En el presente capítulo se confrontarán energías fósiles con renovables y se estudiará su aplicación ante la nueva normativa europea.

Desde el principio de era humana, se han utilizado combustibles, que en presencia de oxígeno arden, generando calor. El combustible que en un principio se utilizaba provenía de lo que generaba la Tierra: ramas, madera, excrementos secos, yesca, hojas secas, carbón, petróleo y sus derivados, así hasta las llamadas nuevas fuentes de energía. Estas fuentes de energía pueden ser de origen renovable o no renovable. En la actualidad, se utilizan como fuentes de energía tanto los combustibles fósiles (fuentes de energía no renovables) como las fuentes de energía renovables. Los combustibles fósiles provienen en su mayor parte de depósitos de organismos biológicos fósiles formados durante miles o millones de años, por lo que se componen mayoritariamente de cadenas de carbono, hidrógeno y oxígeno. Estas fuentes existen en capas profundas de la tierra y los sumideros, como el aire y el agua, absorben los productos residuales de estos combustibles fósiles.

Actualmente, la quema del petróleo es responsable de 30 % de las emisiones de dióxido de carbono en aire. El gas natural no libera dióxido de carbono debido a su estructura de metano. La combustión del carbón puede dar como resultado fuegos en las capas subterráneas de la tierra que son virtualmente imposibles de extinguir o polvo de carbón, que puede explotar. El petróleo puede acabar en el suelo o en el agua en forma cruda, causando grandes desastres naturales en el planeta. Algunos científicos medioambientalistas vaticinan que los precios de

los combustibles fósiles aumentarán con el tiempo debido a que no es renovable, lo que puede llegar a causar escasez en el mercado.

Por ello, es necesario hacer una profunda reflexión sobre la elección óptima de los recursos energéticos existentes en cada zona, teniendo en cuenta las ventajas para las viviendas y edificios, el ahorro económico y energético y el aumento del bienestar de los consumidores por una mejora en su calidad de vida.

## **2. ENERGÍAS FÓSILES VERSUS ENERGÍAS RENOVABLES**

Existe una profunda preocupación en lo que respecta a estrategias y relaciones diplomáticas entre países industrializados y países exportadores de energías fósiles en cuanto a los escenarios post combustibles fósiles, reflexionando en cómo evolucionará el mundo a medida que los combustibles fósiles vayan reduciendo su stock. Existen motivos por los que se deben considerar diferentes alternativas a las energías no renovables, por un lado, la necesidad de una independencia energética de los países productores de petróleo y gas natural, con opción de reducir las importaciones de los combustibles convencionales y, por otro, la reducción necesaria e imperativa de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), óxidos de azufre (SO<sub>x</sub>) y otros, responsables de la lluvia ácida, del efecto invernadero y, en definitiva, del calentamiento generalizado de la Tierra, contribuyen, en parte, al cambio del clima en el planeta. Las soluciones propuestas para la estabilización de dichas emisiones dependen de los

diferentes países y de sus diversos niveles de degradación medioambiental, cuyo compromiso estriba en trabajar por las energías renovables, cada uno según sus recursos y sus competencias. Teniendo en cuenta los numerosos obstáculos políticos, económicos o la resistencia al cambio tecnológico, es necesaria una toma de conciencia de que tanto el antiguo como el actual abanico de fuentes energéticas y combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural, debe en lo posible ser reemplazado por las actuales y futuras fuentes de energías renovables y combustibles verdes. Energías como la eólica, solar fotovoltaica, termosolar, geotérmica, biomasa, energías marinas, la energía procedente de las pilas de combustible, en especial las de hidrógeno, la energía minihidráulica, energía de poligeneración<sup>76</sup>, y otras, se convierten en soluciones más enriquecedoras que incorporan nuevas tecnologías.

Las fuentes de energía fósiles, como petróleo, carbón y gas natural, son recursos no renovables que se formaron cuando plantas y animales prehistóricos murieron y fueron enterrados gradualmente por capas de roca. Durante millones de años, se formaron diferentes tipos de combustibles fósiles, dependiendo de la combinación de materia orgánica presente, del tiempo transcurrido bajo tierra y de las condiciones de temperatura y presión existentes con el paso del tiempo. Energía fósil o combustible fósil es, por lo tanto, un término utilizado para describir un grupo de fuentes de energía formadas a partir de plantas y organismos durante el período carbonífero hace, aproximadamente, entre 286 y 360 millones de años, mucho antes de la era de los dinosaurios. La Tierra, por aquel entonces, parece ser estaba cubierta de pantanos llenos de microorganismos, organismos marinos, árboles, helechos y otras plantas de hojas grandes. Cuando esos organismos y plantas murieron, se hundieron en el fondo de los pantanos y los océanos, formando capas de un material esponjoso

---

<sup>76</sup> Se entiende por poligeneración a la producción de energía con distintos generadores para obtener electricidad, calor y/o frío. Esta energía proviene de la combinación de distintos sistemas de energías renovables, como eólica, fotovoltaica, hidrógeno, pilas combustibles, biomasa, absorción, solar térmica, etc.

llamado turba. Durante millones de años, la turba se cubrió de arena, arcilla y otros minerales, convirtiéndola en roca sedimentaria, transformándose, con el tiempo, en diferentes tipos de combustibles fósiles.

Los combustibles fósiles juegan un papel fundamental en el mundo entero por su dependencia, sobre todo en países con economías y tecnologías subdesarrolladas y en vías de desarrollo, respecto a las energías alternativas o energías limpias, siendo la mayor fuente de producción de CO<sub>2</sub>, gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global, causando impactos medioambientales e impactos en la salud humana y de los seres vivos en general. Estos impactos dan lugar al planteamiento de las fuentes renovables de energía como alternativa, por su menor impacto a todos los niveles, que conlleva en la actualidad a una expansión de las energías renovables.

La industria de las energías renovables genera actividad económica, y puestos de trabajo para los países que investigan, innovan, fabrican y exportan tecnologías de energía limpia.

### **3. ENERGÍAS FÓSILES**

Se denomina combustible fósil al combustible que se ha formado por procesos naturales, como la descomposición anaerobia<sup>77</sup> de organismos muertos enterrados, cuyas moléculas orgánicas originadas en la fotosíntesis liberan energía en la combustión. Los combustibles fósiles contienen altos porcentajes de carbono y además contienen petróleo, carbón y gas natural. Estos combustibles se consideran no renovables porque tardan millones de años en formarse y las reservas se agotan más rápido de lo que se generan.

---

<sup>77</sup> La descomposición anaerobia es un proceso biológico degradativo en el cual parte de la materia orgánica contenida en un sustrato es convertida en una mezcla de gases, principalmente metano y dióxido de carbono, mediante la acción de un conjunto de microorganismos en ausencia de aceptores de electrones de carácter inorgánico como son el oxígeno (O<sub>2</sub>), ion nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e ion sulfato (SO<sub>4</sub><sup>-</sup>).

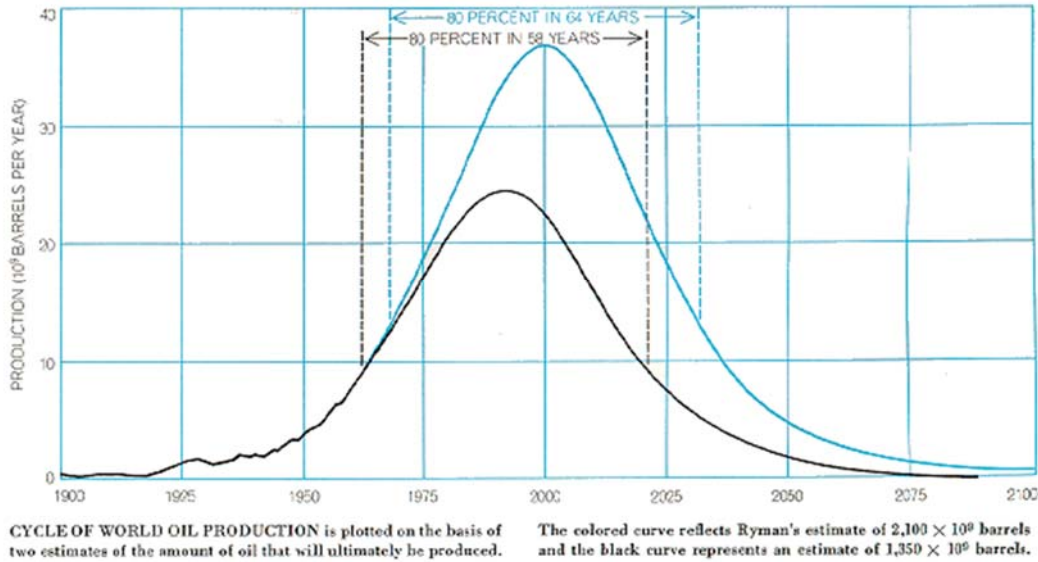
Desde el año 2018, las principales fuentes de energía primaria del mundo consistían en petróleo, aproximadamente, el 34%, carbón, aproximadamente, el 27% y gas natural, aproximadamente el 24%, lo que representa una participación aproximada del 85% de los combustibles fósiles en el consumo de energía primaria en el mundo, y su combustión produce alrededor de 35.000 millones de toneladas de dióxido de carbono/año, provocando un gran deterioro sociomedioambiental. Las fuentes no fósiles incluyen la energía nuclear en un 4,5%, la energía hidroeléctrica en un 6,5% y otras energías renovables un 4,0%, habiendo una participación aproximada del 15 % correspondiente a las energías no fósiles en el consumo de energía primaria en el mundo.

La contaminación del aire debida a la combustión de los combustibles fósiles es causante de muertes cuyo coste se estima en más del 3% del PIB mundial; si se eliminaran esos combustibles contaminantes se evitarían más de 3 millones de muertes anuales. Debido a que los gases de efecto invernadero contribuyen al calentamiento global y la acidificación de los océanos que provocan el cambio del clima en el planeta, existe una movilización generalizada hacia el uso de nuevas fuentes de energía no contaminantes.

Numerosos científicos coinciden en la idea de que tanto el descubrimiento de nuevos yacimientos de hidrocarburos como la extracción de los mismos, denotan una tendencia de agotamiento a largo plazo en la gran mayoría de combustibles fósiles, en especial el petróleo. Este concepto es conocido como la teoría del Pico de Hubbert o cenit del petróleo, o agotamiento del petróleo que dice que, para cualquier área geográfica dada, desde una región productora de petróleo



individual hasta el planeta en su conjunto, la tasa de producción de petróleo tiende a seguir una curva en forma de campana (ver figuras 25, 26 y 27).



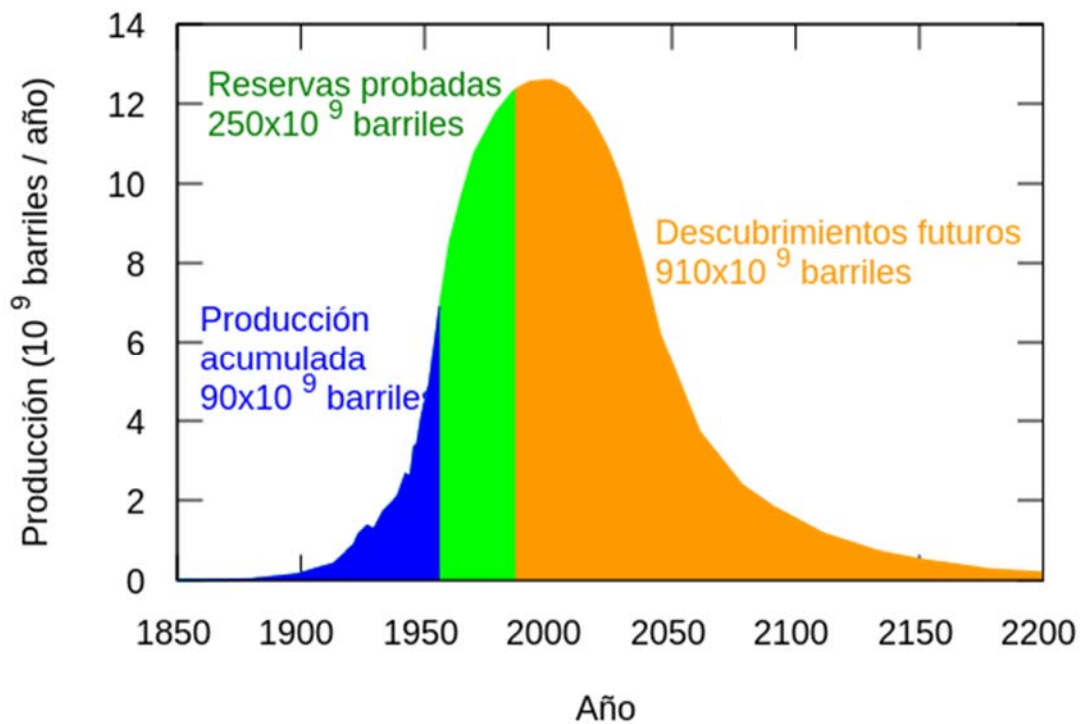
**Figura 25: La curva estándar de Hubbert en el diagrama tiempo-producción real y futura del petróleo.**

Fuente: *Scientific American*<sup>78</sup> (1971)

Es ampliamente aceptado que el petróleo es un recurso finito debido a tres evidencias básica escritas por el Dr. M. Hubbert (1971) el cual describe el agotamiento de cualquier recurso finito: i) la producción comienza en cero; ii) la producción se eleva hasta un máximo y iii) después del máximo, la producción disminuye hasta que el recurso se agota. Así, la elección de una curva particular determina un punto de producción máxima en función de las tasas de descubrimiento de recursos energéticos, de las tasas de producción y de la producción acumulada.

<sup>78</sup>*Scientific American* es una revista de divulgación científica. En España se edita una versión traducida llamada Investigación y Ciencia.

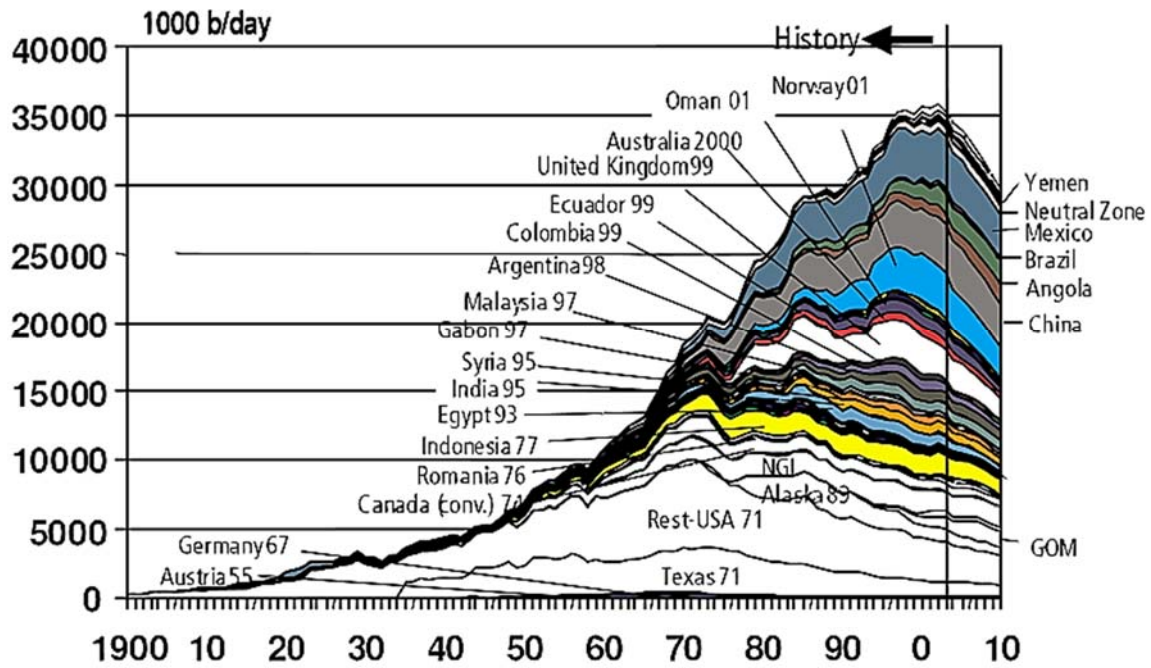
En las figuras 25 y 26 se observa que, al principio de la curva, antes del pico, la tasa de producción aumenta debido a la tasa de descubrimiento y la adición de infraestructura. Al final de la curva, después del pico, la producción disminuye debido al agotamiento de los recursos. Aun siendo controvertida, esta teoría es ampliamente aceptada por la comunidad científica.



**Figura 26: Curva de producción del petróleo de Hubbert.**

Fuente: M. Hubbert (1956).

El debate no se centra en si existirá un pico del petróleo sino en qué momento ocurrirá, ya que es evidente que el petróleo es un recurso finito y no renovable en escalas cortas de tiempo por lo que en un momento u otro se llegará al límite de extracción. Esto depende i) de los posibles descubrimientos de nuevas reservas de petróleo, ii) del aumento de la eficiencia de los yacimientos actuales, iii) de lo profunda que sea la extracción y iv) de la explotación de nuevas formas de petróleo no convencionales.



**Figura 27: Predicciones del gobierno de los EE. UU. para la producción de petróleo (1900-2010).**

Fuente: *Industry Database*<sup>79</sup> (2003)

Basándose en los datos actuales de producción, la Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO<sup>80</sup>), considera que el pico del petróleo habría ocurrido en 2010, mientras que el del gas natural ocurriría algunos años más tarde. Por el contrario, las estimaciones de los más optimistas arrojan reservas para al menos 100 años más. Este hecho implicaría importantes consecuencias para los países desarrollados, que dependen en gran medida de petróleo barato y abundante, especialmente para el transporte, la agricultura, la industria química y la calefacción doméstica.

<sup>79</sup> La Base de datos de informes de industria (*Industry Database*, en inglés) proporciona un análisis completo del tamaño del mercado global, la previsión y la inteligencia de la industria, que cubre los mercados de ciencia y tecnología incluyendo perfiles de países, informes de industria, informes de acciones, datos de bonos, informes de investigación de analistas de corredores, entre otros.

<sup>80</sup> La Asociación para el Estudio del Pico del Petróleo y el Gas (ASPO, *The Association For the Study of Peak Oil and Gas*, en inglés) es una red de científicos e investigadores pertenecientes y no a universidades, interesados en determinar la fecha y el impacto del pico y declive de la producción mundial de petróleo y gas, debido a las restricciones en los recursos.

Gran parte de la industria del petróleo y del automóvil afirma que la teoría de Hubbert es falsa y la omiten u ocultan. Algunos críticos afirman que la escasez motivará la búsqueda de nuevos descubrimientos y que las reservas se incrementarán por encima de lo predicho por Hubbert, mientras otros creen que el pico de producción ya ha llegado, ya que después del huracán Katrina, Arabia Saudí admitió que no podía incrementar su producción para atenuar la crisis por las pérdidas en la producción y el refinado causadas por el huracán en la zona del Golfo de México.

La crisis no se limita sólo al petróleo, sino también al gas, pues su pico de producción no sucederá mucho después que el del petróleo. Las industrias energéticas fósiles usan estos combustibles, para producir electricidad o las refinan para calefacción, refrigeración, climatización, agua caliente sanitaria, producción de energía mecánica y transporte.

Existen tres tipos principales de combustibles fósiles:

**Carbón**, formado a partir de helechos, plantas y árboles que se endurecieron debido a la presión y el calor.

**Petróleo**, formado a partir de microorganismos, como el zooplancton y las algas, en las que intensas presiones causaron que esta compleja materia orgánica se descompusiera formando petróleo.

**Gas natural**, sometido al mismo proceso que el petróleo; siendo el proceso más largo y sujeto a mayor calor y presión, provocando una mayor descomposición y transformándolo en gas.

Los combustibles fósiles son necesarios para la producción de una variedad de productos comunes, como pinturas, detergentes, polímeros, incluidos los plásticos, cosméticos y algunos medicamentos.

#### **4. CARBÓN**

El carbón es una roca combustible de color negro o marrón oscuro cuyo componente principal es el carbono. De los tres tipos de combustibles fósiles, el carbón es el único que se encuentra en estado sólido. El carbón se compone de cinco elementos diferentes: carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y azufre, y la distribución de esos cinco elementos varía según el tipo de carbón. Se clasifica en cuatro tipos principales, o rangos, en función del contenido de carbono y de la capacidad calorífica que posea cada tipo. La regla general es que cuanto más alto es el rango del carbón, más limpia es su combustión y más versátil es su uso.

El carbón antracita es el de contenido más alto en energía, es el carbón que posee mayor dureza y mayor distribución que las otras variedades ya que está compuesto por 86 y 97% de carbono; se trata de un carbón de color negro, duro y brillante que se usa para calefacción, combustión y para la fabricación de acero.

El carbón bituminoso está compuesto por 45 y 86% de carbono, de color negro y, a veces, marrón oscuro, a menudo con bandas bien definidas de material brillante y mate. Se utiliza principalmente como combustible en la generación de energía eléctrica, también se utiliza para aplicaciones de calor y energía en la industria y para convertirse en coque para la fabricación de acero.

El carbón subbituminoso está compuesto por 35 y 45% de carbono, sus propiedades están entre las del lignito y las del carbón bituminoso. Se utiliza principalmente como combustible para la generación de energía eléctrica. Este carbón generalmente tiene un contenido en azufre más bajo que otros tipos, lo que lo hace atractivo para su uso porque su combustión es más limpia.

El lignito está compuesto por 25 y 35% de carbono y tiene un alto contenido en oxígeno e hidrógeno; también conocido como carbón pardo, es el rango más bajo de carbón y se utiliza casi exclusivamente como combustible para la generación de energía eléctrica.

El carbón se extrae de la tierra a través de la minería subterránea o la minería de superficie. La elección del método de minería está determinada en gran medida por la geología del depósito de carbón y su distancia a la superficie. La minería subterránea representa actualmente una mayor proporción que la minería de superficie.

El carbón puede quemarse para calefacción, combustión o producción de electricidad. Para convertir el carbón térmico en electricidad, primero se tritura para obtener un polvo fino, aumentando su superficie y permitiendo que se caliente más rápidamente. Los gases calientes y la energía térmica producida por la combustión convierten el agua en vapor para hacer funcionar una turbina y un generador. El carbón de alta calidad es una materia prima muy útil, ya que puede convertirse en coque para la fabricación de acero. También puede convertirse en gas líquido o sintético mediante procesos químicos avanzados, lo que lo convierte en un posible, aunque costoso, sustituto del gas natural o de los

combustibles líquidos, siendo un recurso energético muy abundante y barato. Proporciona el 40% de la electricidad del mundo.

Una preocupación importante son las prácticas mineras utilizadas para extraer este recurso. Los impactos ecológicos y los problemas de seguridad, Helm (2012), tanto para los trabajadores como para las comunidades vecinas. El carbón es el combustible fósil que emite más CO<sub>2</sub> cuando se quema, porque está compuesto principalmente de carbono; también contiene otros elementos que causan problemas de contaminación, como azufre, nitrógeno, mercurio y metales pesados. Los óxidos de azufre, SO<sub>x</sub>, son una de las principales causas de la lluvia ácida y de las emisiones de óxidos de nitrógeno, NO<sub>x</sub>, que contribuyen al *smog*<sup>81</sup>, que es perjudicial para la salud humana.

El *smog* fotoquímico se asocia principalmente con la formación fotoquímica de ozono cuando las temperaturas son más cálidas y hay más luz solar presente. Es un tipo de contaminación derivada de las emisiones provocadas por humos industriales y vehículos de combustión interna. Cuando las temperaturas son más frías hay un aumento en el uso de carbón y otros combustibles fósiles para calentar viviendas y edificios, se origina el *smog* sulfuroso, que es el resultado de la descomposición en la atmósfera de los gases de azufre en presencia de niebla, que suele ser tóxico para los humanos y puede causar enfermedades.

---

<sup>81</sup>El *smog* es un tipo de contaminación atmosférica intensa. La palabra "*smog*" es una contracción de las palabras humo y niebla para referirse a la niebla humeante por su opacidad y olor. Este tipo de contaminación visible del aire está compuesto por óxidos de nitrógeno, óxidos de azufre, ozono, humo y otras partículas. El *smog* creado por el hombre se deriva de las emisiones de la combustión de carbón, las emisiones de vehículos, las emisiones industriales, los incendios forestales y agrícolas y las reacciones fotoquímicas de estas emisiones.

Estos efectos sobre la salud incluyen muerte prematura, enfermedad respiratoria aguda, asma agravada, bronquitis crónica y disminución de la función pulmonar.

La preocupación por el calentamiento global debido a las emisiones de gases de efecto invernadero ha puesto en tela de juicio las plantas de carbón y ha impulsado el desarrollo de tecnologías de "carbón limpio" y captura o almacenamiento de carbono.

## **5. PETRÓLEO**

El petróleo o también llamado crudo es un líquido negro amarillento espeso compuesto principalmente de hidrógeno y carbono, además de contener oligoelementos como oxígeno, azufre y nitrógeno de origen natural que se encuentra en formaciones geológicas bajo la superficie terrestre, siendo, por lo general, refinado en varios tipos de combustibles. Los componentes del petróleo se separan mediante una técnica denominada destilación fraccionada, es decir, separación de una mezcla líquida en fracciones que difieren en el punto de ebullición por medio de destilación, normalmente utilizando una columna de fraccionamiento. Consiste en hidrocarburos naturales de diversos pesos moleculares y puede contener diversos compuestos orgánicos. La palabra petróleo abarca tanto el petróleo crudo sin procesar de origen natural como los productos derivados del petróleo que se componen de petróleo crudo refinado, por lo que el petróleo es un combustible fósil que se forma cuando grandes cantidades de organismos muertos, en su mayoría zooplancton<sup>82</sup> y algas, se

---

<sup>82</sup> El zooplancton son los organismos que componen el plancton. Son heterótrofos, es decir, que no pueden producir su propio alimento, sino que se nutre de otras fuentes de carbono orgánico, principalmente materia vegetal o animal. Entre ellos se pueden encontrar organismos herbívoros, carnívoros y omnívoros. Algunos de ellos pueden estar en simbiosis con algas y otros son parásitos de otros organismos.



entierran debajo de la roca sedimentaria y se someten a un intenso calor y presión.

El petróleo se recupera, generalmente, mediante su extracción por perforación, la cual se lleva a cabo después de que se hayan completado los estudios de geología, el análisis de la cuenca sedimentaria y los estudios de porosidad y permeabilidad del yacimiento. El petróleo crudo se lleva a las refinerías, donde se procesa convirtiéndose en combustible. Estas refinerías producen una gama de diferentes sustancias provenientes del petróleo mediante destilación, como gasolina, queroseno, asfalto y reactivos químicos como etileno, propileno, buteno, ácido acrílico o paraxileno<sup>83</sup>. Es utilizado para fabricar plásticos, plaguicidas y productos farmacéuticos, para uso como combustible en transporte y en la fabricación de una amplia variedad de materiales, estimándose que en el mundo se consume alrededor de 95 millones de barriles por día, de los cuales, algo menos de la mitad del barril de petróleo promedio se refina en gasolina, y las otras partes del barril se refinan para asfalto, combustible para aviones, queroseno y lubricantes, entre otros.

Los depósitos de petróleo se formaron hace millones de años, cuando los organismos marinos muertos se hundieron en el fondo del océano y fueron enterrados bajo depósitos de roca sedimentaria, que, sometidos a un intenso calor y gran presión, sufrieron una transformación en la que se convirtieron en petróleo a través de millones de años. Aunque este proceso es similar al proceso de formación del gas natural, sin embargo, el petróleo se forma bajo un rango

---

<sup>83</sup> El paraxileno, también llamado p-xileno, es un producto químico esencial para el proceso de fabricación de botellas de plástico y fibra de poliéster.

limitado de temperaturas, mientras que el gas natural se forma en un rango más amplio de temperaturas llamado “ventana del petróleo”, es decir, a una temperatura comprendida entre 60 y 120 °C.

El petróleo se encuentra en rocas subterráneas específicas llamadas reservorios. Las rocas tienen pequeños espacios que les permiten contener agua, gas natural y/o petróleo. Las rocas impermeables llamadas rocas de copa rodean el depósito y atrapan el petróleo en el lugar. A través de actividades como la sísmica, muestreo de pozo y mapeo subsuperficial, los geocientíficos localizan lugares para la extracción de petróleo. El petróleo se extrae del yacimiento perforando en el suelo y se bombea desde el pozo. Una vez extraído, el petróleo es transportado por oleoducto, barco, ferrocarril o camiones a una refinería donde se somete a un proceso complejo en el que producen productos derivados del petróleo como gasolina, diésel, combustible para aviones, combustible para el hogar, aceite lubricante y asfalto junto con otros productos petroquímicos que se utilizan para fabricar plásticos, fibra sintética, jabón o pintura.

El petróleo es relativamente abundante pero no es un recurso renovable. Los suministros de petróleo convencionales han ido disminuyendo constantemente, haciendo que la producción no convencional sea más común.

El petróleo crudo se obtiene de múltiples fuentes, aunque la mayor parte se debe comprar a otros países, en su mayoría a Oriente Medio, de manera que existe una dependencia energética de la sociedad actual hacia los combustibles fósiles, que hace necesario un rápido desarrollo de las energías alternativas. Aproximadamente el 71% del consumo mundial de petróleo se usa para producir combustible para alimentar a los sistemas de transporte. La producción y el

consumo del petróleo suponen muchos desafíos sociales y ambientales. Los sistemas de transporte impulsados por petróleo contribuyen significativamente a las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero, siendo los beneficios del petróleo su alta densidad energética y su versatilidad.

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de la ONU – Copenhague (Dinamarca) (2014), sin la eliminación de los combustibles fósiles, incluido el petróleo, habrá "impactos graves, generalizados e irreversibles para las personas y los ecosistemas". Además, el control y el comercio de los recursos petrolíferos presentan tensiones geopolíticas y entre los grupos interesados y comunidades.

### **Productos refinados derivados del petróleo**

Los productos derivados del petróleo refinados provienen de los crudos a través de procesos tales como el craqueo catalítico<sup>84</sup> y la destilación fraccionada<sup>85</sup>. El refinado es un paso anterior a la quema como combustible. Los productos refinados tienen características físicas y químicas que difieren según el tipo de petróleo crudo y los procesos de refinado posteriores.

Los principales productos de petróleo refinado incluyen:

**Gasolina:** Se suele utilizar como combustible para motores de combustión interna, desde automóviles hasta equipos industriales.

---

<sup>84</sup>El craqueo catalítico, también llamado cracking catalítico (FCC, *Fluid catalytic cracking*, en inglés) convierte principalmente gasóleo al vacío de la unidad de destilación del crudo en material de mezcla de gasolina y combustibles. El FCC descompone hidrocarburos más pesados y complejos en otros más ligeros.

<sup>85</sup> Un método para destilar el petróleo crudo es la destilación fraccionada. Mediante este método se obtienen fracciones y no productos puros. Cada sustancia dentro del petróleo destila a distinta temperatura, a partir de una temperatura fija se obtiene una sustancia predeterminada.

**Queroseno:** Conocido como combustible para aviones, se usa en aviones, y además para calentar. Antes de que se inventara la bombilla, el queroseno era la principal fuente de iluminación.

**Fuel Oil N° 2:** Se usa en motores diésel o como aceites para calefacción doméstica.

**Fuel Oil N° 4:** Conocido como aceite bunker, se usa en grandes motores estacionarios, plantas de energía y calderas comerciales grandes. Cuando se quema como combustible de calefacción puede contener varios contaminantes, incluidos el níquel y el azufre.

**Fuel Oil N° 5 (Bunker B):** Se trata de un combustible para calefacción más liviano, que bajo ciertas condiciones climáticas se puede manipular y quemar sin precalentamiento.

**Fuel Oil N° 6 (Bunker C):** Se usa para hacer asfalto y se quema en grandes calderas comerciales. Cuando se quema como combustible de calefacción, puede contener varios contaminantes, incluidos el níquel y el azufre.

**Aceite lubricante:** Se trata de un material de peso medio que fluye fácilmente y se dispersa fácilmente si se trata con prontitud, tiene una baja volatilidad y un punto de inflamación moderado, pero es bastante persistente en el medio ambiente.

Varios de estos productos refinados se pueden procesar químicamente, convirtiéndoles en nylon y plásticos.

La necesidad global de productos de petróleo refinado genera una demanda fuerte de extracción de petróleo. Los productos refinados de petróleo son importantes, pero surgen problemas cuando se considera el ciclo de vida de los productos refinados.

En productos plásticos estos derivados del petróleo deben pasar por un proceso de extracción, refinado y luego diversos procesos químicos para convertirlo en material plástico. Posteriormente, el producto debe almacenarse en depósitos, venderse en tiendas minoristas y finalmente desecharse una vez que finalice su vida útil.

Los procesos utilizados para convertir el petróleo crudo en derivados refinados del petróleo son dos:

**El craqueo catalítico:** El craqueo catalítico de fluidos<sup>86</sup> es uno de los procesos de conversión más importantes utilizados en las refinerías de petróleo. Se usa para convertir las fracciones de hidrocarburos de alto punto de ebullición y alto peso molecular de los aceites crudos de petróleo en gasolina, gases olefínicos<sup>87</sup> y otros productos. El agrietamiento de los hidrocarburos<sup>88</sup> del petróleo se realizó originalmente por craqueo térmico<sup>89</sup>, el cual ha sido reemplazado casi por

---

<sup>86</sup> Los métodos de craqueo a menudo implican la descomposición de los alcanos de cadena larga en alcanos y alquenos de cadena pequeña. En el craqueo catalítico de fluidos, se usa un catalizador de fluido caliente, mientras que, en el hidro craqueo, se usa gas hidrógeno a temperaturas comparativamente más bajas. La reacción de craqueo es muy importante para mejorar el índice de octano del combustible, que se utiliza para medir la calidad de un combustible y su contribución al efecto de golpe de los motores.

<sup>87</sup> El grupo de compuestos de hidrocarburos que tiene uno o más enlaces dobles o triples entre los átomos de carbono en la cadena lineal. El etileno,  $C_2H_4$ , es la olefina más pequeña. Los hidrocarburos olefínicos sintéticos se obtienen por la polimerización del etileno bajo condiciones catalíticas. Se utilizan en lodos base sintética y como lubricantes para lodos a base de agua.

<sup>88</sup> El agrietamiento o craqueo es el proceso utilizado para descomponer las moléculas de hidrocarburos grandes en pequeños hidrocarburos. La reacción de craqueo se realiza para las fracciones obtenidas de la destilación fraccionada de petróleo crudo. La velocidad de craqueo depende de la temperatura y los catalizadores presentes en la mezcla de reacción.

<sup>89</sup> Los métodos de craqueo térmico se realizan mediante la exposición directa al vapor de calor.

completo por el craqueo catalítico<sup>90</sup> porque produce más gasolina con un índice de octanaje más elevado. También produce subproductos que tienen más dobles enlaces carbono-carbono, es decir, más olefinas y, por lo tanto, más valor económico que los producidos por craqueo térmico.

La materia prima para el FCC es la parte del petróleo crudo que tiene un punto de ebullición inicial de 340 ° C o superior a una atmósfera de presión. Esta porción de petróleo crudo a menudo se conoce como gasóleo pesado o gasóleo al vacío (HVGO<sup>91</sup>). En el proceso del FCC, la materia prima se calienta a alta temperatura a presión moderada, y se pone en contacto con un catalizador en polvo caliente. El catalizador rompe las moléculas de cadena larga de los hidrocarburos líquidos de alto punto de ebullición en moléculas mucho más cortas, que se recogen en forma de vapor a una temperatura de ebullición que se encuentra por debajo de 221 °C. Dichos catalizadores se presentan en forma granular o microesférica. Los catalizadores usualmente están compuestos de óxido de silicio y alúmina. El mineral más comúnmente utilizado para este fin es la faujasita<sup>92</sup>, serie de tres minerales con el mismo nombre, considerados como tres especies distintas, ya que se enlazan con calcio, magnesio y sodio.

Las refinerías de petróleo utilizan el craqueo catalítico fluido para corregir el desequilibrio entre la demanda del mercado de gasolina y el exceso de productos

---

<sup>90</sup> Los métodos de craqueo catalítico implican el uso de un catalizador para acelerar la reacción de craqueo.

<sup>91</sup> Un gasóleo pesado o al vacío (HVGO), es decir, es el producto de la destilación al vacío de petróleo crudo, siendo la materia prima más común para el hidro craqueo catalítico en las refinerías de petróleo. El hidro craqueo se realiza a temperaturas de reacción de 400–450 °C y presiones relativamente elevadas de 8–20 MPa y en un elevado exceso de hidrógeno para suprimir la formación de coque.

<sup>92</sup> La faujasita es usado en la industria petroquímica como catalizador en el proceso de "craqueo catalítico", para convertir las fracciones del crudo de petróleo de alto grado de ebullición en gasolina, gasóleo y otros productos valiosos.

pesados de alto punto de ebullición resultantes de la destilación del petróleo crudo.

**Destilación fraccionada:** La destilación fraccionada es la separación de una mezcla en sus componentes. Los compuestos químicos se separan calentándolos a una temperatura a la cual se evaporarán una o más fracciones de la mezcla. En general, las partes componentes tienen puntos de ebullición que difieren en menos de 25 °C entre sí bajo una presión de una atmósfera. Si la diferencia entre los puntos de ebullición es superior a 25 grados centígrados, se usa una destilación simple.

La destilación fraccionada, por lo tanto, es un proceso físico utilizado en química para separar mezclas de líquidos mediante el calor.

Se emplea cuando es necesario separar soluciones de sustancias con puntos de ebullición distintos pero cercanos. Una de las fuentes más importantes de materias primas es el petróleo, procesado en grandes cantidades en las refinerías. La principal diferencia que tiene con la destilación simple es el uso de una columna de fraccionamiento. Ésta permite un mayor contacto entre los vapores que ascienden y el líquido condensado que desciende. Ello facilita el intercambio de calor entre los vapores, que ceden y los líquidos, que reciben. Se produce un intercambio de masa, donde los líquidos con menor punto de ebullición se convierten en vapor, y los vapores de sustancias con mayor punto de ebullición pasan al estado líquido.

## 6. GAS NATURAL

La variedad final de combustible fósil es el gas natural. El gas natural es principalmente metano, CH<sub>4</sub>, con cantidades menores de otros hidrocarburos, siendo por ello muy ligero. Se formó hace millones de años cuando los organismos marinos muertos se hundieron en el fondo del océano y fueron enterrados bajo depósitos de roca sedimentaria. Sujeto a un intenso calor y una fuerte presión, estos organismos sufrieron una transformación en la que se convirtieron en gas durante millones de años. Se encuentra en rocas subterráneas llamadas también depósitos o reservorios. Las rocas tienen pequeños espacios, llamados poros, que les permiten contener agua, gas natural y/o petróleo. Este queda atrapado bajo tierra por roca impermeable, llamada *caprock* o roca capuchón, y permanece allí hasta que se extrae. El gas natural convencional puede extraerse a través de pozos de perforación. Las formas no convencionales de gas natural como el gas de esquisto, el gas hermético, el gas ácido, el metano de capa de carbón y los hidratos de gas tienen técnicas de extracción específicas. El gas natural encontrado en los depósitos de petróleo y que se extrae junto con él se denomina gas asociado, que, en el pasado, era quemado como un producto de desecho, pero que en la mayoría de los lugares hoy es capturado y utilizado.

Existen dos tipos de gas natural, definidos por su contenido de metano, que reflejan las diferencias en los procesos de formación:

**Gas biogénico:** Con una composición mayor o igual al 95% de metano, denominado gas seco, se formó por descomposición bacteriana a poca profundidad.



**Gas termogénico:** Con una composición menor del 95% de metano, también denominado gas húmedo, es un gas de menor calidad que el anterior, formado a altas temperaturas y contiene metano, etano y butano.

Estos líquidos de gas natural, también llamado gas natural licuado<sup>93</sup> (GNL), pueden separarse y venderse individualmente para diversos usos, como refrigerantes y para producir productos petroquímicos, como plásticos. El GNL es el gas natural licuado con facilidad para el transporte y almacenamiento. El metano tiene una densidad muy baja y, por lo tanto, es costoso de transportar y almacenar. Los gasoductos de alta presión se pueden usar para transportar gas en tierra o a través del mar en trayectos cortos. La licuefacción de gas natural hace que sea factible transportar gas económicamente a través de los océanos o en camiones a pequeños consumidores dispersos. Ocupa 600 veces menos espacio que el gas natural gaseoso, pero debe mantenerse a temperaturas inferiores a -160 grados centígrados y debe presurizarse. Una vez en la terminal receptora, el GNL se descarga y almacena antes de ser regasificado<sup>94</sup> y transportado por tubería a los usuarios finales. Los cuatro elementos principales de la cadena de valores de GNL son:

**Exploración y producción:** El GNL es un método de transporte de gas natural. El gas natural debe producirse primero y transportarse a una instalación de GNL para su procesamiento.

---

<sup>93</sup> El gas natural licuado es gas natural que ha sido procesado para ser transportado en forma líquida. Es la mejor alternativa para convertir en valor económico reservas remotas y aisladas donde no es económico llevar el gas al mercado directamente ya sea por gasoducto o por generación de electricidad.

<sup>94</sup> La regasificación es una de las fases de la cadena del gas natural, es decir, las etapas que recorre el gas natural desde su extracción en el yacimiento hasta que llega a los consumidores finales. Este proceso consiste en devolver el gas natural licuado a su estado natural.

**Licuefacción:** Este proceso convierte el gas en líquido al reducir la temperatura del gas a  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente.

**Transporte:** Los tanques especiales de aislamiento y autorefrigeración mantienen el gas natural en forma líquida mientras se transporta sobre cuerpos de agua masiva<sup>95</sup>.

**Almacenamiento y Regasificación:** Una vez que el GNL llega a su destino, se almacena o vuelve a regasificar a su estado gaseoso. El proceso de regasificación implica hacer pasar el GNL a través de una serie de vaporizadores que recalienta el combustible.

La demanda de GNL está aumentando en los mercados. Este aumento se debe principalmente al crecimiento de las economías asiáticas y está especialmente impulsado por el deseo de combustibles más limpios, debido también al cierre de plantas de energía nuclear. El mayor productor de GNL es Qatar, con una capacidad de licuefacción en 2013 de aproximadamente una cuarta parte de la producción mundial, Japón siempre ha sido el mayor importador de GNL y en 2013 consumió más del 37 % del comercio mundial.

Los proyectos de GNL requieren grandes cantidades de capital inicial por lo que los proveedores generalmente celebran acuerdos con compradores a largo plazo, de 15 a 20 años, antes de tomar la decisión de inversión. El proceso de extracción tiene problemas ambientales y sociales que se deben a los impactos ambientales locales de dicho desarrollo industrial a gran escala. Además, si bien

---

<sup>95</sup> Las masas de agua o cuerpos de agua son extensiones de agua que se encuentran por la superficie terrestre o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos), tanto en estado líquido como sólido en forma de hielo (glaciares, campos de hielo, casquete glaciar, capas de hielo, casquetes polares), tanto naturales como artificiales (embalses) y tanto de agua salada (océanos, mares) como dulce (lagos, ríos).

el gas natural es el combustible fósil de combustión más limpio, produce CO<sub>2</sub> cuando se quema.

A pesar de ser un gas muy seguro, se produjeron dos accidentes relacionados con el GNL, el primero en Cleveland<sup>96</sup>, Ohio, USA, en 1944 y el segundo en Skikda<sup>97</sup>, Argelia, en 2004. En general, la licuefacción, el transporte de GNL, el almacenamiento y la regeneración han demostrado ser extremadamente seguros.

El gas natural se envía a través de pequeñas tuberías llamadas líneas de recolección a plantas de procesamiento, que separan los diversos hidrocarburos y fluidos del gas natural puro, para producir lo que se conoce como gas natural seco antes de que pueda ser transportado. El procesamiento del GNL implica cuatro pasos principales para eliminar las diversas impurezas, que son: i) Eliminación de petróleo y condensados, ii) Eliminación del agua, iii) Separación de líquidos de gas natural y iv) Eliminación de azufre y dióxido de carbono. El gas se transporta luego a través de tuberías llamadas alimentadores a centros de distribución o se almacena.

El gas natural es usado principalmente para la calefacción doméstica o industrial y para generar electricidad. También se puede comprimir y utilizar para alimentar vehículos, en forma de Gas Natural Comprimido<sup>98</sup> (GNC) o como materia prima

---

<sup>96</sup> La explosión de gas natural de Cleveland East Ohio ocurrió en la tarde del viernes 20 de octubre de 1944. La fuga de gas resultante, la explosión y los incendios causaron la muerte de 130 personas y destruyeron un área de una milla cuadrada del lado este de Cleveland, Ohio.

<sup>97</sup> Construido en los años setenta sobre el modelo soviético, el complejo de Skikda producía un 23% del gas licuado que exporta Argelia y que, a su vez, representa el 45% de las ventas de gas del país. El accidente de GNL causó 27 muertos y 74 heridos. Provocó el aumento de los hidrocarburos.

<sup>98</sup> El gas natural comprimido, más conocido por la sigla GNC, es un combustible para uso en transporte, en vehículos que, por ser económico y ambientalmente más limpio, es considerado una alternativa sostenible para la sustitución de combustibles líquidos.

para fertilizantes, pilas de combustible de hidrógeno y para otros procesos químicos. Cuando se quema gas natural, hay menos emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes del aire en comparación con otros combustibles fósiles. De hecho, cuando se usa para producir electricidad, el gas natural emite aproximadamente la mitad de las emisiones de CO<sub>2</sub> que cuando se usa carbón para producir electricidad. A pesar de las menores emisiones, el gas natural sigue siendo una fuente de gases de efecto invernadero y, como todos los combustibles fósiles, es un recurso no renovable. Además, emite, metano, que también es un potente gas de efecto invernadero.

Durante la perforación, el gas natural puede escapar a la atmósfera y contaminar, por lo que las fugas de gas natural son peligrosas para las comunidades cercanas porque es un gas incoloro, inodoro y altamente tóxico y explosivo. La extracción del gas natural se puede realizar de varias maneras:

**Perforación direccional o inclinada:** Es la práctica de perforar pozos no verticales. Se puede dividir en cuatro grupos principales: i) perforación direccional de yacimientos petrolíferos, ii) perforación direccional de instalación de servicios públicos, iii) perforación direccional horizontal y iv) perforación direccional y superficie en costura, que corta horizontalmente un objetivo de pozo vertical para extraer metano del lecho de carbón. Los beneficios que presentan este tipo de perforación son:

- Perforación de un depósito donde el acceso vertical es difícil o imposible, como la perforación de un campo petrolífero debajo de una ciudad, debajo de un lago o debajo de una formación difícil de perforar.

- Puede permitir menos movimientos de la plataforma, menos perturbación en el área de la superficie, y hacer que sea más fácil y económico completar y producir los pozos. Este concepto se está aplicando a los pozos de tierra, lo que permite llegar a múltiples ubicaciones subsuperficiales desde una plataforma, reduciendo los costes.
- Poder perforar un "pozo de alivio" para aliviar la presión de un pozo que podría producir un "reventón". En este escenario, otro pozo podría ser perforado comenzando a una distancia segura del reventón, pero cruzando el pozo problemático. Luego, se bombea fluido pesado al pozo de alivio para suprimir la alta presión en el pozo original que causa el reventón.

Perforar lateralmente lejos de la ubicación requiere una planificación y un diseño cuidadosos. Los poseedores del registro manejan pozos a más de 10 km de distancia de la ubicación de la superficie a una profundidad vertical real de 1.600-2.600 m. Esta forma de perforación también puede reducir el coste ambiental y la cicatrización del paisaje. Anteriormente, grandes extensiones de paisaje tenían que ser eliminadas de la superficie. Esto ya no es necesario con la perforación direccional.

**Fracturación hidráulica o *fracking*:** La fracturación hidráulica, estimulación hidráulica o *fracking*, es una técnica para posibilitar o aumentar la extracción de gas y petróleo del subsuelo. La técnica consiste en la perforación de un pozo vertical u horizontal, entubado y cementado, a más de 2500 metros de profundidad, con el objetivo de generar uno o varios canales de elevada permeabilidad por medio de la inyección de agua a alta presión, de modo que, al superar la resistencia de la roca, abra una fractura que se supone controlada en

la sección deseada de la formación contenedora del hidrocarburo. Esta agua a presión es mezclada con algún material apuntalante y productos químicos, con el objetivo de ampliar las fracturas típicamente menores de 1 mm existentes en el sustrato rocoso que encierra el gas o el petróleo, favoreciendo su salida hacia la superficie. Se trata de una técnica utilizada para acceder al gas natural y al petróleo en formaciones geológicas estrechas. El proceso implica la perforación direccional horizontal de pozos, además del uso de agua, arena y productos químicos a altas presiones para fracturar rocas y liberar hidrocarburos. En el proceso de fracturación hidráulica se pueden diferenciar los siguientes cuatro pasos:

**Paso 1:** Un pozo se perfora verticalmente a la profundidad deseada, luego se gira en un ángulo y continúa horizontalmente durante varios cientos de metros en la formación que se cree que contiene el gas natural o el petróleo atrapado. Una mezcla de agua, arena y productos químicos se bombea al pozo a alta presión para crear fisuras en la roca de esquisto, lo que aumenta la permeabilidad y permite que los hidrocarburos escapen.

**Paso 2:** El gas natural o el petróleo se libera a través de las fisuras hacia la superficie.

**Paso 3:** Las aguas residuales, también llamadas aguas de reflujo o agua producida, vuelven a la superficie una vez que se completa el proceso de fracturación.

**Paso 4:** El gas natural o el petróleo se recogen en la superficie y se procesa, refina y envía al mercado.

El agua y la arena componen entre el 98 y el 99,5 % del fluido utilizado en la fracturación hidráulica. Además, se usan aditivos químicos, pero la formulación exacta varía según el pozo.

Debido a la disminución en los costes de *fracking* y los avances en el proceso de producción, ahora se puede acceder al petróleo y al gas natural que anteriormente eran irrecuperables. Esto ha llevado a un aumento en el suministro de petróleo y gas en el mercado mundial, y ha significado una mayor independencia energética para algunos países, como Estados Unidos. El desarrollo del *fracking* ha sido controvertido debido a las preocupaciones ambientales. El proceso generalmente requiere 11 millones de litros de agua por pozo, que supone hasta 100 veces más que los métodos tradicionales de extracción. Esto varía mucho según las propiedades geológicas del pozo. Otras preocupaciones ambientales incluyen la contaminación del agua subterránea, el agotamiento de agua dulce y la contaminación de la superficie en el proceso de perforación. También se vincula el *fracking* con la actividad sísmica.

Se estima que en 2010 esta técnica estuvo presente en, aproximadamente, el 60 % de los pozos de extracción en uso. Debido a que el aumento del precio de los combustibles fósiles ha hecho económicamente rentables estos métodos, se propagó su empleo en los últimos años, especialmente en los Estados Unidos, no sin polémica. Los partidarios de la fracturación hidráulica argumentan que la técnica no tiene mayores riesgos que cualquier otra tecnología incidiendo en los beneficios económicos por las vastas cantidades de hidrocarburos previamente inaccesibles, que esta nueva técnica permite extraer. La industria argumenta que aquellos casos excepcionales en los que se haya producido contaminación, ha

sido debido al uso de malas prácticas, como defectos en la construcción de los pozos o en el tratamiento de aguas residuales, pero no por la fracturación hidráulica en sí misma. Sus oponentes, en cambio, señalan el impacto medioambiental de esta técnica, que en su opinión incluye la contaminación de acuíferos, el elevado consumo de agua, la contaminación de la atmósfera y sonora, la migración de gases y productos químicos utilizados hacia la superficie, la contaminación en la superficie por vertidos y posibles efectos en la salud. También argumentan que se han producido casos de incremento en la actividad sísmica, la mayoría de las veces asociada a la inyección profunda de fluidos.

Por estas razones, la fracturación hidráulica ha sido objeto de atención internacional que, aun siendo fomentada en algunos países, otros han debido imponer moratorias a su uso o la han prohibido. Reino Unido levantó su moratoria en el año 2012 y en la actualidad apuesta de manera decidida por esta industria como modo de crear empleo, asegurar el suministro energético y avanzar hacia un sistema bajo en carbono.

**Sistema Geotérmico Mejorado (EGS):** Este proceso simple implica perforar un agujero en la roca de esquisto, que contiene gas natural. La broca luego continúa a través de la roca durante varios kilómetros. Posteriormente, cuando el orificio está lo suficientemente presurizado, se retira la broca y la roca se fractura hidráulicamente. Este proceso libera el gas, que luego fluye a la superficie. Hoy en día, los científicos geotérmicos están experimentando con una versión modificada de la técnica del gas natural para conseguir energía geotérmica, técnica conocida como Sistema Geotérmico Mejorado (EGS). En pocas palabras, esta técnica consiste en bombear agua fría por un pozo, que la roca



subterránea caliente a medida que el agua fluye. Después el agua regresa a la superficie a través de un segundo pozo. El resto del proceso es el mismo que el geotérmico convencional. Utilizando la tecnología disponible en la actualidad, los científicos del MIT<sup>99</sup> estimaron que la energía recuperable total de los recursos de EGS podría ser de hasta 12.200 Gigavatios.

La tecnología está trabajando para desarrollar métodos de energía renovable que reemplacen estos combustibles fósiles como principal fuente de energía.

## **7. ENERGÍAS RENOVABLES**

La energía renovable, llamada también energía alternativa, energía limpia o energía verde, son aquellas energías derivadas de fuentes renovables como el sol, de la que se obtiene energía solar, el viento, que se convierte en energía eólica, los ríos, de la que proviene la energía hidroeléctrica, el núcleo terrestre, de la que se extrae la energía geotérmica, los mares y océanos, obteniendo de ellos las energías marinas y la biomasa, transformada en biocombustibles, entre otras energías menos conocidas. Las fuentes de energía renovables representaron, aproximadamente, del 15 al 20 % del consumo de energía mundial a principios del siglo XXI. Hace aproximadamente un quinquenio, el 15 - 16 % de la electricidad total del mundo provino de las centrales hidráulicas, mientras que el 6 - 7 % se extrajo del resto de las energías renovables y, un 10 - 11 % fue generado por la energía nuclear, considerando algunos investigadores como una forma de energía renovable por sus bajas emisiones

---

<sup>99</sup> El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT por las iniciales de su nombre en inglés, Massachusetts Institute of Technology) es una universidad privada localizada en Cambridge, Massachusetts (Estados Unidos) considerada por numerosos rankings como una de las mejores y más prestigiosas universidades a nivel mundial.

de carbono, sin tener en cuenta los residuos generados y difíciles de tratar de la misma. El objetivo principal de la UE de cara al 2020 incluía planes para reducir las emisiones de dióxido de carbono en un 20 %, garantizando que, al menos, un 10 % de todo el consumo de combustible proviniese de biocombustibles.

Con el objetivo de permitir que la UE cumpla con sus compromisos del Acuerdo de París, las propuestas de energía limpia para todos los europeos pretenden ayudar al sector energético a ser más estable, más competitivo, más sostenible y adecuado en este siglo XXI, estimulando la inversión en la transición de energías fósiles a energías renovables. Los objetivos son: i) imponer la concepción de la eficiencia energética; ii) construir edificios inteligentes, con ecodiseños claros y concisos; iii) crear un marco normativo adecuado; y iv) ayudas financieras reflexivas y adecuadas, con el fin de ayudar a Europa a cumplir con los objetivos climáticos.

En el caso de la renovación de edificios, se deben crear las condiciones de mercado adecuadas para su renovación, con una visión a largo plazo hacia la descarbonización de los edificios. El sistema de etiquetado energético garantiza que los consumidores, previamente informados, puedan tomar decisiones a la hora de comprar aparatos que funcionan por medio de energía. En general, los consumidores que utilizan solo productos con eficiencia energética en sus hogares podrían reducir las facturas de energía hasta en un 20 % como resultado de reemplazar ventanas ineficientes o por el aislamiento de paredes y cerramientos. El ecodiseño y el etiquetado energético mejoran la eficiencia energética y de recursos de los productos y reducen las emisiones, los residuos y la dependencia energética. La eficiencia energética aborda, adicionalmente,

los desequilibrios sociales en el acceso a la energía; el rendimiento de los edificios tiene un gran impacto en la asequibilidad de la vivienda y en la pobreza energética, por lo que la mejora de la eficiencia en las viviendas permitiría a muchos hogares, entre 515.000 y 3,2 millones, de un total de 23,3 millones de hogares de la UE, a escapar de la pobreza energética. Además, la eficiencia energética tiene un impacto positivo en la salud y en los costes relacionados, ya que las instalaciones de calefacción modernas y eficientes queman menos combustible fósil y emiten menos contaminantes al aire, mejorando así su calidad y reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. Las viviendas con calefacción y ventilación adecuadas alivian los impactos negativos en la salud causados por la humedad, en particular entre grupos vulnerables como niños y ancianos y personas con enfermedades, sobre todo pulmonares.

La eficiencia energética es una de las formas más rentables de garantizar la seguridad energética, puesto que posee impactos beneficiosos en la seguridad del suministro, en particular, de gas, contribuyendo a la reducción de los gases de efecto invernadero, y junto con la implantación de energías renovables permitirían la transición energética.

La pobreza energética<sup>100</sup> es un desafío en toda la UE, y tiene sus raíces en los bajos ingresos y en las viviendas ineficientes energéticamente, por lo que se establece un nuevo enfoque para proteger a consumidores vulnerables, incluso mediante el apoyo a inversiones en eficiencia energética, de manera que se

---

<sup>100</sup> Pobreza energética, referida a un hogar familiar, es aquella situación en la que los ingresos son nulos o escasos para pagar la energía suficiente para la satisfacción de las necesidades domésticas. También se considera pobreza energética cuando se destinan por obligación una parte excesiva de los ingresos a pagar la factura energética de la vivienda.

aplique una parte de las medidas de eficiencia energética en los hogares afectados por pobreza energética o en viviendas sociales.

Alcanzar el liderazgo global en energías renovables, en forma de electricidad, calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria más limpias y transporte descarbonizado, aportarán energía limpia para todos los europeos. Se espera para el 2030, que la mitad de la generación de electricidad de la UE provenga de fuentes renovables y de cara al 2050 la electricidad de todo el mundo debería estar completamente libre de carbono merced a las energías renovables.

La Directiva sobre energía renovable, junto con las directivas propuestas sobre un nuevo diseño y gobernanza del mercado eléctrico, establecerá un marco regulatorio que conduzca a la seguridad del inversor y permita un campo de juego nivelado para todas las tecnologías sin poner en peligro los objetivos de clima y energía. Para adaptarse mejor a la creciente participación de las energías renovables, los mercados mayoristas tienen que desarrollarse más y, en particular, proporcionar reglas adecuadas que permitan que el comercio a corto plazo refleje las necesidades de las generaciones venideras.

Tres de cada cuatro hogares europeos se calientan o enfrían con combustibles fósiles. Esto corresponde al 68 % de la importación de gas de la UE, y es signo de un lento crecimiento de la energía limpia en un sector que cubre la mitad de las necesidades energéticas de la UE. Para hacer frente a estos desafíos, la Directiva sobre energías renovables incluye una serie de opciones para que los Estados Miembros aumenten su cuota de energía renovable en el suministro de calefacción y refrigeración, en un 1 % por año hasta el año 2030.

Existe un compromiso de garantía de alto ahorro de gases de efecto invernadero en comparación con los combustibles fósiles, de forma que se produzca de una manera que no cause la deforestación o la degradación de los hábitats o pérdida de biodiversidad y que se convierta en energía con tecnologías de calor y energía combinadas de alta eficiencia. Se incluyen los siguientes cuatro nuevos requisitos para el período posterior a 2020:

- Uso de biocombustibles avanzados, que emitirán al menos un 70% menos de emisiones de GEI que los combustibles fósiles.
- Un nuevo criterio de sostenibilidad sobre biomasa forestal utilizada en la energía.
- Un requisito de ahorro de 80% de GEI para el calor y la energía generados a partir de biomasa y biogás.
- Un requisito de que la electricidad a partir de biomasa se produzca utilizando una tecnología de calor y energía combinada altamente eficiente.

Las nuevas tecnologías como las redes inteligentes, los hogares inteligentes, los paneles solares de techo cada vez más competitivos y las soluciones de almacenamiento de baterías hacen posible que los consumidores de energía se conviertan en actores activos en el mercado, permitiendo a los consumidores consumir energía renovable sin restricciones indebidas y garantizar que se les remunere por la energía que venden a la red. Dicha reducción de costes está permitiendo a los consumidores producir cada vez más su propia energía renovable. Los consumidores se beneficiarán de los siguientes derechos: i) Producir su propia electricidad y devolver cualquier exceso a la red, ii) Organizarse en comunidades de energía renovable para generar, consumir,

almacenar y vender energía renovable, iii) Dejar de comprar calor/frío de un sistema de calefacción /refrigeración de distrito si ellos mismos pueden lograr un rendimiento energético significativamente mejor.

Junto con la eficiencia energética, el Plan de comercio de emisiones de la UE (2008) y otras políticas de mitigación del cambio climático, el impulso a las energías renovables podría ayudar a la UE a reducir la intensidad de carbono hasta un tercio entre 2020 y 2030.

La energía es un bien esencial para la participación plena en la sociedad moderna, por lo que la transición hacia una energía limpia también debe ser justa para aquellos sectores, regiones o partes vulnerables de la sociedad afectadas por la transición energética. Los consumidores tendrán acceso a una información confiable y clara sobre las mejores ofertas en el mercado, utilizando herramientas de comparación de precios certificadas en línea que les ayudarán a tomar decisiones, podrán cambiar de proveedor más fácilmente, gracias a la propuesta de restringir el uso de las tarifas de cambio y las nuevas tecnologías les permitirán consumir más cuando la energía sea barata y reducir el consumo cuando los precios sean altos, lo que significa que los consumidores tendrán un mejor control de sus gastos en servicios de energía. Además, los consumidores o las comunidades de consumidores tendrán derecho a producir, almacenar o vender su electricidad, lo que les permitirá aprovechar los costes decrecientes de los paneles solares en los techos y otras unidades de generación a pequeña escala para ayudar a reducir las facturas de energía. De este modo, los consumidores pueden beneficiarse individualmente de la Unión de la Energía. Las nuevas reglas garantizarán un alto nivel de protección al consumidor y una

buena gestión de los datos del consumidor. Además, las nuevas reglas incluyen medidas para garantizar que los consumidores estén completamente informados de las ventajas y desventajas de contratar estos nuevos servicios.

El paquete de eficiencia energética proporciona aclaraciones sobre las disposiciones relativas a la medición y facturación de la energía térmica, especialmente en relación con la calefacción y refrigeración de distrito y el suministro central de calefacción, refrigeración y agua caliente. Garantiza el acceso a información de consumo más clara y comentarios más frecuentes para los consumidores. Los nuevos medidores serán legibles de forma remota para 2020, y los medidores existentes se adaptarán para ser legibles de manera remota antes de 2027. Se crearán las condiciones de mercado adecuadas para aumentar la tasa y el nivel de renovación de los edificios y se garantizará un marco estable con una perspectiva y una visión a largo plazo hacia la descarbonización de edificios, de cara al 2050.

## **8. ENERGÍAS ALTERNATIVAS**

Se denomina energía alternativa, a aquellas energías sustitutivas de las energías fósiles. Para algunos autores el concepto equivale al de energía renovable, mientras que para otros engloban a todas las fuentes de energía que no implican la quema de combustibles fósiles, por lo que, además de las energías renovables, está incluida la energía nuclear. Las energías alternativas se dividen en dos grandes grupos: i) fuentes de energía renovables y ii) energía nuclear.

No todos coinciden en clasificar la energía nuclear dentro de las energías alternativas, pues al igual que los combustibles fósiles, se trata de un recurso

finito, y además presenta problemas medioambientales importantes, como la gestión de los residuos radiactivos o la posibilidad de un accidente nuclear, por lo que está sujeta a ciertas reticencias a la hora de ser utilizada, a pesar de las reducidas emisiones de CO<sub>2</sub> de esta tecnología y la insuficiente capacidad de sustitución de las energías renovables a los combustibles fósiles.

Recursos de energía renovable existen en amplias áreas geográficas, en contraste con otras fuentes de energía, que se concentran en un número limitado de países. Los tipos de energías alternativas son:

**Energía Conservativa:** Consiste en el aprovechamiento de la energía de manera natural, es decir, utilizando buenos aislamientos de manera que sea necesaria una menor producción de energía.

**Energía Solar:** Consiste en la conversión de la luz solar en electricidad y/o calor, ya sea directamente usando energía fotovoltaica (PV) o indirectamente usando energía solar concentrada (CSP) para la generación eléctrica y usando energía térmica para la generación de calor. Los sistemas de energía solar concentrada usan lentes o espejos y sistemas de seguimiento para enfocar una gran área de luz solar en un radio pequeño. La energía fotovoltaica convierte la luz en una corriente eléctrica utilizando el efecto fotovoltaico, basado en el efecto fotoeléctrico. Desde una perspectiva ambiental, la energía solar es una de las mejores opciones. Un sistema fotovoltaico de 1,5 kW hora evita emitir a la atmósfera más de 50.000 kg de dióxido de carbono, el principal gas de efecto invernadero. El mismo sistema solar también evitará la necesidad de quemar unos 27.000 kg de carbón. Con el uso de la energía solar, no existe la posibilidad de que ocurra lluvia ácida, ni smog, ni contaminación atmosférica.



**Energía Hidroeléctrica o hidráulica:** Consiste en que el agua que fluye en un río crea energía que puede ser capturada y convertida en electricidad. Se suele utilizar una presa en un río para almacenar agua en un embalse. El agua liberada fluye a través de una turbina, girándola y activando un generador para producir electricidad. Algunas centrales hidroeléctricas solo usan un pequeño canal para canalizar el agua del río a través de una turbina. Otro tipo de planta de energía hidroeléctrica, la llamada planta de almacenamiento por bombeo puede también almacenar energía.

**Energía Eólica:** Consiste en la utilización del flujo de aire a través de turbinas eólicas para alimentar mecánicamente los generadores de electricidad. Este tipo de energía es abundante, renovable, ampliamente distribuida, limpia, no produce emisiones de gases de efecto invernadero durante la operación y utiliza poco terreno.

**Energía Geotérmica:** Consiste en el uso del calor contenido dentro de la superficie terrestre que fluye hacia la superficie, este calor se manifiesta a través de volcanes, géiseres y aguas termales. El agua caliente y el vapor naturales pueden aprovecharse, mediante tecnologías de conversión de energía, para generar electricidad o para producir agua caliente para uso directo.

**Energía de la Biomasa y Biofuel:** La biomasa consiste en materia orgánica que ha almacenado energía a través del proceso de la fotosíntesis en forma de madera, vegetación seca, residuos de cultivos y plantas acuáticas. La biomasa se ha convertido en una de las fuentes de energía renovables más utilizadas en las últimas dos décadas, debido a su bajo costo y simplicidad de uso. Por otro lado, el biofuel es un combustible que se produce a través de procesos biológicos

actuales, como la agricultura y la digestión anaeróbica, en lugar de ser un combustible producido por procesos geológicos como los involucrados en la formación de combustibles fósiles, como el carbón o el petróleo, a partir de materia biológica prehistórica.

**Energías Marinas:** Conocida como energía oceánica, o energía hidroquinética, se refiere a la energía transportada por las olas, las mareas, la salinidad y las diferencias de temperatura del océano. El movimiento del agua en los océanos del mundo crea una gran cantidad de energía cinética, o energía en movimiento. Parte de esta energía se puede aprovechar para la generación de electricidad. El término energía marina abarca tanto la potencia de onda, es decir, la potencia de las ondas superficiales, como la potencia de marea, obtenida de la energía cinética de grandes masas de agua en movimiento. La energía oceánica tiene el potencial de proporcionar una cantidad sustancial de nueva energía renovable en todo el mundo. Los tipos de energías marinas son: i) energía de las corrientes marinas; ii) energía mareomotriz; iii) energía undimotriz; iv) energía osmótica; y v) energía térmica oceánica.

**Energía Nuclear o atómica:** Consiste en el uso de reacciones nucleares que liberan energía para generar calor, que posteriormente se utiliza en turbinas de vapor para producir electricidad. La energía nuclear se puede obtener a partir de reacciones de fisión, desintegración y fusión nuclear. Actualmente, la gran mayoría de la electricidad procedente de la energía nuclear se produce por fisión nuclear de uranio y plutonio. Los procesos de desintegración nuclear se utilizan en aplicaciones específicas como generadores termoeléctricos de radioisótopos. La generación de electricidad a partir de la energía de fusión sigue siendo el

centro de la investigación internacional sin aplicaciones comerciales. El gran problema estriba en el tratamiento de los residuos radiactivos.

**Otras Energías Alternativas:** Existen otros tipos de energías como la procedente de las pilas de combustible, entre la que se encuentra la pila de hidrógeno, la energía del hielo, y otros.

En general, todas estas energías tienen sus ventajas e inconvenientes, y se podrá utilizar cualquiera de ellas, según las características y necesidades de los consumidores. Son muy respetuosas con el medio ambiente y rentables en comparación con lo que ofrecen y con las fuentes de energía de combustibles tradicionales usados más comúnmente en los hogares; la energía nuclear resulta muy atractiva para la obtención de una energía barata y segura, aunque sería necesaria una investigación más exhaustiva en lo referente a los residuos radiactivos. Por último, existen otros tipos de energías alternativas menos conocidas como la energía del hielo, la energía procedente de las profundidades marinas o la energía del espacio, entre otras, las cuales están en vías de investigación.

## **9. ENERGÍA SOLAR**

La Energía Solar es la energía que se obtiene a partir de la radiación del sol mediante captación o absorción de la luz y del calor, utilizando para ello captadores o paneles de material óptico o de otro tipo, dependiendo de su utilización, bien para generar energía térmica, eléctrica o mecánica. La energía solar obtenida directamente de los rayos solares se denomina radiación solar, que se define como la cantidad de energía solar que incide sobre una superficie

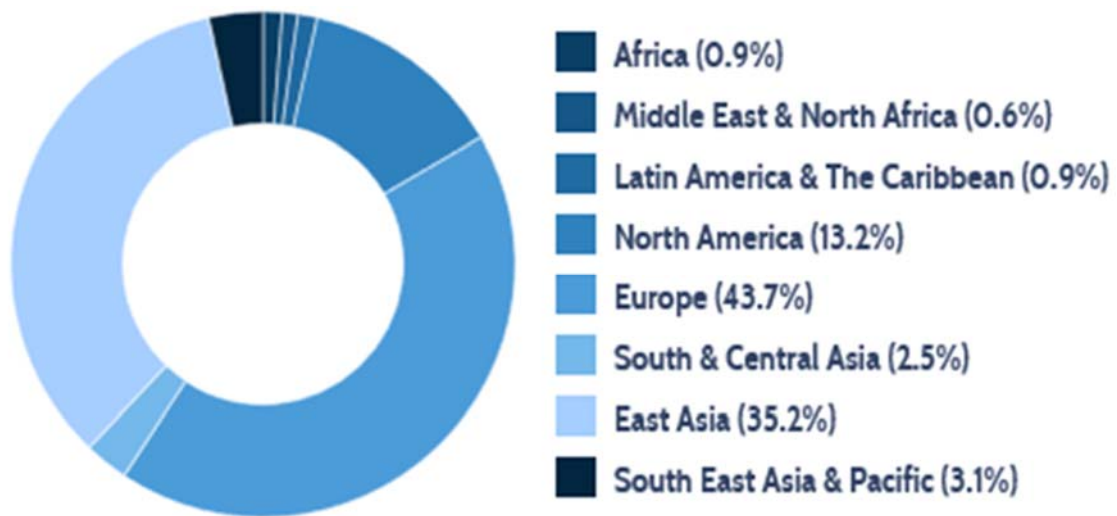
por unidad de área y por unidad de tiempo y se denomina irradiación solar o insolación. Es la energía renovable por excelencia, ya que es una energía renovable directa, limpia e inagotable. A partir de ésta se generan el resto de las energías renovables. Las tecnologías solares pueden aprovechar esta energía para una variedad de usos, entre los que se encuentran: i) la generación de electricidad; ii) el suministro de luz; iii) la calefacción y refrigeración; y iv) el agua caliente sanitaria. La energía solar es útil tanto a nivel doméstico como a nivel comercial o industrial, siendo posible utilizarla para desalinización, destilación y desintoxicación de los suministros de agua, de manera cada vez más frecuente. Las formas de tecnología de la energía solar son:

- Energía fotovoltaica.
- Energía térmica para climatización, es decir, calefacción y refrigeración, y agua caliente sanitaria.
- Energía solar concentrada.
- Energía solar pasiva.

Los tres primeros son sistemas solares activos, es decir, utilizan dispositivos mecánicos o eléctricos que convierten el calor o la luz del sol en otra forma de energía utilizable. Sin embargo, los edificios solares pasivos están diseñados y orientados para recolectar, almacenar y distribuir la energía térmica de la luz solar con el fin de mantener la comodidad de sus ocupantes sin el uso de piezas móviles o componentes electrónicos. Por ello, la energía solar es una tecnología de energía flexible, que puede construirse como generación distribuida, ubicada dentro o cerca del punto de uso, o como planta central de energía solar similar a las centrales eléctricas tradicionales, Bradford (2006) , desempeñando un papel

importante en la disminución de las emisiones de carbono y garantizando una sostenibilidad energética.

El promedio global de radiación solar, por metro cuadrado (m<sup>2</sup>) y por año, puede producir la misma cantidad de energía que un barril de petróleo, 200 kg de carbón o 140 metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de gas natural.



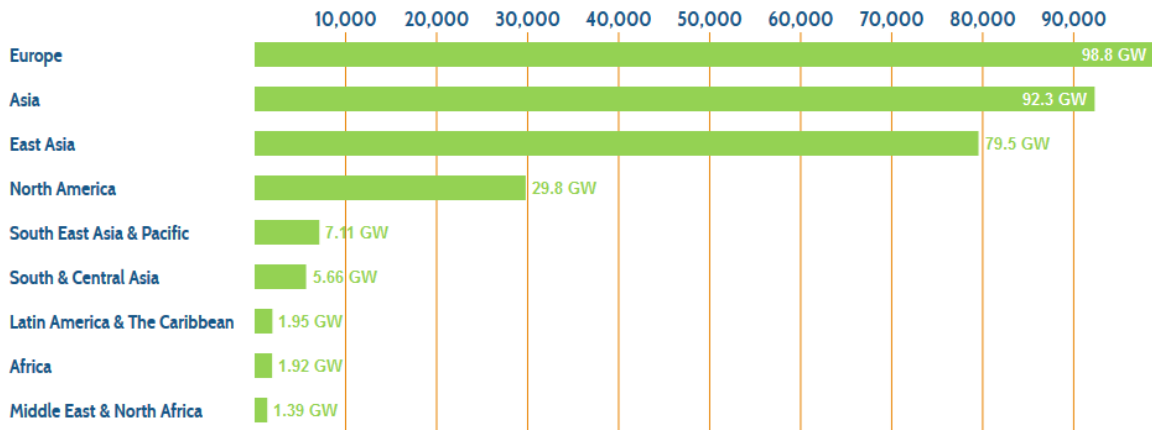
**Figura 28: Capacidad solar instalada por región.**

Fuente: *World Energy Council* (2015)

Según el Consejo Mundial de Energía<sup>101</sup> la capacidad instalada global de electricidad con energía solar experimentó un crecimiento exponencial, alcanzando alrededor de 227 GW a finales de 2015, año en que se produjo el 1% de toda la electricidad utilizada a nivel mundial. Durante la última década, Alemania ha liderado las instalaciones de capacidad fotovoltaica, seguido por China, Japón, Italia y Estados Unidos (ver figuras 28 y 29).

<sup>101</sup> El Consejo Mundial de Energía, o World Energy Council, es un foro global para ideas innovadoras y compromisos tangibles con sede en Londres, Reino Unido. Su misión es la de promover el suministro y la utilización sostenible de la energía en beneficio de todos los pueblos.

La energía solar concentrada<sup>102</sup>, CSP, se ha mantenido con una capacidad muy limitada a 4 GW, en la actualidad.



**Figura 29: Diagrama de barras de la capacidad solar instalada por región.**

Fuente: *World Energy Council (2015)*

Se utilizan dos tipos de tecnologías solares, dependiendo de si su uso es para la generación eléctrica como la energía solar fotovoltaica que utiliza tecnología solar con colectores fotovoltaicos, o para la generación de calor como la energía solar térmica que utiliza tecnología solar con colectores térmicos.

### **Energía Solar Fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica genera electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos. Los colectores o paneles solares fotovoltaicos están compuestos por células fotovoltaicas, que son dispositivos semiconductores muy sensibles a la luz, que en su mayoría están elaborados a base de silicio como componente principal. Estos paneles absorben radiación solar directa y difusa y la convierten directamente en electricidad, sin el uso de ningún motor térmico,

<sup>102</sup> La energía solar concentrada, CSP, es una tecnología que utiliza espejos para enfocar la luz solar en un pequeño tubo o punto, que a su vez convierte la luz en calor, alimentando una máquina de vapor conectada a un generador

por lo que en días nublados pueden generar energía eléctrica, aunque la eficiencia sea menor. La energía luminosa es transformada en energía eléctrica, en corriente continua, almacenándose en el acumulador, de forma que pueda ser utilizada posteriormente. A partir de aquí se pueden realizar dos acciones: i) Emplear la corriente continua directamente para su uso en aparatos eléctricos, o ii) Utilizar un inversor para transformar la corriente continua en corriente alterna, alimentando los aparatos eléctricos convencionales.

Es muy necesario un regulador de carga para evitar las sobretensiones en el acumulador, ya que el daño puede ser irreversible.

Si la producción de energía eléctrica se realiza a gran escala, se utiliza una superficie donde se distribuyen una serie de paneles solares fotovoltaicos, recibiendo el nombre de huerto solar.

En la actualidad, las tecnologías solares han evolucionado mucho, mejorando la eficiencia y la rentabilidad de las células solares fotovoltaicas. La célula solar promedio tiene, aproximadamente, solo un 15% de eficiencia, lo que significa que casi el 85% de la luz solar que incide en el panel no se convierte en electricidad. Por ello, los científicos han estado experimentando constantemente con nuevas tecnologías para impulsar esta captura y conversión de la luz

El almacenaje de la energía producida por los sistemas solares fotovoltaicos es otra cuestión importante en el análisis. La electricidad una vez que se genera mediante un sistema fotovoltaico solar o cualquier tipo de fuente de combustible, entra en la red y debe usarse de inmediato o perderse, debido a que la mayoría de los sistemas fotovoltaicos solares solo están cumpliendo con las demandas

eléctricas durante una parte del día, perdiéndose la electricidad no utilizada. Para ello, existe una cantidad de baterías en el mercado que pueden almacenar esta energía, pero incluso las de alta tecnología son bastante ineficientes, caras y tienen una vida útil corta, por lo que no son las opciones adecuadas para las empresas de servicios públicos y los consumidores.

### **Energía Solar Térmica**

Los sistemas solares térmicos utilizan colectores o paneles solares térmicos, los cuales aprovechan la energía del sol mediante elementos mecánicos, es decir, son sistemas activos, que generan calor que puede ser empleado para la obtención de agua caliente sanitaria, climatización de piscinas, calefacción doméstica, refrigeración por absorción y/o generación de energía eléctrica, pero las grandes plantas de recolección solar también se pueden usar para la producción de calor industrial o para la generación de electricidad, Junta de Castilla y León (2002). Existen dos tipos de energía solar térmica: i) energía solar térmica de baja temperatura y ii) energía solar termoeléctrica o termosolar.

**Energía solar térmica de baja temperatura:** Son sistemas de captación solar directa. Se emplean por regla general colectores de placa plana y colectores de tubos de vacío, estos últimos de mayor rendimiento. Su funcionamiento consiste en absorber la luz del sol y transformarla en calor, utilizando como fluido caloportador el agua. Se llaman de baja temperatura debido a que el fluido utilizado tiene una temperatura inferior a los 100 ° C. Se utiliza para la obtención de ACS, calentamiento de piscinas, calefacción, calefacción en invernaderos, piscifactorías, parcelación de agua para procesos industriales o para frío solar,



utilizándose en viviendas y edificaciones, en instalaciones industriales, agropecuarias y en refrigeración solar.

Los subsistemas requeridos para la instalación solar térmica de baja temperatura para agua caliente sanitaria ACS, calefacción y/o climatización son:

- **Subsistema de captación solar:** Consistente en paneles solares y sus componentes.
- **Subsistema de acumulación:** Consistente en un depósito donde se acumula el agua caliente obtenida a través de un subsistema de captación.
- **Subsistema de intercambio y circulación:** Consistente en los elementos de unión y transporte entre el subsistema de captación solar y el de acumulación.
- **Subsistema eléctrico y de control:** Son elementos eléctricos y electrónicos necesarios para la regulación y control de manera automatizada.
- **Subsistema auxiliar:** Es el sistema de apoyo que puede ser convencional o renovable para el caso de fallo del sistema solar y que ha de estar unido al circuito de consumo.

Adicionalmente, cuando se utilice para refrigeración hay que añadir a los subsistemas anteriores los siguientes:

- **Equipo de absorción:** Consistente en una máquina de absorción para el enfriamiento del agua procedente de los paneles solares.
- **Subsistema de disipación:** Se trata de un depósito de agua procedente de un pozo, piscina, río o cualquier zona donde haya agua corriente o de donde se pueda extraer agua.

**Energía solar termoeléctrica o termosolar:** Existen dos tipos de sistemas de captación solar: i) sistemas de bajo índice de concentración o de media temperatura y ii) sistemas de alto índice de concentración o de alta temperatura.

- **Energía solar termoeléctrica de media temperatura:** Se generan en centrales con colectores cilindroparábolicos<sup>103</sup> o colectores de espejo, que reflejan la radiación en un punto o línea sobre un tubo receptor que contiene el absorbente y el fluido caloportador. El fluido es calentado a una temperatura entre 125 y 450 °C, generando directamente vapor a alta presión en los mismos tubos receptores. Para temperaturas inferiores a 200 °C el fluido utilizado es el agua o el etilenglicol y para temperaturas superiores a 200 °C se utilizan aceites sintéticos. El vapor alimenta una turbina convencional que genera electricidad. El almacenamiento térmico se desarrolla en forma de calor latente. Este tipo de colectores exigen estar dotados de un sistema de seguimiento que les permita permanecer constantemente situados en la mejor posición para recibir los rayos del sol a lo largo del día. Suelen utilizar un sensor óptico o un reloj, combinado con un servomotor que hace girar al colector siguiendo la dirección del sol. Solo se aprovecha la radiación directa del sol, no captando la radiación solar difusa, por lo que no conviene su instalación en esos casos. Solo resultan eficientes en zonas climáticas muy soleadas, llegando a conseguir potencias unitarias de entre 30 y 80 megavatios (MW).

---

<sup>103</sup> Los colectores cilíndricoparábolicos son un tipo de panel solar que se utiliza en instalaciones de energía solar térmica. Utilizan cilindros parabólicos para concentrar toda la radiación solar en un punto.

- **Energía solar termoeléctrica de alta temperatura:** El principio de funcionamiento es similar al de una central eléctrica convencional. Los rayos solares calientan a alta temperatura un primer fluido caloportador, en el circuito primario, que puede ser, según la instalación, agua, sodio, sales fundidas, aire u otro, transmitiendo el calor a un circuito secundario por el que circula un segundo fluido, que en algunos casos puede ser el mismo fluido caloportador, el cual, por acción del calor se transforma en vapor que pone en marcha una turbina acoplada a un alternador. Estas instalaciones llevan incorporado un dispositivo de almacenamiento de energía y son de dos tipos: las centrales de torre central formadas por un campo de helióstatos<sup>104</sup>, que son un conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes normalmente en forma de silla de montar, reflejando la radiación sobre un receptor o intercambiador de calor situado en la parte superior de una torre central. Se alcanzan temperaturas en torno a 600 °C, consiguiéndose potencias unitarias de entre 10 y 200 MW, y los generadores solares de disco-parabólico consistentes en un conjunto de espejos que forman una figura disco-parabólica en cuyo foco se dispone el receptor solar en el que se calienta el fluido. El fluido es calentado hasta 750 °C y para generar electricidad. Actualmente se utilizan motores Stirling o turbinas Brayton y consiguen potencias unitarias de entre 5 y 25 kilovatios (kW).

Científicos de la Universidad Tecnológica Chalmers, ubicada de Suecia, anunciaron la creación de una molécula capaz de almacenar energía solar

---

<sup>104</sup> Un heliostato o helióstato es un conjunto de espejos que se mueven sobre dos ejes normalmente en montura altazimutal (altura y azimut), lo que permite, con los movimientos apropiados, mantener el reflejo de los rayos solares que inciden sobre él en todo momento en un punto o pequeña superficie, deshaciendo en el rayo reflejado el movimiento diurno terrestre.

durante 18 años. La molécula fue creada a partir de átomos de carbono, hidrógeno y nitrógeno, y su característica principal es que reacciona a la luz solar transformándose en un isómero<sup>105</sup> rico en energía, capaz de conservarse en estado líquido y cuya capacidad energética almacenada puede utilizarse posteriormente. El sistema completo se denomina almacenamiento de energía solar térmica molecular<sup>106</sup> (MOST). De esta manera, la luz solar es captada a través de un colector solar térmico situado en los tejados de los edificios. Esencialmente, se trata de un reflector cóncavo con una tubería en el centro, que rastrea la trayectoria del Sol como una antena parabólica, la cual recoge la energía solar conduciéndola hacia un volumen líquido. Posteriormente este líquido se almacena en otro espacio con una temperatura diferente, con el fin de conservar la energía captada. Para usar dicha energía, basta con agregar al líquido un catalizador, con el cual se consigue una reacción que logre que la temperatura aumente. En pruebas realizadas se ha conseguido llevar la temperatura del líquido almacenado hasta los 63 °C, aunque se espera liberar la energía suficiente como para alcanzar una temperatura de 110 °C. Los inventores de este mecanismo están afinando el sistema aún más, de modo que se pueda aprovechar la mayor cantidad posible de energía solar captada y que, además, no emita ningún tipo de emisiones contaminantes.

Entre las ventajas del uso de la energía solar se encuentran: i) la fuente de energía es inagotable; ii) no hay expulsión de emisiones contaminantes a la atmósfera (monóxido de carbono CO, dióxido de carbono CO<sub>2</sub>, óxidos de

---

<sup>105</sup> Los isómeros son sustancias que forman parte de un compuesto químico que, a pesar de que tienen una fórmula molecular idéntica, tienen una gran variedad de diferencias en cuanto a la estructura y a la configuración espacial. Pueden también presentar diferencias en sus propiedades químicas y físicas.

<sup>106</sup> El sistema MOST se basa en un sistema molecular que puede capturar energía solar a temperatura ambiente y almacenar la energía durante períodos de tiempo muy largos.

nitrógeno NO<sub>x</sub>, óxidos de azufre SO<sub>x</sub>, metano CH<sub>4</sub> y ozono O<sub>3</sub>); iii) no hay producción de gases de efecto invernadero, ni de lluvia ácida, considerándose una energía limpia o energía verde; iv) se reduce en el gasto de combustible, contribuyendo a la no dependencia de los países productores de combustibles fósiles; v) no hay generación de residuos; vi) no hay generación de ruidos; vii) se trata de un sistema idóneo para zonas aisladas; viii) la instalación es simple; ix) el sistema es de fácil mantenimiento; x) es independiente de la red; xi) el coste de la inversión es alto al principio, disminuyendo a medida que la tecnología va avanzando, ya que los materiales empleados van siendo más baratos; xii) hoy por hoy hay subvenciones a nivel europeo o estatales; xiii) los paneles, según tipo y calidad, tienen una vida larga de entre 25 y 30 años; xiv) existe una amplia gama de tipos de paneles, desde paneles rígidos a paneles adaptables a los diferentes tipos de superficie y formas; xv) en caso de excedente de energía eléctrica, se puede vender el sobrante a compañías eléctricas; xvi) se puede aumentar la potencia eléctrica simplemente añadiendo más paneles fotovoltaicos; y xvii) tiene diversas formas de aplicación como electricidad, alumbrado, suministro de agua, bombeo de agua para riego, agua caliente sanitaria, climatización (calefacción y refrigeración), desalinización de aguas, telecomunicaciones, señalización, telecontrol por vía satélite, entre otros.

También tiene algunos inconvenientes como: i) alta inversión inicial; ii) necesidad de un sistema auxiliar de energía que cubra al menos los servicios mínimos; y iii) sólo funciona de día, aunque la electricidad es acumulable.

La energía solar tal vez sea la fuente más prometedora de energía limpia y renovable, disponible en todas partes, en cualquier momento del día, y con una duración infinita. Sin embargo, las tecnologías disponibles hoy en día para

convertir la energía solar en electricidad utilizan únicamente un porcentaje pequeño de la luz solar que llega a la Tierra. En este contexto, científicos de todo el mundo investigan la forma de desarrollar sistemas de captación y almacenamiento solar más eficientes.

### **Zonas de energía solar fotovoltaica y térmica en España**

España según la irradiación solar incidente media diaria se divide en 5 zonas que comprenden desde la Zona I (radiación solar global menor de 3,80 kilovatio hora por metro cuadrado (kWh/m<sup>2</sup>)) hasta la Zona V (radiación solar global mayor de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>). Tanto para la energía solar fotovoltaica como para la energía solar térmica, se consideran zonas más apropiadas del territorio español la Zona IV (radiación solar global media entre 4,60 y 5,00 kWh/m<sup>2</sup>) y la Zona V (radiación solar global mayor de 5,00 kWh/m<sup>2</sup>).

Las Comunidades Autónomas donde la obtención de energía solar fotovoltaica y solar térmica es alta, por orden de importancia son:

**Extremadura (Zona V: Cáceres y Badajoz).**

**Andalucía (Zona V: Huelva, Sevilla, Almería y Córdoba; Zona IV: Cádiz, Málaga, Jaén y Granada).**

**Islas Canarias (Zona V: Tenerife, Gran Canaria, Fuerteventura, Lanzarote, Gomera, Hierro y La Palma).**

**Comunidad Valencia (Zona V: Alicante; Zona IV: Castellón y Valencia).**

**Castilla-La Mancha (Zona V: Albacete; Zona IV: Toledo, Cuenca, Ciudad Real y Guadalajara).**

**Ciudad Autónoma de Ceuta (Zona V: Ceuta).**

**Ciudad Autónoma de Melilla (Zona V: Melilla).**

**Región de Murcia (Zona IV: Murcia).**

**Illes Balears (Zona IV: Mallorca, Menoría, Ibiza, Formentera y Cabrera).**

**Comunidad Autónoma de Madrid (Zona IV: Madrid).**

Castilla y León (Zona IV: Ávila y Salamanca).

Aragón (Zona IV: Zaragoza).

Cataluña (Zona IV: Tarragona).

Las Comunidades Autónomas donde la aplicación de la energía solar está más desarrollada, por orden de importancia, son: **Castilla – La Mancha, Andalucía, Extremadura, Castilla y León, Murcia, Comunidad Valenciana, Cataluña, Aragón y Navarra.**

Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de la energía solar y donde su aplicación es poca o nula, ordenados de nula aplicación a poca aplicación, son las Ciudades Autónomas de Ceuta y Melilla, Madrid, Baleares y Canarias. En la figura 30, se muestra las zonas con mayor irradiación solar en España, siendo H la irradiación solar.

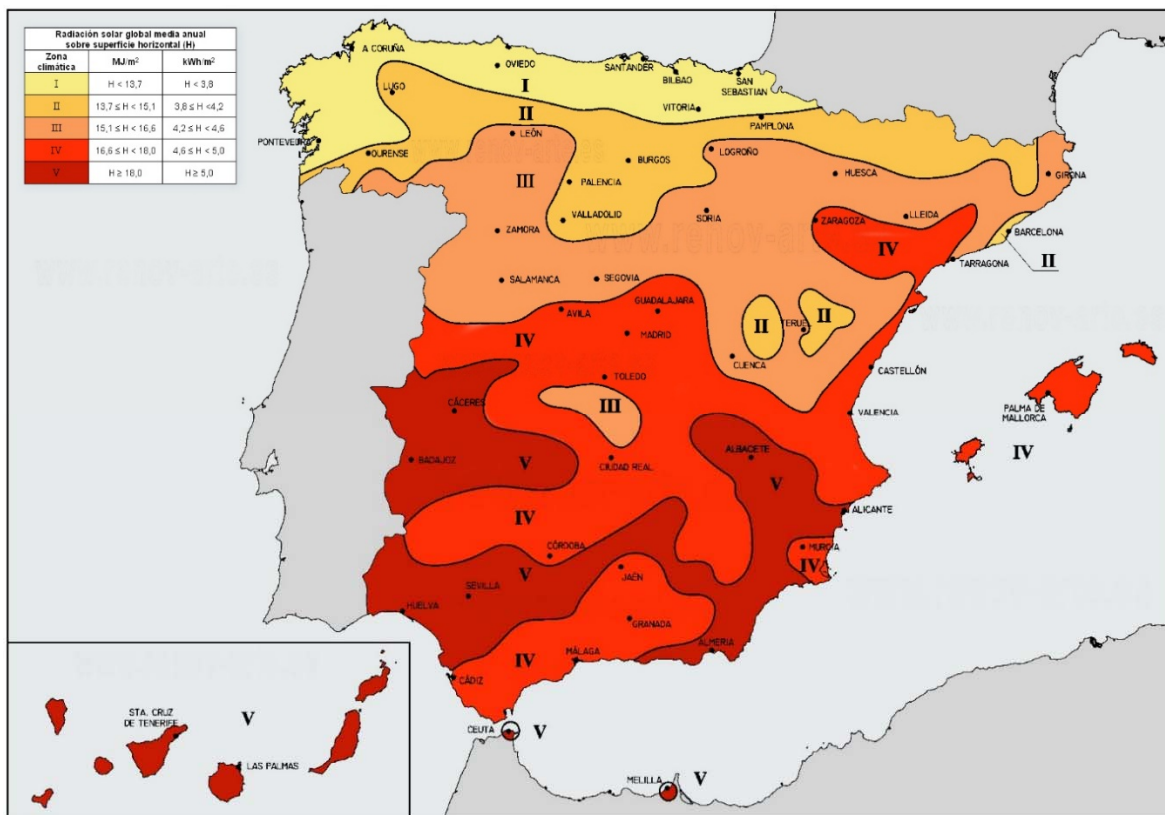


Figura 30: Mapa solar español.

Fuente: IDAE.

En el mapa solar las zonas de color rojo intenso son las de mayor potencial solar y las zonas de color amarillo son las de menor potencial solar.

## **10. ENERGÍA EÓLICA**

El viento es un fenómeno causado por el calentamiento desigual de la atmósfera por el sol, debido a las irregularidades de la superficie terrestre y a la rotación de la tierra. Los patrones de flujo del viento son modificados por el terreno, los cuerpos de agua y la cubierta vegetal. La energía eólica se considera una energía renovable.

Se pueden distinguir dos tipos de energía eólica, según se realice su instalación en tierra o en mar: la energía eólica terrestre-*on shore* y la energía eólica marina-*offshore*.

### **Energía Eólica Terrestre – Onshore**

El flujo de viento, o energía de movimiento, cuando es recogido por los aerogeneradores modernos, puede utilizarse para generar electricidad. Debido a las corrientes de aire de los vientos atmosféricos se genera energía cinética, aproximadamente en un 2% de la energía solar, que se transforma mediante una serie de procedimientos en energía mecánica, que puede utilizarse para tareas específicas, como moler grano, bombear agua o mediante un generador de turbina de viento se puede convertir en electricidad para alimentar edificios y viviendas.

Un aerogenerador es un aparato en el cuál a través del giro de un rotor inducido por la energía cinética generada por el viento, alimentan un generador eléctrico



que suministra corriente eléctrica. Existen tres tipos de generadores: i) según el tipo de eje de rotación; ii) según la orientación respecto del viento; y iii) según el número de palas o aspas.

**Según el tipo de eje de rotación:** Existen dos tipos:

- **Aerogeneradores de eje horizontal:** Son los más utilizados. Su eje de rotación se encuentra en paralelo al suelo y a la dirección del viento. Son más costosos que los aerogeneradores de eje vertical y sus aspas no soportan grandes velocidades, aunque son más eficaces.
- **Aerogeneradores de eje vertical:** Su eje de rotación se encuentra perpendicular al suelo. Son más económicos, pero tienen poca capacidad de producir energía.

**Según la orientación respecto del viento:** Existen dos tipos:

- **Aerogeneradores a barlovento:** También denominados aerogeneradores a proa son los más comunes y se suelen utilizar en los aerogeneradores de eje horizontal. El rotor se sitúa de cara al viento, para evitar que la torre se interponga entre el rotor y la dirección del viento.
- **Aerogeneradores a sotavento:** También denominados aerogeneradores a popa. Se suelen utilizar en los aerogeneradores eje vertical. No necesita mecanismo de orientación de la góndola<sup>107</sup> y es poco eficaz.

---

<sup>107</sup> Parte del aerogenerador donde, en su interior, se encuentran todos los aparatos encargados de convertir la energía cinética producida por el viento, en energía eléctrica.

**Según el número de palas o aspas:** Existen cuatro tipos:

- **Aerogeneradores de un aspa:** Tienen una pala única y un contrapeso. Poseen velocidades de giro muy elevadas.
- **Aerogeneradores de dos aspas:** Están constituidos por dos palas. Son los más ligeros y económicos y necesitan mayor velocidad para producir la misma energía que el resto.
- **Aerogeneradores de tres aspas:** Son las más utilizadas, ya que tienen aproximadamente un rendimiento un 4% superior al rendimiento del aerogenerador de dos aspas.
- **Aerogeneradores multipalas:** Se suelen utilizar para extraer agua en pozos.

Existen aerogeneradores situados tierra adentro, en línea de costa o mar adentro. Estos aerogeneradores se emplean para suministro eléctrico de viviendas, sobre todo aisladas, para el bombeo de agua, para la generación de hidrógeno o para desalinización.

Para la producción de energía eléctrica a gran escala se utilizan un conjunto de aerogeneradores que recibe el nombre de Parque Eólico. La energía obtenida es transportada a unos sistemas de acumulación de tamaño variable, controlados por un regulador de tensión y de intensidad de corriente que llega a la entrada de las baterías. La corriente eléctrica que sale de allí tiene que pasar por un centro transformador que la haga apta para el transporte.

Para poder aprovechar la energía eólica es importante conocer los siguientes factores: i) variaciones diurnas, nocturnas y estacionales de los vientos; ii) variación de la velocidad del viento con la altura sobre el suelo; iii) entidad de las

ráfagas de viento en espacios de tiempo breves; iv) valores máximos obtenidos de series históricas de datos de una duración mínima de 20 años; y v) velocidad máxima y mínima del viento, ya que se requiere que este alcance una velocidad dependiendo del aerogenerador que se vaya a utilizar, que oscile entre una velocidad mínima llamada "*cut-in speed*" comprendida entre 3 y 4 metros por segundo (m/s), equivalente a 10 y 14 kilómetros por hora (km/h), respectivamente, y una velocidad máxima llamada "*cut-out speed*" que no supere los 25 m/s, equivalente a 90 km/h.

Por otro lado, se ha diseñado un tipo de aerogenerador sin aspas que realizan las mismas funciones que un aerogenerador convencional, pero con un ahorro considerable en costes, ya que tanto su mantenimiento como su instalación resultan mucho más baratos, además de reducir el impacto medioambiental y la contaminación acústica. Pese a que la función es la misma que la de los molinos con aspas, la metodología es totalmente distinta, ya que estos nuevos aerogeneradores parten de una estructura cónica de unos 12,5 metros de alto, que absorbe la energía del viento a partir de los remolinos que ella misma genera con la acción del aire cuando la hace vibrar, algo parecido a la acción del viento sobre una bandera. Las ondulaciones de la bandera serían los remolinos o vórtices de *Von Karman* generados por el viento tras hacerla ondear, y el aerogenerador absorbe la energía generada por esta oscilación. La ventaja sobre los aerogeneradores actuales estriba en que absorbe mejor la energía, no necesitando ser orientado porque siempre está orientado. Dado que el sistema no tiene ni engranajes, ni rodamientos, ni elementos mecánicos que propicien desgaste como consecuencia del rozamiento, los ingenieros consiguieron un pequeño dispositivo situado en la mitad inferior del prototipo, cuyo

funcionamiento se basa fundamentalmente en la acción de imanes, de forma que se ajusta de manera natural a la velocidad del viento, no produciendo desgaste en la estructura y ahorrándose los 300 litros de aceite que cada año necesita un aerogenerador tradicional. Este aerogenerador, denominado proyecto *Vortex Bladeless* trata de hacer evolucionar los aerogeneradores actuales de 3 aspas hacia aerogeneradores sin aspas. Son unos aerogeneradores que pueden generar la misma energía que los tradicionales, pero con un ahorro en costes de producción y explotación y otras ventajas medioambientales y paisajísticas. Son aerogeneradores totalmente diferentes a los actuales tanto en su forma como en la manera de generar energía. La simplificación del sistema implica un ahorro en materiales, transporte y mantenimiento que hace que se genere hasta un 40% más de energía, más económica y eficiente. El dispositivo consiste en un cilindro vertical semirrígido, anclado en el terreno, que incluye materiales piezoeléctricos. La energía eléctrica se genera por la deformación que sufren esos materiales al entrar en resonancia con el viento.

Algunos de los beneficios de estos nuevos aerogeneradores son: i) no generan ruido; ii) no producen interferencias con los radares; iii) el coste de materiales y montaje es menor; iv) los costes de mantenimiento son más reducidos; v) se reduce el impacto medioambiental y el impacto paisajístico; vi) es más eficiente, produciendo energía limpia más barata; vii) posee buen funcionamiento ante un mayor rango de velocidades de viento, y ocupa una menor superficie; viii) las aves no sufren riesgos al volar a su alrededor; ix) se reduce la huella de carbono en un 40 %; y x) son idóneos para plantas eólicas offshore por sus características de simplicidad de instalación y mantenimiento.

Los aerogeneradores convencionales constan de los siguientes elementos:

- **La góndola:** Situada en la parte alta del aerogenerador, es el lugar donde se encuentran los elementos encargados de convertir la energía cinética producida por el viento en energía eléctrica.
- **Las aspas:** Son las palas encargadas de aprovechar la máxima fuerza del viento, con dimensiones y formas adecuadas para conseguir el mayor rendimiento posible. Se sitúan en posición transversal a la dirección del viento.
- **La torre:** Es la columna que sirve de apoyo a la góndola y a las aspas.
- **El transformador:** Es el aparato encargado de adaptar la corriente eléctrica producida por el aerogenerador a los niveles aptos para el consumo.
- **La cimentación:** Es lo que da apoyo al sistema.

Los aerogeneradores pueden clasificarse según la potencia, de manera que existen aerogeneradores de grandes dimensiones, cuyas aspas abarcan más de la longitud de un campo de fútbol, con 20 pisos de altura y produce suficiente electricidad para abastecer, aproximadamente, a 1.400 hogares. Un aerogenerador pequeño, del tamaño de una casa tiene rotores de entre 1 y 8 m de diámetro y se eleva a más de 9 m, pudiendo satisfacer las necesidades energéticas de una casa o de una pequeña empresa. Las potencias de las turbinas varían desde menos de 50 kW para uso individual a potencias de entre 50 y 750 kW para otros usos.

Las principales ventajas del uso de la energía eólica terrestre son: i) se trata de una fuente renovable y segura; ii) no produce emisiones a la atmósfera ni genera residuos, excepto los de la fabricación de los equipos y el aceite de los

engranajes; iii) son instalaciones móviles que pueden desmantelarse de forma que la parcela utilizada a tal fin se puede recuperar; iv) se construye de forma rápida, aproximadamente, en 6 meses; v) generan ingresos para los municipios afectados (canon anual por ocupación del suelo); y vi) la instalación es compatible con otras instalaciones.

Por otro lado, hay inconvenientes derivados del uso de la energía eólica terrestre:

i) requiere alta inversión inicial; ii) provoca impacto visual, puesto que su instalación genera una alta modificación del paisaje; iii) causa efectos negativos en cuanto al impacto físico en la fauna, debido sobre todo al choque de las aves contra las palas que también causa efectos negativos en los comportamientos de migración y anidación; y iv) causa impactos por contaminación acústica, debido al roce de las palas con el aire, dando lugar a ruido constante y ultrasonidos, por lo que la vivienda más cercana deberá estar como mínimo a 200 metros de distancia donde se percibirían, aproximadamente, unos 43 decibelios<sup>108</sup> (dBA).

La energía eólica es un recurso gratuito y renovable, por lo que no importa cuánto se use hoy, todavía habrá el mismo suministro en el futuro. La energía eólica también es una fuente de electricidad limpia y no contaminante. A diferencia de las centrales eléctricas convencionales, las centrales eólicas no emiten contaminantes del aire ni gases de efecto invernadero. A pesar de que el coste de la energía eólica ha disminuido drásticamente en los últimos años, la tecnología requiere una inversión inicial más alta que en los generadores de

---

<sup>108</sup> El decibelio ponderado (dBA) es la unidad de nivel del ruido en la que se han filtrado las altas y bajas frecuencias, menos perceptibles para el oído humano que alcanza un máximo en las medias frecuencias.

combustible fósil, aproximadamente el 80% del coste es debido a la maquinaria, correspondiendo el resto a la preparación e instalación. Contabilizando los gastos operativos y en combustible durante la vida útil del generador, los costes de la energía eólica son mucho más competitivos que los de otras tecnologías de generación. Si bien las plantas de energía eólica tienen un impacto relativamente pequeño en el medio ambiente en comparación con las plantas de energía de combustibles fósiles, existe cierta preocupación por el ruido producido por las palas del rotor, los impactos estéticos o visuales y la mortalidad de aves y murciélagos que se dirigen volando hacia los rotores. La mayoría de estos problemas se han resuelto o reducido en gran medida mediante el desarrollo tecnológico o mediante la ubicación adecuada de las plantas eólicas.

El mayor desafío de usar el viento como fuente de energía es que es intermitente y no siempre sopla cuando se necesita electricidad. El viento no se puede almacenar y aunque la electricidad generada por el viento se pueda almacenar, se han de utilizar baterías para cumplir con la demanda de electricidad.

Dentro de la energía eólica terrestre, destacan dos tipos de energía eólica de pequeña potencia: la energía minieólica y la energía microeólica.

**Energía Minieólica:** La energía minieólica se obtiene por el aprovechamiento de los recursos eólicos mediante la utilización de aerogeneradores de potencia inferior a 100 kW. De acuerdo con las normas internacionales, los molinos de esta tecnología deben tener un área de barrido que no supere los 200 m<sup>2</sup>, recomendándose instalar el aerogenerador de pequeña potencia al menos diez metros por encima de cualquier obstáculo. La energía minieólica se aplica en: i) zonas aisladas, donde existe un gran coste o dificultad para llevar la energía de

la red eléctrica, como viviendas, cabañas aisladas, granjas, torres de telecomunicación, bombeo de agua, y otros, donde el aerogenerador suele ir acompañado de paneles solares fotovoltaicos que garanticen el óptimo funcionamiento del sistema; ii) instalaciones con un alto índice de consumo eléctrico, como fábricas, desalinizadoras y otras infraestructuras que consumen una gran cantidad de energía, reduciendo así el consumo eléctrico de la red; y iii) conexiones a red, en las que los particulares y empresas puedan consumir la energía que necesitan y vender el sobrante a la red.

Esta tecnología cuenta con una serie de ventajas: i) permite el suministro de electricidad en lugares aislados y alejados de la red eléctrica; ii) genera energía de manera distribuida, llamada microgeneración distribuida, reduciendo las pérdidas por transporte y distribución; iii) produce electricidad justo en los puntos de consumo, adaptándose a los recursos y necesidades energéticas de cada lugar; y iv) puede combinarse con energía fotovoltaica en instalaciones híbridas.

**Energía Microeólica:** Se obtiene mediante aerogeneradores de uso personal, con una potencia desde 50 W hasta menos de 100 kW. La configuración ideal de este tipo de aerogenerador consiste en situarlo sobre un mástil sin necesidad de cables de anclaje y en un lugar expuesto al viento. Muchos de los diseños convencionales de turbinas eólicas no se recomiendan para su montaje en edificios, pero, puede instalarse un pequeño sistema eólico en el tejado si está lo suficientemente alto como para minimizar la turbulencia, o si el régimen del viento en ese emplazamiento es favorable.

Además de las ventajas propias de la energía eólica, la energía microeólica es más eficiente si genera la electricidad cerca del lugar donde se consume, puesto



que se minimizan las pérdidas por transporte siendo posible almacenar la energía en baterías para su uso en ausencia de viento.

### **Energía Eólica Marina - Offshore**

La energía eólica marina es un paso más en el aprovechamiento del viento como fuente de energía. Siguiendo los mismos preceptos que la energía eólica estándar terrestre, la energía eólica marina busca maximizar los beneficios y minimizar riesgos para el medio ambiente y los seres vivos a la hora de generar energía, teniendo en cuenta que las diferentes presiones atmosféricas y las diferentes temperaturas en las distintas zonas marinas son los elementos que causan corrientes de aire formando viento. En energía eólica marina, se puede decir que Europa es líder en el sector. Entre las ventajas del uso de la energía eólica marina se encuentran las siguientes: i) la frecuencia del viento, ya que en alta mar suele aumentar un 40% y las rachas son mucho más regulares que en tierra, por lo que la energía eólica en alta mar es mucho más productiva que los parques eólicos terrestres; ii) mayor facilidad de traslado de los aerogeneradores en barco que en camiones y trenes debido a las grandes dimensiones y peso de cada uno de sus componentes; iii) un menor impacto paisajístico y visual, ya que los parques eólicos marinos deben estar, al menos, a 3 kilómetros de la costa; iv) es una energía renovable que produce electricidad y energía gracias a la energía cinética que produce el viento, no produciendo residuos contaminantes; v) se evitan todos los obstáculos para que la energía del viento llegue a estos generadores, ya que no hay accidentes geográficos, como montañas, que impidan el libre paso del viento o edificios o construcciones que puedan obstruir el paso del viento hacia los aerogeneradores; vi) no suelen resultar tan peligrosos

para las aves migratorias como los tradicionales parques eólicos terrestres; y vii) el espacio para construir molinos eléctricos marinos es inmenso, sin necesidad de ocupar zonas rurales.

Entre los inconvenientes del uso de la energía eólica marina se encuentran: i) los costes de construcción, que puede suponer que se eleven al doble los gastos respecto a lo que supondría su instalación en la tierra a pesar de tener la misma capacidad; ii) aún está en fase de pruebas; y iii) necesidad de construir un sistema de cableado bajo el fondo marino que sea capaz de llevar la energía proporcionada por los aerogeneradores hasta la costa, aumentándose el coste.

Es posible que las turbinas y los ruidos de los procesos para conseguir energía eólica provoquen cambios en los ecosistemas de la zona. Esto puede ser bueno en el caso de las aves que evitan este tipo de construcciones, pero también puede tener aspectos negativos, al provocar migración de especies acuáticas que vivían en la zona donde se instalen los aerogeneradores.

### **Zonas de energía eólica en España**

Según el mapa eólico español, se distinguen las zonas eólicas por la intensidad de la velocidad de los vientos, de forma que se consideran las zonas con fuertes vientos aquellas cuya velocidad del viento es mayor a 6 m/s y aquellas cuya velocidad del viento está comprendida entre 4 y 6 m/s. Se consideran buenas zonas eólicas aquellas cuya velocidad del viento está comprendida entre 2 y 4 m/s. La costa española cumple con este requisito, además de la Comunidad de Madrid, parte de Castilla La Mancha, Navarra y Aragón.

Las Comunidades Autónomas de mayor potencial eólico son:

**Zonas de vientos con velocidad > 6 m/s:**

**Galicia (A Coruña: Zona desde Ferrol a Ortigueira).**

**Andalucía (Cádiz: Zona del Estrecho). Viento de Levante.**

**Comunidad Valenciana (Alicante: Zona de Altea a Ondara).**

**Islas Canarias (Isla de Hierro). Vientos Alisios.**

**Zonas de vientos con velocidad entre 4 y 6 m/s:**

**Andalucía (Cádiz).**

**Aragón (Huesca: Zona del Valle del Ebro). Vientos de Cierzo.**

**Comunidad Valenciana (Alicante y Este de Valencia).**

**Islas Canarias (La Gomera, Las Palmas, Fuerteventura, Lanzarote y La Palma). Vientos Alisios.**

**Illes Balears (Menorca). Tramontana o Gregal.**

Las Comunidades Autónomas donde la aplicación de la energía eólica está más desarrollada, por orden de importancia, son: **Castilla – La Mancha, Castilla y León, Galicia, Andalucía, Aragón, Navarra, Comunidad Valenciana, Cataluña, La Rioja y Asturias.**

A pesar de que hay Comunidades Autónomas con un buen potencial para la instalación de energía eólica, estas no están desarrolladas, en Cantabria, Murcia o País Vasco. Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de la energía eólica donde su aplicación es poca o nula, ordenados de nula aplicación a poca aplicación, son la Ciudad Autónoma de Ceuta que, a pesar de tener un buen potencial eólico, por su situación geográfica, no están desarrolladas,

pudiéndose utilizar minieólicos. También destacan Baleares, Canarias, Cantabria, Murcia y País Vasco.

En la figura 31, se muestran las zonas de vientos de más de 6 m/s en el territorio español.



**Figura 31: Mapa eólico español.**

Fuente: IDAE.

En el mapa eólico se observa que las zonas de color rojo intenso (casi violáceo) son las que tienen mayor potencial eólico, mientras que las blancas apenas tienen potencial eólico.

## 11. BIOMASA Y BIOCOMBUSTIBLES

La biomasa es materia orgánica vegetal o animal, que se puede obtener de forma natural o espontánea mediante un proceso biológico, o de forma provocada, pudiéndose utilizar como fuente de energía. Un biocombustible o biofuel, es un combustible que se produce a partir de biomasa, en vez de ser producido mediante procesos geológicos lentos en el tiempo como los combustibles fósiles.

### **Biomasa**

La biomasa proviene de materia vegetal o animal y se utiliza para la producción de energía eléctrica y térmica o bien para su uso en diversos procesos industriales como materia prima para producir una variedad de productos. Puede ser proveniente de cultivos energéticos, madera o residuos forestales, desechos de cultivos alimentarios y de horticultura, procesamiento de alimentos, desechos provenientes de la cría de animales, o desechos humanos en plantas de tratamiento de aguas residuales.

La quema de biomasa derivada de plantas libera dióxido de carbono, pero está clasificado como fuente de energía renovable en los marcos legales de la UE y la ONU ya que la fotosíntesis hace que el CO<sub>2</sub> vuelva a producir nuevos cultivos y no contamina la atmósfera. Esto se debe a que este reciclaje de CO<sub>2</sub> dirigido a la atmósfera, cuando regresa de nuevo a las plantas puede convertirse en CO<sub>2</sub> negativo porque una parte relativamente grande de este dióxido de carbono se traslada al suelo durante cada ciclo.

La combustión de biomasa se ha incrementado en las centrales eléctricas de carbón, porque permite liberar menos CO<sub>2</sub> sin coste asociado a la construcción

de nuevas infraestructuras. La biomasa se forma a partir de las siguientes fuentes:

**Residuos forestales:** Estos residuos proceden de los distintos tratamientos selvícolas<sup>109</sup>. Estos son tratamientos aplicados a podas, limpieza de matorrales, y otros métodos de limpieza de rastrojos.

**Residuos agrarios o agrícolas:** Son residuos procedentes de podas de cultivos leñosos, como árboles frutales, olivo, vid, cultivo de cereales, trigo, soja, maíz, así como de otros cultivos como el girasol, remolacha, caña de azúcar, tabaco o algodón, entre otros. Otros residuos también proceden de animales.

**Residuos industriales:** Son residuos procedentes, en su mayoría, de la industria forestal.

**Residuos biodegradables:** Estos residuos proceden de industrias agroganaderas y agroalimentarias.

**Residuos sólidos urbanos:** Los residuos sólidos urbanos, denominados residuos domésticos en la Ley de Residuos (*Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados*), son aquellos que se generan en actividades desarrolladas en los hogares. Se consideran también residuos sólidos urbanos, a los residuos similares a los anteriores, generados en servicios e industrias.

---

<sup>109</sup> Los tratamientos selvícolas son el conjunto de operaciones que se efectúan en una masa forestal en el periodo que transcurre desde el final de la regeneración hasta que comienzan las cortas de regeneración o cortas finales.

**Cultivos energéticos:** Los cultivos energéticos son cultivos de plantas de crecimiento rápido destinadas únicamente a la obtención de energía o como materia prima para la obtención de otras sustancias combustibles.

El desarrollo de estos cultivos energéticos suele ir acompañado del desarrollo paralelo de la correspondiente industria de transformación de la biomasa en combustible.

La industria agroenergética constituye una verdadera agroindustria, donde hace falta que la producción y la transformación estén estrechamente relacionadas, tanto desde el punto de vista técnico y económico, como geográfico.

Los procesos utilizados para la obtención de energía a partir de la biomasa son tres: i) termoquímicos; ii) bioquímicos; y iii) químicos.

**Procesos termoquímicos:** La biomasa, la cual debe ser baja en humedad, es sometida a temperaturas elevadas. Existen dos maneras de someterla a altas temperaturas:

- **La combustión directa:** Consiste en la combustión de la biomasa en presencia de aire y el calor producido genera vapor que puede servir para calefacción, usos industriales, o bien ser transformada en energía mecánica, así como mover una turbina que produzca electricidad.
- **La Pirólisis:** Consiste en la combustión de biomasa sin presencia de aire. La materia orgánica se descompone, obteniendo así productos finales más energéticos.

**Procesos bioquímicos:** La biomasa se transforma mediante la actuación de cierto tipo de microorganismos, mediante dos tipos de fermentación:

- **Fermentación alcohólica:** Transforma la glucosa en etanol ( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ ) por acción de los microorganismos. Como resultado se obtiene bioalcohol, que sirve como combustible para vehículos.
- **Fermentación anaerobia:** La biomasa fermenta en ausencia de oxígeno, durante largo tiempo, obteniendo biogás, en especial metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), que se suele emplear en granjas para activar motores de combustión o calefacción.

**Procesos químicos:** La biomasa se transforma sin la actuación de microorganismos. Es la llamada transformación de los ácidos grasos, en la que los aceites vegetales y grasas animales se transforman en una mezcla de hidrocarburos mediante procesos químicos no biológicos, generando biodiesel que sirve como combustible.

Por lo tanto, el grupo de los biocombustibles lo forman, el bioalcohol, el biogas y el biodiesel, utilizándose en múltiples aplicaciones, entre las cuales destacan: i) calefacción, ii) generación de electricidad mediante turbinas y iii) combustibles para vehículos.

Por otro lado, los productos utilizados como combustible a partir de la biomasa son pellets, huesos de aceitunas u otros frutos, briquetas, cáscaras de almendras y otros frutos secos, y ramajes y astillas.



Entre las ventajas del uso de la biomasa como fuente de energía figuran:

- La disminución del riesgo de incendios en los bosques, debido a la limpieza de los residuos forestales.
- Una solución para los problemas derivados de la destrucción incontrolada de residuos, como el humo, evitando la contaminación medioambiental.
- La canalización de los excedentes agrícolas alimentarios.
- Se usa durante períodos cortos de tiempo.
- Causa una reducción del consumo de las energías renovables convencionales.
- La biomasa tiene contenidos en azufre y nitrógeno prácticamente nulos, provocando emisiones mínimas de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), causante de la lluvia ácida y del efecto invernadero.
- No conlleva emisiones de hidrocarburos policíclicos altamente contaminantes.
- La combustión de biomasa, aunque produce emisiones de CO<sub>2</sub>, no es un dióxido de carbono antiguo, por lo que se absorbe inmediatamente y por lo tanto, no contamina.
- El biocarburante genera menores índices de contaminación que los motores alimentados con hidrocarburos convencionales.
- Se obtienen productos biodegradables.
- Hay posibilidad de incremento de la actividad agrícola y económica.

Las desventajas del uso de la biomasa son:

- Menor rendimiento de los combustibles derivados de la biomasa.

- Necesidad de mayor cantidad de biomasa para la consecución de la misma cantidad de energía que con otras fuentes.
- El potencial energético de la biomasa está sujeto a una serie de variables que dificultan su tratamiento.

### **Biocombustible**

Un biocombustible es un combustible que se produce a través de procesos biológicos contemporáneos, como la agricultura y la digestión anaerobia, es decir, en ausencia de oxígeno, en lugar de ser un combustible producido por procesos geológicos como los involucrados en la formación de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo. Si la fuente de biomateria puede volver a crecer rápidamente, se dice que el combustible resultante es una forma de energía renovable. Los biocombustibles pueden derivarse directamente de las plantas, es decir, de cultivos energéticos o, indirectamente, de desechos agrícolas, comerciales, domésticos e industriales.

Los biocombustibles renovables generalmente implican la fijación de carbono contemporáneo, como las que se producen en plantas o microalgas a través del proceso de la fotosíntesis. Los biocombustibles suelen ser neutros en carbono porque el dióxido de carbono que absorben las plantas es igual al dióxido de carbono que se libera cuando se quema el combustible. Sin embargo, en la práctica, si un biocombustible es o no neutro en carbono también depende en gran medida de si la tierra que se utiliza para cultivar el biocombustible necesita ser limpiada o no de la vegetación que contiene carbono.

Los biocombustibles de "primera generación" o convencionales son biocombustibles procedentes de cultivos alimentarios realizados en tierras cultivables. Con esta "primera generación" de biocombustibles, los cultivos alimentarios se realizan explícitamente para la producción de combustible, y no para otra cosa. El azúcar, el almidón o el aceite vegetal obtenido de los cultivos se convierten en biodiesel o etanol, mediante transesterificación o fermentación de la levadura.

Los biocombustibles de "segunda generación" son combustibles fabricados a partir de diversos tipos de biomasa, Brower, (1998). La biomasa es un término amplio que incluye cualquier fuente de carbono orgánico que se renueve rápidamente como parte del ciclo del carbono. Los biocombustibles de "segunda generación" provienen de biomasa lignocelulósica o cultivos leñosos, residuos agrícolas o residuos de material vegetal, provenientes de cultivos alimentarios que ya han cumplido su propósito alimenticio. Las fuentes de esta "segunda generación" incluyen pastos, jatrofa<sup>110</sup> y otros cultivos de semillas, aceites vegetales de desecho, y residuos sólidos municipales, entre otros. Podría requerirse una serie de tratamientos físicos y químicos para convertir la biomasa lignocelulósica en combustibles líquidos adecuados para el transporte.

Los biocombustibles de "tercera generación" consisten en el uso de algas con un contenido de aceite natural superior al 50%, sugiriendo la posibilidad de cultivarse en estanques de algas, o en plantas de tratamiento de aguas residuales. Estas algas ricas en aceite podrían extraerse del sistema y

---

<sup>110</sup> *Jatropha* o jatrofa es un género de aproximadamente 175 especies suculentas, arbustos y árboles, de la familia de las euforbiáceas. Las plantas de este género crecen de forma nativa en África, Norteamérica, y el Caribe.

procesarse en forma de biocombustibles, y el resto seco se podría volver a procesar para crear etanol. Además de su alto rendimiento, la algacultura, a diferencia de los biocombustibles basados en cultivos, no implica una disminución en la producción de alimentos, ya que no requiere tierras de cultivo ni agua dulce.

De manera similar a los biocombustibles de “tercera generación”, los biocombustibles de “cuarta generación” se fabrican utilizando tierra no cultivable, no requiriendo la destrucción de la biomasa. Esta clase de biocombustibles incluye combustibles eléctricos y combustibles solares fotobiológicos, siendo algunos de estos combustibles neutros en carbono.

Los siguientes combustibles pueden producirse a partir de procedimientos de producción de biocombustibles de primera, segunda, tercera o cuarta generación.

**Biogás:** El biogás es el metano producido por el proceso de digestión anaeróbica de material orgánico por bacterias anaeróbicas, cuyo subproducto sólido se puede usar como biocombustible o fertilizante. El biogás se puede recuperar de los sistemas de procesamiento de residuos de tratamiento biológico mecánico.

El gas de vertedero, que es una forma menos limpia de biogás, se produce en los vertederos a través de la digestión anaeróbica natural, aunque tiene el inconveniente de que, si se escapa a la atmósfera, es un potencial gas de efecto invernadero. Los agricultores pueden producir biogás a partir del estiércol de su ganado mediante el uso de digestores anaeróbicos.

**Gas de síntesis o sintegas (syngas):** El gas de síntesis es una mezcla de monóxido de carbono, hidrógeno y otros hidrocarburos y se produce por combustión parcial de la biomasa, es decir, combustión con una cantidad de oxígeno que no es suficiente para convertir la biomasa completamente en dióxido de carbono y agua, a una temperatura de 700 ° C, aproximadamente. Antes de la combustión parcial, la biomasa se seca e incluso se piroliza, siendo la mezcla de gas resultante, el gas de síntesis, que es más eficiente que la combustión directa del biocombustible original. El gas de síntesis puede quemarse directamente en motores de combustión interna, turbinas o celdas de combustible de alta temperatura. El generador de gas de madera es un reactor de gasificación alimentado con madera y se puede conectar a un motor de combustión interna. Se puede usar para producir metanol, DME<sup>111</sup> e hidrógeno, o se puede convertir a través del proceso *Fischer-Tropsch*<sup>112</sup> en un sustituto de diésel.

**Etanol:** Denominado también alcohol etílico, es un alcohol que en condiciones normales de presión y temperatura se presenta como un líquido incoloro e inflamable con una temperatura de ebullición de 78,4 °C. Los alcoholes producidos biológicamente, como el etanol, o el propanol y el butanol, son producidos por la acción de microorganismos y enzimas a través de la fermentación de azúcares o almidones. Los métodos de producción de etanol utilizados son: i) la digestión enzimática para liberar los azúcares de los

---

<sup>111</sup> DME, dimetileter

<sup>112</sup> El proceso *Fischer-Tropsch* es un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos (gasolina, keroseno, gasoil y lubricantes) a partir de gas de síntesis (CO y H<sub>2</sub>).

almidones almacenados; ii) la fermentación de los azúcares; iii) la destilación; y iv) el secado.

El etanol se puede utilizar en motores de gasolina como sustituto de la misma, pudiéndose mezclar con gasolina en cualquier porcentaje. La mayoría de los motores de gasolina existentes para automóviles pueden funcionar con mezclas de hasta un 15% de bioetanol con petróleo o gasolina. Debido a que el etanol tiene una densidad menor que la de la gasolina necesita más combustible para producir la misma cantidad de trabajo. En este ámbito, una ventaja del etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ) es que tiene un índice de octanaje<sup>113</sup> más alto que el de la gasolina sin etanol, permitiendo un aumento de la relación de compresión de un motor.

El etanol tiene aproximadamente un tercio del contenido energético por unidad de volumen que la gasolina, por lo que también se utiliza para alimentar chimeneas de bioetanol, que no requieren chimenea y no expulsan humo, en viviendas de nueva construcción sin chimenea. La desventaja de estas chimeneas es que su salida de calor es ligeramente menor que la de la calefacción eléctrica o los calefactores de gas, y se deben tomar precauciones para evitar el envenenamiento por monóxido de carbono.

**Otros bioalcoholes:** El metanol se produce actualmente a partir de gas natural, un combustible fósil no renovable, esperando en un futuro ser producido a partir de biomasa como biometanol, lo que es técnicamente factible, pero la producción se está posponiendo actualmente por los resultados de Börjesson.P. et al.

---

<sup>113</sup> El índice es una escala arbitraria en la cual se da índice cero al n-heptano, y un índice cien al 2,2,4-trimetilpentano, también conocido como isooctano. De forma que, cuando una gasolina tiene 98 octanos, quiere decir que la mezcla de hidrocarburos de gasolina se comporta como una mezcla de 98 % del isooctano y un 2% del n-heptano.

(2013) sobre su viabilidad económica. La economía del metanol es una alternativa a la economía del hidrógeno, en contraste con la producción actual de hidrógeno a partir de gas natural.

**Butanol:** El butanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ ) se forma a partir de la fermentación ABE<sup>114</sup> (acetona, butanol, etanol), en cuyo proceso se muestran ganancias de energía netas potencialmente altas, con el butanol como único producto líquido, pudiendo quemarse directamente en los motores de gasolina existentes sin modificar el motor o el automóvil, de forma que resulta menos corrosivo y menos soluble en agua que el etanol. Se distribuye a través de las infraestructuras existentes.

**Biodiésel:** El biodiésel es un combustible extraído a partir de grasas naturales, mediante procesos industriales de esterificación<sup>115</sup> y transesterificación<sup>116</sup>, y se aplica en la preparación de sustitutos totales o parciales del petrodiesel o gasóleo obtenido del petróleo. El biodiésel puede mezclarse con gasóleo procedente del refinado del petróleo en diferentes cantidades. Se utilizan notaciones abreviadas según el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla, B100 en caso de utilizar solo biodiésel, u otras notaciones como B5, B15, B30 o B50, donde la numeración indica el porcentaje por volumen de biodiésel en la mezcla. Las

---

<sup>114</sup>La fermentación ABE (fermentación aceto-butílica-etílica o fermentación acetona-butanol-etanol) es un proceso que hace uso de la fermentación bacteriana para producir acetona, n-butanol y etanol a partir de carbohidratos tales como el almidón y la glucosa.

<sup>115</sup> Se denomina esterificación al proceso por el cual se sintetiza un éster. Un éster es un compuesto derivado formalmente de la reacción química entre un ácido carboxílico y un alcohol. Cuando se habla de ésteres se hace alusión a los ésteres de ácidos carboxílicos, sustancias cuya estructura es  $\text{R-COOR}'$ , donde R y R' son grupos alquilo o radicales alquilo. Sin embargo, se pueden formar en principio ésteres de prácticamente todos los oxiácidos inorgánicos. Por ejemplo, los ésteres carbónicos derivan del ácido carbónico y los ésteres fosfóricos, de gran importancia en bioquímica, derivan del ácido fosfórico.

<sup>116</sup> La transesterificación es el proceso de intercambio del grupo orgánico R'' de un éster con el grupo orgánico R' de un alcohol. Estas reacciones a menudo se catalizan mediante la adición de un catalizador ácido o básico. La reacción también se puede lograr con la ayuda de enzimas, particularmente lipasas.

materias primas para elaborar biodiesel incluyen grasas animales, aceites vegetales y algas. El biodiesel se puede usar en cualquier motor diésel cuando se mezcla con diésel mineral. Como inconveniente en su uso, pueden ocurrir algunos problemas de mantenimiento y rendimiento durante la utilización en invierno, ya que el combustible se vuelve algo más viscoso a temperaturas más bajas, dependiendo ello de la materia prima utilizada.

Se trata de un combustible oxigenado, lo que significa que contiene una cantidad reducida de carbono y un mayor contenido de hidrógeno y oxígeno que el diésel fósil, lo que mejora su combustión y reduce las emisiones de partículas de carbono sin quemar, aunque aumenta las emisiones de NO<sub>x</sub>. El biodiésel es seguro de manejar y transportar porque no es tóxico, es biodegradable y tiene un alto punto de inflamabilidad (de, aproximadamente, 148 °C), en comparación con el diésel de petróleo, que tiene un punto de inflamabilidad de unos 52 °C.

**Diésel verde:** El diésel verde se produce a través de hidrocrackeo<sup>117</sup> de materias primas de aceites biológicos, como son los aceites vegetales y las grasas animales.

El hidrocrackeo es un método de refinería que utiliza temperaturas y presión elevadas en presencia de un catalizador para descomponer moléculas grandes, como las que se encuentran en aceites vegetales, o en cadenas de hidrocarburos más cortas utilizadas en motores diésel. También se denomina diésel renovable, aceite vegetal tratado con hidrógeno o diésel renovable derivado del hidrógeno. A diferencia del biodiesel, el diésel verde tiene

---

<sup>117</sup> El proceso de hidrocrackeo se encuentra situado generalmente tras el proceso de destilación atmosférica, en la que se lleva a cabo una primera separación del crudo, siendo necesario incorporar unidades adicionales que los extraigan.



exactamente las mismas propiedades químicas que el diésel a base de petróleo. No requiere nuevos motores, tuberías o infraestructura para su distribución y uso, aunque la desventaja es que no se produce a un coste competitivo respecto al petróleo.

### **Residuos filtrados de aceite vegetal**

El aceite vegetal comestible sin modificar no se usa generalmente como combustible, pero se usa aceite de baja calidad para este propósito. El aceite vegetal usado se procesa cada vez más en biodiesel, o, de manera puntual, se limpia de agua y partículas y luego se usa como combustible. Al igual que con el biodiesel al 100% (B100), para asegurar que los inyectores de combustible atomicen el aceite vegetal en la forma correcta para una combustión eficiente, el combustible de aceite vegetal debe calentarse para reducir su viscosidad, ya sea mediante bobinas eléctricas o intercambiadores de calor, lo que resulta más sencillo en climas cálidos o templados.

Los aceites y las grasas se pueden hidrogenar para lograr un sustituto del diésel, resultando un hidrocarburo de cadena lineal con un alto índice de cetano<sup>118</sup>, sin oxígeno y bajo en compuestos aromáticos y azufre.

Los aceites hidrogenados se pueden mezclar con diésel en todas las proporciones, siendo ventajoso sobre el biodiesel, incluyendo buen rendimiento

---

<sup>118</sup> El número o índice de cetano guarda relación con el tiempo que transcurre entre la inyección del carburante y el comienzo de su combustión, denominado "Intervalo de encendido". Una combustión de calidad ocurre cuando se produce una ignición rápida seguida de un quemado total y uniforme del carburante.

a bajas temperaturas, sin problemas de inestabilidad en el almacenamiento y sin ser susceptible al ataque microbiano.

### **Bioéteres**

Los bioéteres, conocidos como éteres de combustible o combustibles oxigenados, son compuestos que actúan como potenciadores del octanaje, mejoran el rendimiento de los motores, al tiempo que reducen significativamente su desgaste y las emisiones de escape tóxicas. Cuando se trata de combustible para transporte, se usan seis aditivos tipo éter: el dimetil éter (DME), dietil éter (DEE), metil terciario-butil éter (MTBE), etil ter-butil éter (ETBE), teramil metil éter (TAME) y éter etilteramílico (TAEE). La Asociación Europea de Combustibles Oxigenados <sup>119</sup>(EFOA) mencionan el éter metil terciario-butílico (MTBE) y el éter etil ter-butílico (ETBE) como los más usados como combustible para reemplazar el plomo.

### **Combustibles sólidos de biomasa**

Estos combustibles incluyen madera, serrín, pasto, desperdicios domésticos, carbón vegetal, desechos agrícolas, cultivos energéticos no alimentarios y estiércol seco. Cuando la biomasa sólida está en forma conveniente, como leña, puede quemarse directamente en una estufa u horno para proporcionar calor. Si la biomasa sólida está en una forma inconveniente como el serrín, astillas de madera, pastos, madera de desecho urbano o residuos agrícolas, el proceso

---

<sup>119</sup> La Asociación Europea de Combustibles Oxigenados (EFOA, *European Fuel Oxygenates Association*, en inglés) destaca el papel de los éteres combustibles para ayudar a Europa a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos. Al permitir energía limpia, eficiente, sostenible y confiable para impulsar la movilidad de Europa, los éteres combustibles, componentes del combustible, son una de las soluciones más rentables para reducir las emisiones del transporte.

típico es densificar la biomasa, lo que incluye la molienda de la biomasa en bruto a un tamaño de partículas apropiado, conocido como *hogfuel*<sup>120</sup>, concentrándose, posteriormente, en un producto combustible.

Los procesos actuales producen pellets de madera, cubos o discos, siendo el proceso de producción de pellets más común, por regla general, un producto de madera pura. Los otros tipos de densificación son de mayor tamaño en comparación con un pellet. El combustible densificado resultante es más fácil de transportar para alimentar los sistemas de generación térmica, como calderas.

Una de las ventajas del combustible de biomasa sólida es que a menudo resulta ser un subproducto, residuo o producto de desecho de otros procesos, como la agricultura, la ganadería y la silvicultura. El inconveniente que presenta la combustión de combustibles sólidos de biomasa es que emite cantidades considerables de contaminantes, como partículas e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Incluso las calderas modernas de pellets generan muchos más contaminantes que las calderas de petróleo o gas natural. Los pellets hechos de residuos agrícolas suelen ser peores que los pellets de madera, ya que producen emisiones mucho mayores de dioxinas<sup>121</sup> y clorofenoles<sup>122</sup>.

---

<sup>120</sup> El combustible hogfuel, algo así como atrapacombustible, es un residuo de madera y un producto de desecho que se procesa a través de una astilladora o un molino y produce astillas y grumos gruesos que normalmente se utilizan como combustible. Puede incluir corteza, serrín, virutas de cepillado, trozos de madera, finos, tierra y, en climas fríos, hielo. Las fábricas deben eliminar estos desechos y, por lo general, usarlos como combustible de biomasa para una caldera, a menudo en combinación con gas natural.

<sup>121</sup> Las dioxinas son un grupo de compuestos químicos que se convierten en contaminantes ambientales persistentes. Las dioxinas se encuentran en el medio ambiente por todo el mundo y debido a su persistencia se van acumulando a lo largo de la cadena alimentaria, principalmente en el tejido adiposo de los animales por su solubilidad en las grasas.

<sup>122</sup> Los clorofenoles son un grupo de sustancias químicas producidas añadiendo cloro al fenol que se suelen utilizar principalmente como antisépticos, desinfectantes, herbicidas, pesticidas y conservantes de madera.

Existen varios problemas sociales, económicos, ambientales y técnicos relacionados con la producción y el uso de los biocombustibles. Estos incluyen: i) el efecto de la moderación de los precios del petróleo; ii) el debate "alimentos-combustible"; iii) la elevación de los precios de los alimentos; iv) los niveles de emisiones de carbono; v) la producción sostenible de biocombustibles; vi) la deforestación y erosión del suelo; vii) la pérdida de biodiversidad; viii) el impacto en los recursos hídricos; y ix) la eficiencia energética.

Una combinación inteligente de tecnologías de otras energías renovables con biomasa podría ser interesante para solucionar los problemas energéticos, por su eficiencia económica y por la utilización de los recursos existentes en cada zona.

### **Zonas de biomasa en España**

La superficie forestal total española asciende a 27.648.421 hectáreas (Ha). Las Comunidades Autónomas con mayor superficie forestal y, por tanto, con mayor potencial de biomasa, por orden de mayor a menor extensión de superficie, son los siguientes:

**Castilla-León (4.807.732 Ha.). (León, Burgos y Salamanca).**

**Andalucía (4.514.241 Ha.). (Huelva, Córdoba y Jaén).**

**Castilla-La Mancha (3.564.780 Ha.). (Cuenca, Ciudad Real y Guadalajara).**

**Extremadura (2.727.232 Ha.). (Cáceres y Badajoz).**

**Aragón (2.608.312 Ha.). (Huesca y Teruel).**

**Galicia (2.039.574 Ha.). (Lugo, Ourense y A Coruña).**

**Cataluña (1.930.482 Ha.). (LLeida y Barcelona).**

**Comunidad Valenciana (1.255.338 Ha.). (Valencia y Castellón).**

Si tenemos en cuenta la superficie de cada Comunidad Autónoma y la superficie forestal de cada una de ellas, es decir, teniendo en cuenta la superficie forestal respecto a la superficie de la CA, el orden sería el siguiente:

**Islas Canarias (75,68 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**Asturias (72,10 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**Galicia (68,97 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**País Vasco (68,43 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**Cantabria (67,55 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**Extremadura (65,50 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**Cataluña (60,11 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

**La Rioja (59,76 % de superficie forestal respecto a la superficie de la C.A.).**

Las Comunidades Autónomas donde la aplicación de la biomasa está más desarrollada, por orden de importancia, son: **Andalucía, Asturias, País Vasco, Castilla – La Mancha y Galicia.**

Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de la biomasa donde su aplicación es poca o nula, ordenados de nula aplicación a poca aplicación, son Extremadura, Castilla y León, Aragón, Cataluña, Comunidad Valenciana y Navarra.

En la figura 32 se muestran las zonas de bosques en España, siendo las zonas de colores, los tipos de especies que se dan en las diferentes zonas de la geografía española.



**Figura 32: Mapa forestal español.**

Fuentes: UPM<sup>123</sup>-ETS Ingenieros de Montes<sup>124</sup>.

Las zonas más boscosas son aquellas que tienen mayor densidad e intensidad de colores.

## 12. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es la energía térmica generada y almacenada en el interior de la Tierra, por lo que es una importante fuente de energía renovable, activa, en una parte causada por los diferentes elementos radiactivos que habitan en el interior de la Tierra, como el uranio, el torio y el potasio, asociada

<sup>123</sup> Universidad Politécnica de Madrid.

<sup>124</sup> Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.

a fenómenos volcánicos, géiseres, aguas termales y a zonas tectónicas, con actividad relacionada con fenómenos de movimiento de tierra y tectónica de placas, terremotos, maremotos o tsunamis que han tenido lugar en la corteza terrestre en los últimos 10.000 o 20.000 años. Sin tener en cuenta la acción de la atmósfera que hace de pantalla-espejo, provocando el efecto invernadero, la Tierra es, además de Júpiter, Saturno y Neptuno, uno de los pocos planetas del sistema solar que irradian más energía de la que reciben. En su interior posee un núcleo fundamentalmente de hierro, que se encuentra a grandes temperaturas debido a las fuertes presiones existentes por la gravedad; lo que indica que, al aumentar la profundidad de la tierra, aumenta la temperatura de manera más que proporcional, es decir, la temperatura aumenta conforme a un gradiente geotérmico.

Esta energía está ligada tanto a zonas activas de la corteza terrestre como a una fuente de calor magmática, que se encuentra a varios kilómetros de profundidad y cuyas temperaturas pueden oscilar entre los 100 y los 6.700 °C. Este calor proviene por un lado de la desintegración de isótopos radiactivos naturales o bien provenientes de los residuos radiactivos de centrales nucleares y por otro lado proviene de movimientos diferenciales entre las distintas capas de la Tierra y del calor latente de la cristalización del núcleo interno. Las capas de la Tierra se componen del núcleo, que es la capa más interna, tiene una composición de hierro fundido y níquel a una temperatura superior a 4.000 °C; el manto, que es la capa intermedia, formado por silicatos de hierro y magnesio, y con una temperatura comprendida, aproximadamente, entre los 800 - 1.000 °C y los 4.000 °C y la corteza, que es la capa más superficial y visible, está formada por



silicatos de aluminio y magnesio, variando su temperatura media entre los 15 - 20 °C en la superficie y los 800 - 1.000 °C.

Existen zonas con un flujo más elevado de energía geotérmica coincidentes con áreas de actividad sísmica elevada, formación de cordilleras en épocas geológicas recientes y una actividad volcánica muy reciente; cada 100 m de profundidad se pueden encontrar gradientes geotérmicos comprendidos entre 15 y 30 °C, y a profundidades de entre 1.500 y 2.000 m se pueden encontrar temperaturas comprendidas entre 200 y 300 °C; en las zonas sin especiales accidentes geotérmicos, los gradientes son de unos 3 °C por cada 100 m y a profundidades de entre 2.000 y 3.000 m, las temperaturas podrían alcanzar valores entre los 60 y los 90 °C.

La actividad volcánica es la válvula de escape que evacua el magma y la energía térmica desde las profundidades terrestres hasta la superficie. Bajo la corteza terrestre, en la capa superior del manto se originan bolsas de magma, el cual es una roca líquida que se encuentra a muy alta temperatura y presión, de manera que existen zonas donde los depósitos o corrientes de agua subterráneas son calentados por el magma hasta alcanzar temperaturas superiores a 140 °C. El agua en estos depósitos puede ser líquida o gaseosa, que, a través de fallas, fisuras o grietas provocadas de forma natural en la corteza, sale en forma líquida o vapor, formando géiseres, fumarolas y fuentes termales de aguas minerales o no minerales. De forma artificial se pueden realizar prospecciones a varios cientos de metros de profundidad para alcanzar estos depósitos y extraer este calor. La actividad volcánica se relaciona con dos tipos de recursos explotables



por el ser humano: i) La energía geotérmica y ii) yacimientos minerales que forman depósitos hidrotermales.

Existen zonas con unas condiciones especiales, como capas rocosas porosas o impermeables que absorben el agua y vapor de agua a alta presión y temperatura de manera que impiden que salgan a la superficie, formándose así yacimientos geotérmicos. Por otro lado, existen rocas secas que están a muy alta temperatura y que, con el fin de extraer ese calor, se les inyecta agua u otro fluido caloportador a través de un tubo, formando vapor de agua. Este tipo de extracción se denomina perforación hidráulica o “*fracking*”. Los yacimientos estimulados (EGS) se denominan así porque necesitan la intervención directa del hombre para crear el yacimiento en los lugares adecuados para la generación de electricidad.

La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía de forma pionera en 1904, en Toscana (Italia), donde aún continúa su producción. En 1913, en Lardarello (Italia), se construyó la primera central. En 1978 y a petición de Naciones Unidas en el marco de su Programa de Desarrollo, el Instituto Geotérmico de Nueva Zelanda, dependiente de la Universidad de Auckland, fue pionero en la investigación geotérmica y en el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de la energía geotérmica y para la formación de expertos de otros países en esta materia.

Hasta hace muy poco, el uso de este tipo de energía se ha limitado a zonas especiales donde las condiciones geológicas eran muy favorables, pero actualmente con los avances en tecnología, equipos, instrumentación y las mejoras en prospección y perforación, se puede conseguir electricidad y calor a temperaturas inferiores.

Existen tres tipos de energía geotérmica según la temperatura a la que se encuentra en el interior de la tierra y según la profundidad de prospección:

**Energía geotérmica de alta temperatura:** Las temperaturas han de ser superiores a 150 °C. Se utiliza para la producción de electricidad y cuando la temperatura no es suficiente para la generación eléctrica, se utiliza con fines térmicos en los sectores industrial, residencial y servicios. Las condiciones geológicas que requiere la energía geotérmica de alta temperatura son:

- La zona geotérmica ha de ser de flujo elevado.
- A profundidad de entre 1.500 – 2.000 m deben existir capas de materiales permeables o almacén que permitan circular los fluidos capaces de extraer el calor de la roca.
- Los fluidos han de permanecer en profundidad con el fin de evitar la disipación continua de la energía de la roca, por lo que es necesaria la existencia de materiales impermeables que sellen estos almacenes.

La energía geotérmica de alta temperatura se emplea para la producción de electricidad.

**Energía geotérmica de media temperatura:** Las temperaturas se encuentran entre los 100 °C y los 150 °C. Utilizando una bomba de calor geotérmica, sirve para calefacción, refrigeración y producción de electricidad mediante el uso de ciclos binarios con muy bajo rendimiento. La energía geotérmica de media temperatura se emplea para la producción de electricidad mediante el uso de ciclos binarios con muy bajo rendimiento, aunque se aplican principalmente para procesos industriales.

**Energía geotérmica de baja y muy baja temperatura:** Las temperaturas están por debajo de 100 °C. Se utiliza para climatización (piscinas climatizadas), ACS, calefacción y refrigeración mediante máquina de absorción. Las condiciones geológicas que requiere la energía geotérmica de baja y muy baja temperatura son:

- A profundidad de entre 1.500 – 2.500 m deben existir materiales permeables o almacén que permitan circular los fluidos capaces de extraer el calor de la roca.
- Dado que el nivel térmico del fluido es bajo, pues está comprendido entre los 60 y los 90 °C, se ha de utilizar en aplicaciones directas del calor, por lo que para que resulte económicamente rentable debe haber un centro de consumo lo más cerca posible.

La energía geotérmica de baja temperatura se emplea en calefacción y refrigeración de viviendas y procesos industriales; y cuando la temperatura es muy baja, entre los 20 y 30 °C, se suele utilizar para aire acondicionado, climatización y ACS, empleando para ello una bomba de calor geotérmica.

### **Funcionamiento geotérmico**

El calor se ha de trasladar desde una cierta profundidad hasta la superficie. Esto se consigue mediante un fluido caloportador, que por regla general suele ser agua, que transporta la energía y que accede a la superficie mediante sondeos perforados por el hombre, Tester et al. (2005). Los sondeos han de reunir ciertas condiciones de dimensionado y acabado adecuadas, de forma que la durabilidad

sea del mayor tiempo posible, produciendo la misma cantidad de fluido, con el menor coste de mantenimiento.

Un sistema geotérmico está formado por:

**Los captadores:** situados en el exterior de la vivienda. Son los encargados de obtener la energía geotérmica, extraída de la tierra o del aire (aeroterminia<sup>125</sup>).

**El emisor:** situado en el interior de la vivienda. Es el encargado de la obtención de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria (ACS) y otros.

**La bomba de calor:** Se obtiene uniendo los dos circuitos anteriores. Su funcionamiento es similar al de un frigorífico, pero a la inversa. Se aprecian cuatro fases de trabajo:

**El evaporador:** un fluido frigorífico a muy baja temperatura absorbe la temperatura que los captadores han extraído de la tierra.

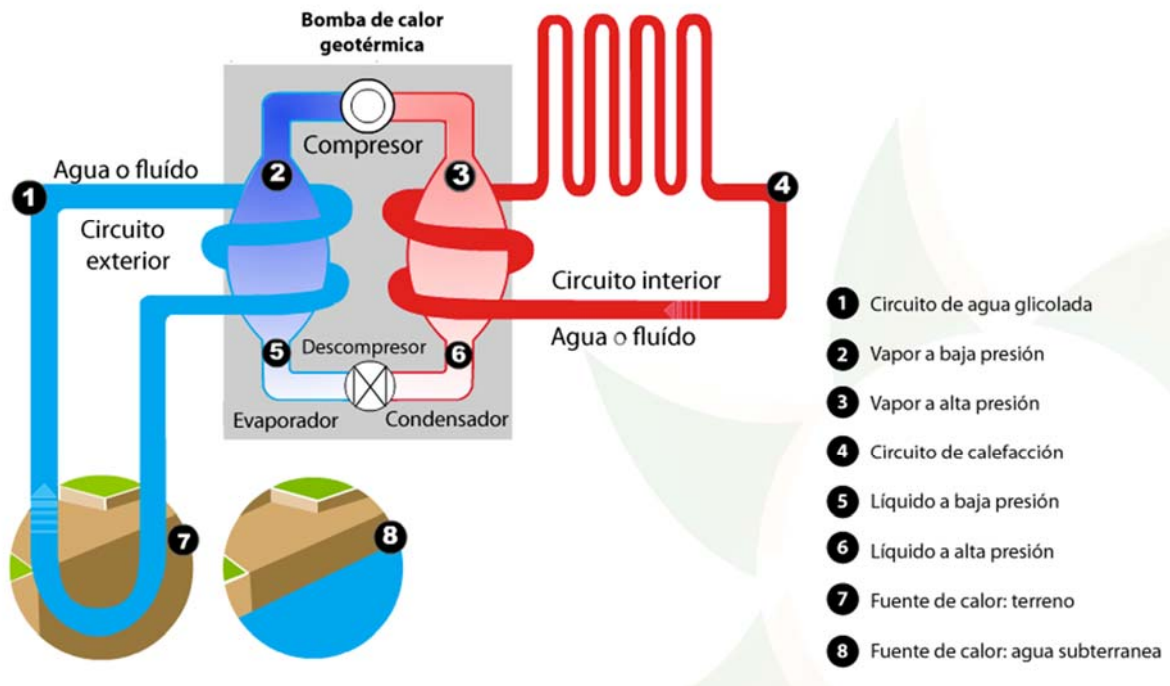
**El compresor:** es el encargado de comprimir el gas calentado hasta elevar su temperatura a la adecuada según se utilice para suelo radiante, radiadores, ACS u otros.

**El condensador:** el gas caliente se intercambia con el circuito del emisor, enfriándose.

**El descompresor:** el gas enfriado se expande de forma que absorba el calor del captador que viene de la Tierra.

---

<sup>125</sup> Se denomina energía aerotérmica a la energía térmica que una bomba de calor extrae del aire ambiente.



**Figura 33: Instalación geotérmica.**

Fuente: Ingeca<sup>126</sup>. Geotcasa<sup>127</sup>. IDAE<sup>128</sup>.

Una vez que el fluido llega a la superficie, se somete a una serie de transformaciones para que esa energía térmica o calorífica sea aprovechada (ver figura 33).

Toda instalación geotérmica consta de los siguientes elementos:

**Captadores:** Los captadores o sondas son tubos que pueden ser de cobre con funda de polietileno o polietileno reticulado de alta densidad, por las que circula agua con anticongelante en un circuito cerrado impulsado por una bomba cuya función principal es transportar el agua o fluido caloportador frío desde el exterior al interior de la tierra, retornándolo caliente del interior al exterior. Una vez

<sup>126</sup> Ingeniería y calidad sostenible S.L. (Ingeca) es una empresa de servicios orientada a la ingeniería y a la calidad.

<sup>127</sup> Geotcasa es un programa que pretende establecer un sistema de financiación que impulse una oferta de calidad y adaptada a las necesidades de los usuarios de agua caliente y climatización en edificios, utilizando energía geotérmica.

<sup>128</sup> IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.

introducidas las sondas en el terreno, el espacio existente entre sonda y terreno se rellena con el mismo detritus obtenido de la perforación: grava silíceo o bentonita. El sistema de perforación utilizado es el mismo que para los pozos; si al perforar se encuentra alguna zona con agua, el rendimiento será mayor ya que es buena conductora del calor.

Existen cuatro tipos de captadores: horizontales, verticales, aerotérmicos y cestas de energía.

- **Captadores horizontales:** Estos captadores, llamados también cerrados, están formados por uno o varios circuitos compuestos de polipropileno reticulado (PER<sup>129</sup>) que tienen forma serpenteante y se colocan bajo tierra a unos 60 centímetros (cm) de profundidad mínima, pudiendo alcanzar una profundidad máxima de 1,60 m, debiendo cubrir una superficie igual o superior a la que se pretende calentar. En el interior de la tubería circula un líquido refrigerante, resultado de la mezcla de agua y refrigerante que suele ser glicol<sup>130</sup>, llamado agua glicolada<sup>131</sup> o brine, que es compatible con el medio ambiente, conduce el fluido caloportador recogiendo el calor acumulado en la tierra por efecto del sol, la lluvia y el viento, para después, trasladarlo a la bomba de calor. Este tipo de captación se suele realizar cuando existe una superficie extensa de terreno libre. Es óptimo para ser

---

<sup>129</sup> El polietileno reticulado, conocido también por sus abreviaturas PER, PEX o XLPE, es una forma de polietileno con reticulaciones. Cuanta más reticulación posee la tubería, mejor es y en más aplicaciones podrá ser utilizada.

<sup>130</sup> El glicol se utiliza como aditivo anticongelante para el agua en los radiadores de motores de combustión interna, es el principal compuesto del líquido de frenos de vehículos y también es usado en procesos químicos como la síntesis de los poliuretanos, de algunos poliésteres, etc.

<sup>131</sup> Mezcla de agua con glicol etilénico empleada en equipos de refrigeración para prevenir la formación de hielo en los intercambiadores de los refrigeradores ubicados en los circuitos hidráulicos.

utilizado en grandes fincas rurales o en zonas amplias o aisladas, así como también en viviendas unifamiliares o residenciales.

- **Captadores Verticales:** Son sondas que aprovechan la temperatura interna de la tierra. Se perfora un pozo que puede variar desde los 80 a los 120 m de profundidad y con un diámetro reducido de 140 milímetros (mm). El fluido caloportador desciende a las profundidades para así recuperar el calor del subsuelo, que es trasladado hasta una bomba de calor geotérmica.

Existen dos tipos de captadores verticales:

**Captador geotérmico vertical con sistema cerrado:** Consiste en una sonda clavada en posición vertical en la tierra, que en la mayoría de los casos alcanza entre 100 y 120 metros de profundidad, dependiendo del tipo de suelo. Estos captadores son más caros que los captadores horizontales, aunque más recomendables, ya que hay que tener en cuenta que entre los 10 y los 20 m de profundidad la temperatura suele ser constante a lo largo del año, con temperaturas comprendidas entre 7 y 14 °C, aumentando la temperatura en 3 °C por cada 100 metros de profundidad. Al igual que en los tubos de los captadores horizontales, en los de los captadores verticales se utiliza agua glicolada, que siempre será reutilizada. Este tipo de captaciones se realizan cuando hay poca extensión de terreno.

**Captador geotérmico vertical con sistema abierto o de capa freática:** Se suele utilizar en zonas donde existe una corriente subterránea o bolsa de agua bajo tierra. Esta corriente subterránea o bolsa de agua se aprovecha como líquido portador hasta la máquina, devolviéndola de nuevo a su fuente original una vez aprovechada su temperatura. El sistema de perforación utilizado es el mismo que para los pozos. El rendimiento es elevado ya que

el agua es un buen conductor del calor. Existe la posibilidad de combinar ambos tipos de captaciones, según convenga: son los denominados captadores mixtos.

- **Captador aerotérmico:** La captación de la energía se realiza directamente del aire exterior. Esta opción es muy apropiada cuando no se dispone de terreno en la parcela de la vivienda. Se coloca el captador en el exterior donde extrae el calor del aire, que es trasladado a la bomba de calor geotérmica.
- **Captador tipo cesta de energía:** La cesta de energía es un tipo de diseño especial de captadores para geotermia horizontal, que se conoce también como captadores tipo *slinky*<sup>132</sup>. Este tipo de captadores geotérmicos se utilizan cuando no es posible la perforación profunda ni la cimentación termoactiva<sup>133</sup>, bien por motivos hidrológicos o porque el espacio disponible sea demasiado pequeño para un captador horizontal al uso. La cesta de energía suele estar diseñada para profundidades de 1 a 4 m, se instala cerca de la superficie, a una profundidad en la que la temperatura del suelo se ve afectada por las condiciones meteorológicas. La temperatura se mantiene constante entre, aproximadamente, 12 y 18 °C y la forma cónica de la cesta de energía permite aprovechar un gran volumen de suelo a pesar de que su superficie sea relativamente pequeña. De este modo, la extracción de calor estable evita la congelación inoportuna del entorno directo. En casos de carga extrema, tan sólo es posible que se forme hielo en la cesta de energía. No

---

<sup>132</sup> Un *Slinky* es una especie de muelle helicoidal que permite ejecutar movimientos curiosos como bajar escaleras, o progresar por un plano inclinado de forma automática a partir de una pequeña acción inicial.

<sup>133</sup> Este tipo de cimentaciones se basa en el aprovechamiento de la temperatura constante del terreno a poca profundidad para mejorar el rendimiento de las bombas de calor. En invierno transfiere calor del subsuelo al edificio, mientras que en verano funcionaría a la inversa transfiriendo el calor del edificio al subsuelo, refrigerando al edificio.



obstante, esta formación de hielo desaparecerá al reducirse la carga. Dado que las temperaturas de extracción son razonablemente constantes, esta fuente de energía es ideal para alimentar una bomba de calor geotérmica, incrementándose la eficiencia de la bomba de calor.

**Bomba de calor geotérmica:** La bomba de calor geotérmica es un elemento esencial en las instalaciones geotérmicas, puesto que no genera calor como lo haría una caldera, sino que lo transporta desde el captador geotérmico hasta la vivienda, en forma de calefacción, refrigeración, suelo radiante, pared radiante, techo radiante, ventiloconvector (también llamado *fancoil*<sup>134</sup>) y agua caliente sanitaria, de una manera rápida y muy eficiente, con poco gasto en electricidad.

Las ventajas que conlleva una bomba de calor geotérmica son:

- Un ahorro energético del orden del 50% si se compara con el uso de bombas de calor agua-agua o aire-agua; un ahorro del 70% comparado con el uso de radiadores eléctricos o de combustibles convencionales; y un ahorro del 60% si se compara con sistemas de gas natural.
- Una mayor vida útil de la instalación.
- Una reducción en los costes de mantenimiento, operación y potencia contratada.
- Mayor fiabilidad, comodidad para su ubicación y flexibilidad ante cualquier cambio en la vivienda o grupo de viviendas.

---

<sup>134</sup> Ventiloconvector o fancoil, es un dispositivo relativamente sencillo, consistente en una batería o intercambiador de frío o de calor y un ventilador. Forma parte de los sistemas de climatización en edificios residenciales, comerciales o industriales.

- Eliminación del riesgo por *Legionella*<sup>135</sup>.
- Disminución de la contaminación acústica.
- Disminución en las emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Sala técnica:** La sala técnica es el lugar desde donde se distribuye el calor o la refrigeración a la vivienda y donde se ubica la bomba de calor. La instalación tendrá tantos circuitos generales como plantas tenga la vivienda. Todos los tubos que provienen de todas las perforaciones realizadas en esa instalación se conectan a colectores que, a su vez, se conectarán con la sala técnica. Los objetivos de la sala técnica son: i) Concentrar el número de tubos que se conectan con la sala técnica, ii) el equilibrado hidráulico y iii) la correcta funcionalidad individual de cada intercambiador geotérmico. Con ello, si hubiese algún tipo de problema con alguna perforación, esta se podría desconectar, sin perjuicio del resto del sistema.

Entre las ventajas que presenta el uso de la energía geotérmica, destacan:

- Bajo coste.
- Poco riesgo.
- Independencia energética del exterior.
- Residuos mínimos y bajo impacto medioambiental.
- Energía limpia, sin apenas contaminantes.
- Si se quiere generar electricidad a partir de energía geotérmica se provocan emisiones de 0,14 kg de CO<sub>2</sub> por MWh, siendo una de las fuentes menos

---

<sup>135</sup> La *Legionella* es una bacteria responsable de dos tipos de infecciones: Una infección autolimitada y benigna que cursa con fiebre y catarro denominada fiebre de Pontiac y la otra, provoca la Enfermedad de los legionarios, consistente en una neumonía que aparece habitualmente en forma de epidemia.

contaminantes del mundo, con lo que reduce en un 95 % la contribución al efecto invernadero.

- En calefacción/refrigeración y/o ACS, no genera ningún tipo de emisiones a la atmósfera.
- No emite óxidos de nitrógeno, responsable de la lluvia ácida causante de la acidificación del suelo, corrosión de metales, desgaste en edificaciones y daños a seres vivos y plantas.
- No presenta impacto visual, contrariamente al caso de los paneles solares térmicos y fotovoltaicos o en los molinos eólicos.
- El fluido extraído no produce residuos, puesto que es reinyectado al interior de la tierra, sin derivarlos a ríos o lagos.
- No altera la fauna ni su habitat, ni tampoco la flora.
- La energía del interior de la Tierra es inagotable y fluye hacia la superficie.
- Eliminación del riesgo de la Legionella, causante de enfermedades pulmonares.

Entre las desventajas de usar energía geotérmica se encuentran los siguientes:

- Emisiones ocasionales de ácido sulfhídrico y muy bajas emisiones de dióxido de carbono.
- Contaminación térmica.
- Deterioro del terreno.
- No se puede transportar.

La energía geotérmica es considerada fuente de energía limpia y respetuosa con el medio ambiente, que podría contribuir significativamente a la reducción de las emisiones de GEI. La utilización de la energía geotérmica generalmente se

reparte entre la utilizada para la generación de electricidad y la utilizada para aplicaciones de climatización y agua caliente sanitaria.

La energía geotérmica tiene un abanico de posibilidades en cuanto a prestaciones, tanto para viviendas como para instalaciones industriales, porque resulta sencilla de instalar y es cómoda y económica. Entre sus prestaciones, destacan:

**Climatización:** Ya sea calefacción o refrigeración. En verano se puede invertir el sentido de circulación del fluido; el grupo termodinámico capta el calor ambiente o de la red hidráulica de la vivienda o instalación y la refresca con suelo refrescante o ventiloconvectores. El calor extraído se expulsa al exterior mediante los captadores.

**Agua Caliente Sanitaria (ACS):** Se necesita un acumulador de agua caliente en donde pueda ser disipada la energía que capta el generador termodinámico.

**Piscinas climatizadas:** El grupo termodinámico permite calentar el agua de una piscina.

**Suelo radiante:** Si existe suelo radiante, este se aísla, produciendo calor mediante un intercambiador de calor; lo mismo ocurre con las paredes radiantes y los techos radiantes.

Todo este conjunto de prestaciones se puede realizar al mismo tiempo, utilizando en los mismos generadores un sistema de autorregulación, siendo los rendimientos elevados. Existen generadores termodinámicos con un

rendimiento, denominado COP<sup>136</sup>, de hasta 4,6 o más; lo que indica que, por cada kilovatio de electricidad consumido se genera 4,6 kW de calor. Las ventajas que presenta el uso de la energía geotérmica se resumen en las siguientes: i) Menor consumo eléctrico; ii) potencia constante; iii) menor ocupación de espacio; iv) menor gasto de mantenimiento; v) no hay necesidad de uso de chimeneas ni de sistemas de apoyo; vi) no contamina, ni desprende humos ni olores; y vii) respeta el medio ambiente.

Por ello y al igual que la energía solar, la energía geotérmica es una muy interesante fuente de energía limpia y respetuosa con la naturaleza. Esta es la causa por la que no solo se puede emplear esta energía como energía primaria, sino también como una buena energía auxiliar.

### **Zonas de energía geotérmica en España**

Según el mapa geotérmico español, las instalaciones geotérmicas, indicando la profundidad de las prospecciones y la temperatura alcanzada, son las siguientes:

**Islas Canarias: Lanzarote 1 (Profundidad: 2.700 m., Temperatura: 92°C) y Tenerife 1 (Profundidad: 1.000 m., Temperatura: 60°C).**

**Andalucía: Granada: Santa Fe (Profundidad: 550 m., Temperatura: 44°C) y Zújar (Profundidad: 300 m., Temperatura: 50°C).**

**Murcia: Mula 4 (Profundidad: 1.000 m., Temperatura: 50°C) y El Saladillo (Profundidad: 500 m., Temperatura: 51°C).**

**Cataluña: Lleida: Lérida (Profundidad: 1.150 m., Temperatura: 60°C), Girona: Jafre (Profundidad: 970 m., Temperatura: 53°C), Barcelona: San**

---

<sup>136</sup> El coeficiente de operatividad o coeficiente de rendimiento COP de una bomba de calor es la razón entre el calentamiento o enfriamiento proporcionado y la electricidad consumida. Los coeficientes mayores equivalen a menores costes operativos.

**Cugat (Profundidad: 550 m., Temperatura: 58°C), Samalús (Profundidad: 500 m., Temperatura: 80°C), Montbuí (Profundidad: 200 m., Temperatura: 70°C) y Tarragona: Montbrió del Camp (Profundidad: 630 m., Temperatura: 69°C).**

**Galicia: Orense (Profundidad: 600 m., Temperatura: 80°C).**

**Comunidad de Madrid: Tres Cantos (Profundidad: 2.300 m., Temperatura: 83°C), San Sebastián de los Reyes (Profundidad: 2.300 m., Temperatura: 83°C) y Geomadrid (Profundidad: 2.000 m., Temperatura: 80°C).**

**Castilla – La Mancha: Albacete - Casas de Juan Núñez (Profundidad: 800 m., Temperatura: 40°C).**

**Castilla-León: Burgos - Villalonguejar (Profundidad: 2.300 m., Temperatura: 68°C).**

**Illes Balears: Mallorca - LLucmajor (Profundidad: 700 m., Temperatura: 70°C).**

**País Vasco: Guipúzco - Gaztelu (Profundidad: 2.123 m., Temperatura: 55°C).**

Se realizan leves prospecciones en distintas zonas del territorio español y a nivel particular: No existe desarrollo destacable de este tipo de energía en ninguna Comunidad Autónoma.

Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de la energía geotérmica donde su aplicación es poca o nula, ordenados de nula aplicación a poca aplicación, son las Islas Canarias, Andalucía, Murcia, Cataluña, Galicia, Madrid, Castilla – La Mancha, Castilla y León y Baleares. Todas las CCAA tienen gran potencial geotérmico, pero poco desarrollo. En el caso de las Islas Canarias tienen un altísimo potencial geotérmico, pero tiene limitaciones para su desarrollo, como el caso de la isla de Hierro.

En la figura 34 se muestran las zonas con mayores posibilidades geotérmicas en España.

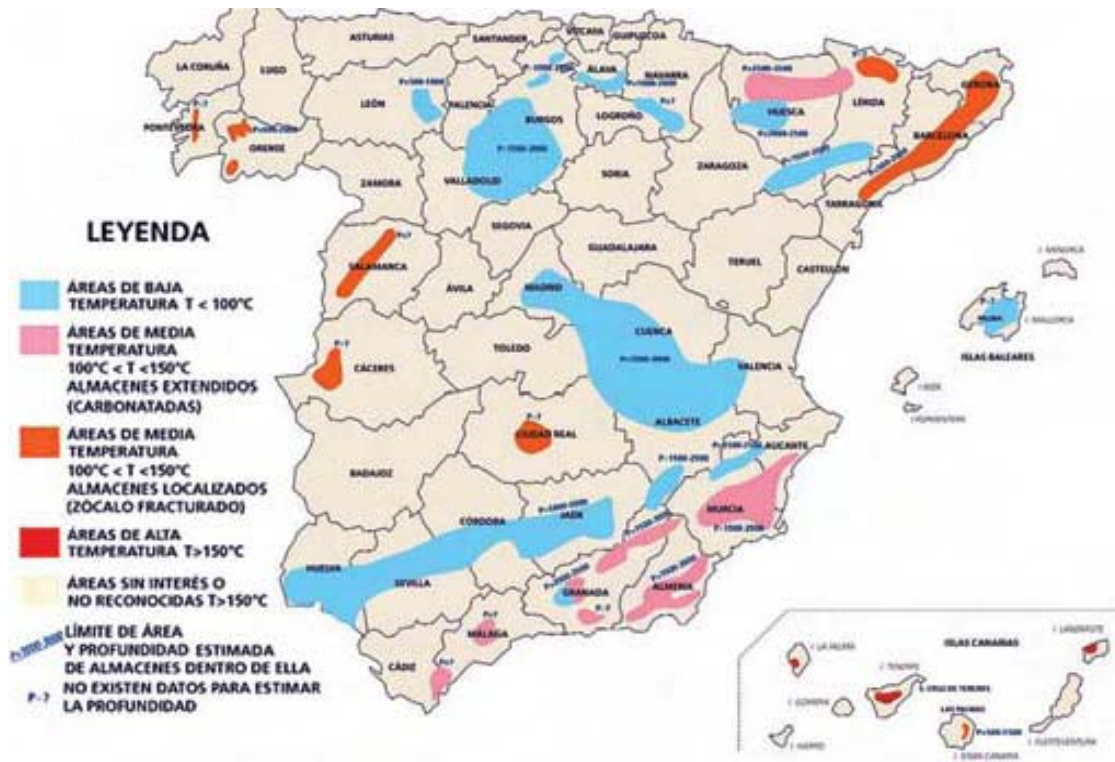


Figura 34: Mapa geotérmico español.

Fuentes: Iberdrola.

En el mapa geotérmico se observa que las zonas de color rojo intenso y naranja son las de mayor potencial geotérmico y el resto tienen menor potencial geotérmico.

### 13. ENERGÍA HIDRÁULICA

La energía hidráulica es aquella que se obtiene de la energía cinética, la cual depende de la velocidad y de la energía potencial dependiente de la altura, del caudal de las corrientes de agua de los ríos, embalses, saltos de agua y

cataratas o mareas. Es la que se obtiene de la caída del agua desde una altura determinada a una altura inferior, provocando el movimiento de ruedas hidráulicas o turbinas. Se puede decir que se trata de una forma de energía renovable, puesto que no se agota ni emite productos contaminantes. Otros autores consideran que produce un gran impacto ambiental debido a la construcción de las presas, que inundan grandes superficies de terreno y modifican el caudal del río y la calidad del agua. Cuando el impacto ambiental es casi cero, como en el caso de las centrales minihidráulicas, la energía se considera verde. Para la obtención de energía hidráulica se requiere la construcción de pantanos, embalses, presas, canales y la instalación de turbinas, generadores y alternadores para la producción de electricidad. A toda la instalación se las denominan plantas o centrales hidroeléctricas. Por otro lado, el agua de lluvia se puede recolectar y retener mediante presas, en la que parte del agua almacenada mueve los alabes de una turbina unida a un generador, produciéndose energía eléctrica.

Una central hidroeléctrica está formada de las siguientes partes:

**Embalse:** Es el lugar donde se acumula el agua de río o lluvia, y donde se regula su caudal.

**Presa:** Es el muro de contención del agua del embalse, es decir, donde se almacena el agua.

**Aliviaderos:** Son las salidas de agua que regulan el volumen de agua almacenada.



**Tuberías forzadas:** Son las tuberías que enlazan el embalse con la sala de máquinas, soportando grandes presiones.

**Canal de descarga:** Es el canal por donde se redistribuye el agua al río.

**Central o sala de máquinas:** Es el edificio donde se genera la energía eléctrica.

Allí se sitúan:

- **Las turbinas:** Son las máquinas que transforman la energía cinética en energía de rotación.
- **El generador-alternador:** Es el dispositivo que va unido a la turbina que convierte la energía de rotación en energía eléctrica.
- **El transformador:** Es el dispositivo que transforma la energía producida en el generador en una corriente de baja intensidad, para transportarla a largas distancias desde la central.

Los modernos generadores y turbinas son capaces de convertir el 90% de la energía presente en el agua en electricidad, lo que supone una tasa muy superior al resto de formas de generación de energía.

Por lo tanto, la generación de electricidad y la generación de calor a través de la energía hidráulica no conlleva la emisión de gases a la atmósfera, estimándose que, actualmente, la energía hidroeléctrica evita la emisión de, aproximadamente, 250 toneladas anuales de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

Dependiendo del nivel de potencia generada por la central, existen tres tipos de centrales hidroeléctricas:

**Centrales gran hidráulica:** Son las centrales de producción cuya potencia es mayor de 10 megavatios. Estas centrales disponen de un embalse donde se almacena el agua de reserva, que sirve para graduar de una manera más eficiente la cantidad de agua que llega hasta la turbina. La ventaja que ofrece es que, al tener siempre agua embalsada como reserva, puede producir energía eléctrica durante todo el año. Dentro de este tipo de centrales se dan otros dos tipos:

- **Centrales de bombeo:** Consistente en dos embalses situados a diferente nivel. Dependiendo de la demanda de energía eléctrica aumentan su producción o no. Al igual que una central convencional, cuando cae el agua que está almacenada en el embalse superior, hace girar la turbina y, cuando es necesario, se bombea el agua del embalse inferior para que, de nuevo, pueda reiniciar el ciclo de movimiento.
- **Centrales hidráulicas de pasada:** Consiste en la no acumulación de grandes cantidades de agua en las turbinas, sino que se aprovecha el caudal disponible que hay en el río en ese momento. Conforme las estaciones del año se van sucediendo, el caudal del río también va cambiando, lo que hace imposible que se desperdicie agua sobrante por rebosamiento de la presa. Este tipo de central tiene la ventaja de que se puede regular en función de la demanda de electricidad.

**Centrales minihidráulicas:** Son centrales de producción de potencias comprendidas entre 1 y 10 MW. Una central minihidráulica o minihidroeléctrica es un tipo especial de central hidroeléctrica. Se utiliza para la generación de energía eléctrica a pequeña escala, a partir de la energía potencial o cinética del

agua. La energía minihidráulica se considera un tipo de energía renovable y se encuentra dentro de la regulación jurídica asociada a este tipo de energías. Las minicentrales han sido muy utilizadas a lo largo del tiempo debido a su pequeño tamaño, su pequeño coste inicial y su facilidad de instalación, por lo que son usadas a nivel local o incluso privado. Existen dos tipos diferentes de centrales minihidráulicas:

- **Centrales de agua fluyente:** En estas centrales se desvía el agua de un río por un canal y a través de tuberías hasta alcanzar una turbina que genera electricidad. Posteriormente el agua es devuelta a su cauce.
- **Centrales a pie de presa:** Estas centrales basan su funcionamiento en el almacenamiento del agua en un embalse, vaciándose por una tubería ubicada en la base de la presa que va a desembocar en una turbina.

**Centrales microhidráulicas:** Son centrales de producción de potencias menores a 1 megavatio. Un sistema microhidráulico puede funcionar con cantidades mínimas de agua, produciendo la electricidad a partir de un generador que utiliza la presión de la tubería de un sistema de riego por aspersión, teniendo la capacidad de proporcionar electricidad a un pequeño poblado. El diseño de la central microhidráulica es simple, siendo idónea para usos estacionarios, viviendas aisladas, granjas, urbanizaciones, poblaciones o para vender a la red.

A una escala menor, existen diseños de central microeléctrica que pueda ser sostenida por saltos de agua o arroyos no muy grandes más una turbina hidroeléctrica que genere electricidad de manera continua ya que esta se puede

acumular en baterías. Es una estructura capaz de abastecer una red de alumbrado público, una escuela o un hospital.

Entre las ventajas más destacables de la energía hidráulica se encuentran: i) se trata de una energía renovable; ii) es una fuente inagotable mientras no se altere el ciclo del agua; iii) no produce calor ni sustancias contaminantes; se trata de una energía limpia; iv) posee un alto rendimiento energético; v) elimina el coste del uso de combustibles fósiles; vi) no son necesarias calderas ni sistemas de refrigeración; vii) las plantas hidráulicas tienen vidas económicas más largas que las plantas eléctricas convencionales; viii) las plantas hidráulicas no queman combustible, por lo que directamente no producen CO<sub>2</sub>, aunque se produce en la construcción de las plantas en pequeñas cantidades; ix) la construcción de centrales minihidroeléctricas son más respetuosas con el medio ambiente, más económicas y rentables, por lo que a pequeña escala resultan idóneas; y x) permite el almacenaje de agua para riego y otros usos, como emergencias, extinción de incendios y otros.

Los inconvenientes asociados al uso de energía hidráulica son: i) la construcción de grandes embalses puede inundar importantes extensiones de terreno, además de alterar el paisaje; ii) en situación de sequía, disminuye la producción de energía y el rendimiento de la central; iii) presenta impacto medioambiental en los ecosistemas acuáticos, ríos y pueblos cercanos; iv) causa cambios en los ecosistemas del río aguas abajo, debido a que el agua que sale de las turbinas apenas tiene sedimento, por lo que los nutrientes no llegan a la zona baja de los ríos; v) causa una mayor contaminación del agua, debido al agua estancada; y

vi) necesidad de realizar una gran inversión en infraestructuras para la producción y conducción de electricidad.

### **Zonas de energía hidráulica en España**

Teniendo en cuenta que para que exista una central hidroeléctrica de media presión se necesita una altura de entre 25 y 200 m, la gran mayoría de los embalses españoles cumple con esos requisitos. A partir de una altura de embalse superior a los 200 m, los embalses sirven para construir centrales hidroeléctricas de alta presión. El único embalse que cumple con este requisito es el de Almendra – Duero – Salamanca – Castilla y León con 202,00 m de altura.

Las Comunidades Autónomas con mayor potencial hidráulico son

**Extremadura:** Con una capacidad total de, aproximadamente, 14.225 hectómetros cúbico ( $\text{hm}^3$ ), tiene una capacidad actual de agua embalsada de 10.757  $\text{hm}^3$ . Los embalses con mayor cantidad de agua embalsada son **La Serena, Cijara, Orellana y Alange en Badajoz y Alcántara en Cáceres.**

**Andalucía:** Con una capacidad total de, aproximadamente, 11.569  $\text{hm}^3$ , tiene una capacidad actual de agua embalsada de 9.117  $\text{hm}^3$ . Los embalses con mayor cantidad de agua embalsada son **Iznajar y La Breña II en Córdoba, Tranco de Beas en Jaén, Guadalcacín en Cádiz y Negratín en Granada.**

**Castilla y León:** Con una capacidad total de aproximadamente 8.278  $\text{hm}^3$ , tiene una capacidad actual de agua embalsada de 5.789  $\text{hm}^3$ . Los embalses con mayor cantidad de agua embalsada son **Almendra en Salamanca, Ricobayo en Zamora y Riaño y Bárcena en León.**

**Castilla La Mancha:** Con una capacidad total de aproximadamente 5.744  $\text{hm}^3$ , tiene una capacidad actual de agua embalsada de 3.141  $\text{hm}^3$ . Los embalses con

mayor cantidad de agua embalsada son **Buendía y Entrepeñas en Guadalajara, Alarcón en Cuenca y El Cenajo en Albacete.**

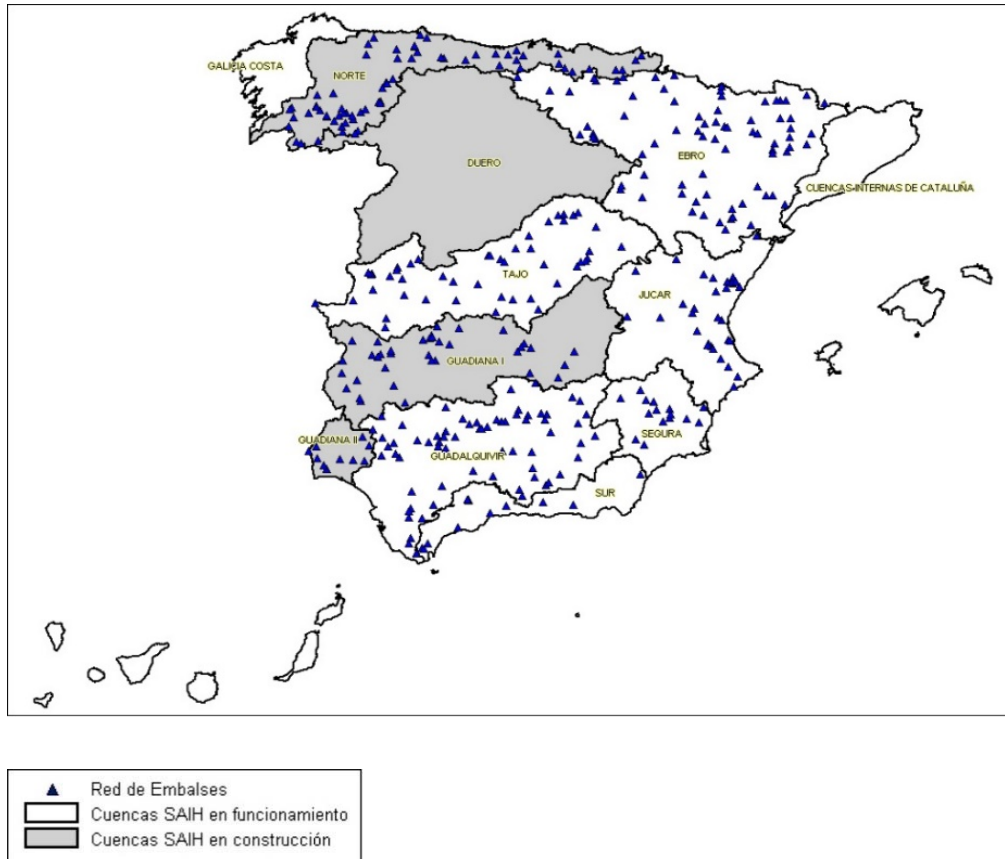
**Aragón:** Con una capacidad total de aproximadamente 4.326 hm<sup>3</sup>, tiene una capacidad actual de agua embalsada de 3.013 hm<sup>3</sup>. Los embalses con mayor cantidad de agua embalsada son **Caselles, Mediano y El Grado en Huesca y Mequinenza en Zaragoza.**

El resto de las Comunidades Autónomas en orden de importancia en capacidad de agua embalsada son **Galicia, Cataluña, Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Navarra, Cantabria, Asturias, País Vasco y La Rioja.**

Las Comunidades Autónomas donde la aplicación de la energía hidráulica está más desarrollada, por orden de importancia, son **Galicia, Cataluña, Aragón, Castilla y León, Navarra, Andalucía y Castilla – La Mancha.**

Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de la energía hidráulica donde su aplicación es poca o nula, ordenados por orden ascendente, son Extremadura, Comunidad Valenciana, Comunidad de Madrid, Cantabria, Asturias, País Vasco, y La Rioja.

En la figura 35 se muestran las zonas de embalses en España.



**Figura 35: Mapa hidráulico español.**

Fuente: CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).

Las zonas de color son las cuencas SAIH<sup>137</sup> en construcción y las claras las cuencas SAIH en funcionamiento.

## 14. ENERGÍAS MARINAS

La energía marina es aquella generada por el movimiento de las olas y las mareas, para producir energía eléctrica o incluso termoeléctrica.

<sup>137</sup> El Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) es capaz, basándose en procedimientos informáticos, de captar, transmitir, procesar y presentar información del estado hidrológico e hidráulico de la cuenca, incluyendo el conocimiento puntual del funcionamiento de los dispositivos y obras de control que en ella se ubican.

En el caso de mareas, debido a que para que pueda aprovecharse dicha energía la amplitud de las mareas ha de ser como mínimo de unos cinco metros, el número de lugares que cumplen con dicho requisito está muy limitado.

Existen cinco tipos de energía marina, dependiendo de donde y de cómo se obtenga, González (2009): energía mareomotriz, energía undimotriz, energía de las corrientes marinas, energía térmica oceánica o maremotérmica y energía de ósmosis llamada también energía azul.

La gran ventaja de este tipo de energía es que se reproduce las 24 horas al día, con más fuerza en invierno que en verano. La energía mareomotriz y la undimotriz son las más utilizadas.

### **Energía mareomotriz**

Es la energía obtenida del movimiento de las mareas, generado por la interacción gravitatoria entre la Tierra y la Luna. Este movimiento produce energía cinética que se puede transformar en electricidad. La amplitud de las mareas ha de ser al menos de unos cinco metros. El funcionamiento de una planta mareomotriz es sencillo: cuando se eleva la marea se abren las compuertas del dique y entra el agua en un embalse donde una vez se llega al nivel máximo, se cierran las compuertas. Posteriormente, cuando la marea desciende por debajo del nivel del embalse, alcanzando su amplitud máxima entre este y el nivel del mar, se abren las compuertas dejando pasar el agua por las turbinas a través de los estrechos conductos. Actualmente, la electricidad se transporta mediante cables a islas artificiales. El coste es alto, debido a que la costa ha de estar configurada para el confinamiento de grandes cantidades de agua en recintos naturales o diques con unas compuertas que permitan la entrada de agua durante la marea alta,



vaciándose cuando la marea está baja; pasando, posteriormente, a través de las turbinas, generando electricidad.

### **Energía undimotriz**

Es la energía obtenida del aprovechamiento de la fuerza de las olas, las cuales se producen por el rozamiento del aire que actúa sobre la superficie del mar. Existen dos tipos de dispositivos para el aprovechamiento de la energía de las olas:

**Dispositivos fijos:** Son dispositivos instalados a lo largo de la línea costera, en la rompiente de la ola fijados al lecho marino en aguas poco profundas. Algunas de las ventajas de los dispositivos flotantes están básicamente en el mantenimiento, teniendo como desventaja la limitada cantidad de lugares para su instalación. Suelen ser estructuras grandes y pesadas.

**Dispositivos flotantes:** Los dispositivos de generación de energía eléctrica undimotriz de tipo flotante son sistemas que flotan en el océano cerca de la costa (*offshore*), sobre la superficie o sumergidos.

### **Energía de las corrientes marinas**

Es una energía obtenida del aprovechamiento de la energía cinética de las corrientes marinas. Las corrientes marinas son fuentes de energía más predecibles que el viento y la luz solar. El proceso de captación se basa en el uso de convertidores de energía cinética similares a los aerogeneradores empleando en este caso instalaciones submarinas. Este tipo de energía es similar a la energía eólica y suele ser rentable con velocidades de entre 1 y 3 m/s. El potencial de generación de energía eléctrica a partir de las corrientes

marinas de las mareas es enorme. Hay varios factores que hacen que la generación de electricidad a partir de las corrientes marinas sea muy atractiva en comparación con otras energías renovables: i) los altos factores de carga debido a las propiedades del fluido, previendo los recursos, evitando la intermitencia; ii) los recursos potencialmente grandes pueden ser explotados con escaso impacto ambiental; y iii) la viabilidad de las instalaciones de energía de corrientes marinas para proporcionar energía a la red eléctrica.

La explotación de la energía de las corrientes marinas se basa en el empleo de generadores posicionados en medio del flujo. Los generadores se pueden clasificar en tres tipos:

**Rotores de flujo axial:** El eje es horizontal y en la misma dirección del flujo. Son parecidos a las hélices de los aviones o los generadores eólicos. La mayoría de ellos están en fase conceptual y bajo patente.

**Rotores de eje vertical:** Reciben el flujo de la corriente en sentido transversal al eje.

**Alerones:** Basculan alternativamente al ser impulsadas por el flujo.

Son grandes las ventajas que se pueden obtener de estos aprovechamientos; entre ellas cabe citar: i) las corrientes marinas cuentan con una alta predictibilidad ya que tanto las corrientes provocadas por causas inerciales como las mareales, mantienen sus caudales conocidos y prácticamente constantes según la época del año; ii) tienen factores de capacidad<sup>138</sup> entre el 40 y 60 %, llegando a ser el doble que el de otras energías renovables; iii) impacto

---

<sup>138</sup> El factor de capacidad, también llamado factor de planta o factor de carga es el empleado para calificar la calidad de un generador.

medioambiental mínimo; no producen contaminación visual, polución o ruido ya que sus rotores, son lo suficientemente lentos, por lo que no afecta a la vida marina; iv) poseen una alta capacidad energética, pues la densidad del agua del mar tiene de promedio el valor de 1.012 kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), mayor que la densidad del aire; v) las condiciones bajo el mar durante una tormenta son relativamente benignas; se puede decir que esta tecnología es inmune a las tormentas, al contrario que los sistemas situados en la costa o los que aprovechan la energía de las olas; vi) tiene menores costes de construcción y mantenimiento; y vii) los tiempos de retorno y de la inversión son cortos.

### **Energía maremotérmica o térmica oceánica**

Es la energía obtenida del aprovechamiento del gradiente térmico de los océanos, que es la diferencia de temperatura que existe entre la superficie del mar y las aguas profundas. La energía maremotérmica, también conocida como conversión de energía térmica oceánica, Ocean Thermal Energy Conversion, (OTEC u OTE) es un tipo de energía renovable que utiliza las diferencias entre la temperatura de las aguas oceánicas profundas, más frías, y la temperatura de las aguas superficiales, más cálidas, para hacer funcionar una máquina térmica y producir trabajo útil, generalmente en forma de electricidad. El gradiente térmico ha de ser al menos de  $20^{\circ}\text{C}$ . La energía térmica se transforma en energía eléctrica utilizando el Ciclo de Rankine<sup>139</sup>; siendo el foco caliente el agua de la superficie del mar y el foco frío el agua de las profundidades marinas. En diferentes zonas del mundo el agua tiene distintas temperaturas dependiendo de

---

<sup>139</sup> El ciclo de Rankine es un ciclo termodinámico que tiene como objetivo la conversión de calor en trabajo, constituyendo lo que se denomina un ciclo de potencia. Como cualquier otro ciclo de potencia, su eficiencia está acotada por la eficiencia termodinámica de un ciclo de Carnot que operase entre los mismos focos térmicos. El ciclo surge como una mejora del Ciclo de Carnot al buscar tener una mejor relación de trabajo (trabajo útil respecto del trabajo total).

la profundidad en que se encuentre, en especial en los trópicos donde pueden distinguirse tres capas térmicas:

**Capa superficial:** Esta capa está comprendida entre 100 y 200 m de espesor, actuando como colector de calor, con temperaturas entre los 25 y 30 °C.

**Capa intermedia:** Esta capa está comprendida entre los 200 y 400 m de profundidad, con una variación rápida de temperatura, actuando como barrera térmica entre las capas superior y profunda.

**Capa profunda:** En esta capa la temperatura disminuye suavemente hasta alcanzar la temperatura de 4 °C a 1.000 m, alcanzando la temperatura de 2 °C a 5.000 m, donde el agua se mantiene líquida por efecto de la presión.

Al usar el agua superficial para calentar un líquido con un punto de ebullición bajo, utilizando un intercambiador de calor, este se transforma en vapor que podría mover una turbina para generar electricidad. El vapor se enfría en otro intercambiador de calor en contacto con el agua fría de las profundidades, para reiniciar el ciclo de generación.

Entre las ventajas que presenta este tipo de energía marina destacan las siguientes: i) son fuentes de energía limpias y renovables, en el que el agua caliente de la superficie y el agua fría del fondo del océano reemplaza la utilización de combustibles fósiles; ii) conllevan mínima o nula producción de dióxido de carbono y otras sustancias químicas, que contribuyen al calentamiento global y a la lluvia ácida; iii) los sistemas y centrales maremotérmicos producen agua potable y electricidad; iv) la cantidad de energía solar acumulada sobre las capas superficiales del océano podrían llegar a cubrir la mayoría de las necesidades energéticas de la humanidad; v) reducen la

utilización y dependencia de combustibles fósiles importados; y vi) emplean agua fría del fondo oceánico, una vez ya utilizada en la producción de energía maremotérmica, para la producción de aire acondicionado en edificios, alimentación de peces y crustáceos, algas y plantas marinas.

Entre los inconvenientes que presenta el uso de la energía maremotérmica destacan: i) los costes de las plantas maremotérmicas superan los costes del empleo de combustibles fósiles; ii) las plantas maremotérmicas deben estar ubicadas en zonas cuya variación de temperatura a lo largo del año sea de, aproximadamente, 20 ° C; y iii) la construcción de centrales y la tubería requerida para el funcionamiento del sistema puede afectar a los arrecifes coralinos y ecosistemas costeros.

### **Energía de ósmosis<sup>140</sup> o energía azul**

Es la energía obtenida del aprovechamiento del gradiente de salinidad en aguas de diferente concentración salina o bien por la diferencia en la concentración de la sal entre el agua de mar y el agua de los ríos mediante los procesos de ósmosis, los cuales tienen una alta densidad energética y carácter no intermitente. Cuando se pone en contacto agua dulce y agua marina, por ejemplo, en la desembocadura de un río, se liberan grandes cantidades de energía. Esta energía tiene su origen en un fenómeno natural de ósmosis y por ello recibe el nombre de energía osmótica, aunque también se ha adoptado el término más comercial de “energía azul”. A través de una membrana semipermeable artificial se separa en dos cámaras el agua dulce de río y el agua

---

<sup>140</sup> La ósmosis es el fenómeno que se produce cuando dos soluciones con diferente concentración son separadas por una membrana semipermeable y el solvente difunde a través de la membrana del líquido de menor concentración al de mayor hasta equilibrar las concentraciones. Este fenómeno se produce de forma espontánea sin gasto energético.

salada del mar. Al producirse la separación de sustancias, el agua incrementa su nivel de tal manera que se presuriza generando más potencia y se utiliza esta potencia para mover unas turbinas y producir energía. Este tipo de energía es muy interesante debido a que la instalación de una planta de “energía azul” del tamaño de un campo de fútbol puede generar energía para suplir las necesidades de 30.000 hogares, a la vez que el residuo en este proceso es únicamente agua salobre. Esta fuente de energía renovable presenta un gran potencial en regiones con ríos caudalosos.

### **Tecnologías marinas**

Existen básicamente tres tipos de tecnologías marinas, dependiendo de la distancia a la que se encuentran las instalaciones marinas de la costa:

**Tecnología onshore (en la costa):** La instalación de los dispositivos se realiza en la costa, en acantilados integrados en diques o sobre el fondo, en aguas poco profundas. Se les denomina “dispositivos de 1ª generación”. Estos dispositivos son fáciles de instalar, no existen amarres, tienen bajo coste de mantenimiento, una mayor supervivencia y una menor distancia a la costa para el transporte e integración de la energía producida. Tiene como limitaciones el reducido número de ubicaciones potenciales y tiene impacto medioambiental y visual.

**Tecnología nearshore (cerca de la costa):** Sus dispositivos se ubican en aguas poco profundas, con profundidades comprendidas entre 10 y 40 metros, distanciados de la costa a unos cientos de metros. Esta tecnología es apropiada para dispositivos de gran tamaño apoyados por gravedad sobre el fondo o bien flotantes y se le denomina “dispositivos de 2ª generación”. Se utiliza con el fin de eliminar los problemas asociados a los dispositivos onshore, evitando sistemas de fondeo costosos.

**Tecnología offshore (fuera de la costa, en aguas continentales):** Los dispositivos flotantes o sumergidos se instalan en aguas profundas, con profundidades comprendidas entre 50 y 100 metros. Esta tecnología tiene el mayor potencial energético en alta mar. Se le denomina “dispositivos de 3ª generación”, utilizándose tecnologías muy fiables y caras. Para que resulte rentable se requieren plantas con potencias instaladas de decenas de megavatios, llegando a ocupar superficies extensas y a interferir con la navegación.

Las principales ventajas de la energía marina son: i) es una fuente limpia, no contaminante; ii) no impide la actividad pesquera ni tiene efectos negativos importantes sobre la fauna acuática; iii) es una energía renovable (autorenovable); iv) no produce ruidos; iv) no afea el paisaje, ya que los aparatos se sitúan a gran distancia de la costa; v) no existen inconvenientes por parte de los grupos ecologistas, por considerarlo el menos dañino; vi) bajo coste de materia prima; y vii) se pueden aplicar en todo momento.

Los principales inconvenientes de las energías marinas son: i) tiene un alto coste en la inversión y en el traslado de la energía; ii) tiene un alto desarrollo tecnológico; iii) no es barata; iv) tiene impacto visual en el paisaje costero; v) su localización es puntual; vi) depende de la amplitud de las mareas; y vii) dependiendo de donde se instale puede tener efectos negativos en flora y fauna.

### **Zonas de energías marinas en España**

España tiene un potencial marino de unos 40 gigavatios (GW), de los cuales son explotables de forma comercial unos 16 GW. Toda la costa norte española tiene un potencial energético undimotriz muy alto debido a que a 4 km de la costa las profundidades son pequeñas, del orden de 50 metros de profundidad. Asimismo,

también tiene un alto potencial energético mareomotriz, debido a que la diferencia entre la marea baja (bajamar) y la marea alta (pleamar) es significativa.

Así, se puede decir que la costa Atlántica, la costa Cantábrica, las Islas Canarias y la zona del Estrecho, son las zonas con mayor potencial energético marino.

En Cantabria, más concretamente en Santoña, se construyó una planta piloto (SWEP- *Santoña Wave Energy Project*), con una potencia instalada de 1,4 megavatios eléctricos (MWe) a 4 km de la costa.

En País Vasco, se han realizado diversos proyectos I + D en Energías Marinas (Mutriku, *Waveplam*, *bimep*).

En Galicia, se han realizado proyectos como *Wavecat*, que trata de un sistema offshore para generación de energía eléctrica.

En Asturias, la empresa Asturfeito junto con la empresa catalana Hidroflot crearon “Asturflot” fundando un proyecto con una planta piloto de 1,5 MW en el occidente asturiano (Proyecto Calma).

Las Comunidades Autónomas con mayor potencial de energías marinas (mareomotriz y undimotriz) son:

**Galicia. (El Ferrol (0,15 metros (m) - 4,22 m); A Coruña (0,00 m - 4,08 m) y Vigo (-0,01 m - 4,04 m)).**

**Cantabria. (Santander (0.01 m – 4,75 m)).**

**País Vasco. (San Sebastián (0,2 m – 4,70 m); Pasajes (0,10 m – 4,61 m) y Bilbao (- 0.06 m – 4,57 m)).**

**Asturias. (Gijón (0,12 m – 4,60 m) y Avilés (0,15 m – 4,44 m)).**

**Islas Canarias. (Tenerife (0,60 m – 2,80 m) y Las Palmas (0,40 m – 2,80 m)).**



**Andalucía. (Cádiz (0,10 m – 3,70 m) y Huelva (0,00 m – 3,90 m)). Zona del Estrecho.**

Las Comunidades Autónomas donde la aplicación de las energías marinas está más desarrollada, por orden de importancia, son: **Galicia, Cantabria, País Vasco y Asturias.**

Las Comunidades Autónomas con potencial en el desarrollo de las energías marinas donde su aplicación es poca o nula, ordenados de nula aplicación a poca aplicación, son Cantabria, País Vasco, Galicia, Asturias, Islas Canarias y Zona del Estrecho. Están en fase experimental y todas ellas tienen un gran potencial marino y gran potencial de desarrollo. A continuación, se muestran las zonas con mayor potencial eólico marino en España, donde las zonas de color rojo intenso son las de mayor potencial, pero que presenta problemas de tipo político, medioambiental u otros, por lo que no es posible su explotación.

En la figura 36 se puede observar el mapa eólico marino.



**Figura 36: Mapa eólico marino español.**

Fuentes: IDAE.

No obstante, se trata de indicar las zonas de mayor potencial marino mareomotriz y undimotriz, por lo que las zonas con mayor potencial son las zonas verdes y amarillas del norte de España, el Estrecho y las Islas Canarias, donde se pueden aplicar prácticamente sin problemas.

## 15. PILAS DE COMBUSTIBLE

Las pilas de combustible, también llamadas celdas o células de combustible, son dispositivos electroquímicos similares a las baterías, donde los reactivos típicos son hidrógeno en el ánodo (polo positivo) y oxígeno en el cátodo (polo negativo). Se diferencian de las baterías en: i) Las pilas de combustible se pueden reabastecer de forma continua de los reactivos consumidos, ya que la fuente de combustible es externa; ii) las baterías tienen una capacidad de almacenamiento de energía limitada; iii) en las pilas de combustible, los electrodos son catalíticos<sup>141</sup> y por lo tanto, estables; iv) en las baterías, los electrodos reaccionan y cambian según si está cargada o descargada; y v) en las baterías, los reactivos son sólidos y han de ser eliminados o recargados mediante una fuente de electricidad, una vez se hayan agotado.

Las pilas de combustibles menos dañinas para el medio ambiente son las pilas de hidrógeno que pueden ser recargadas de dos maneras:

- Mediante bombonas de hidrógeno, que se compran en establecimientos a tal efecto y son más baratas.

---

<sup>141</sup> En el contexto de la electroquímica, específicamente en la ingeniería de las pilas de combustible, que contienen varios metales, los catalizadores se utilizan para mejorar las velocidades de las semirreacciones que conforman la pila de combustible. Un tipo común de electrocatalizador de pila de combustible se basa en nanopartículas de platino que están soportadas en partículas un poco mayores de carbón. Cuando este electrocatalizador de platino está en contacto con uno de los electrodos en una pila de combustible, aumenta la velocidad de reducción del oxígeno a agua (o hidróxido o peróxido de hidrógeno).

- Mediante un hidrolizador, que descompone el agua en hidrógeno y oxígeno, mediante paneles solares fotovoltaicos, resultando más caro, más autónomo, pero también mucho más ecológico, ya que no solamente no contamina, sino que añade oxígeno a la atmósfera.

Las pilas de combustible sirven al sector transporte, pero se puede, y de hecho se hace, utilizar para generación de electricidad a nivel particular o en zonas aisladas y sobre todo como energía auxiliar o de apoyo a la red eléctrica.

El funcionamiento de una pila de combustible consiste en una membrana de polímeros conductora de protones, donde están separados el ánodo y el cátodo (en un dispositivo que consume energía el ánodo es el polo positivo y el cátodo es el polo negativo, mientras que en un dispositivo que proporciona energía el ánodo es el polo negativo y el cátodo es el polo positivo), de manera que el hidrógeno llega al ánodo catalizador donde se disocia en protones y electrones. Los protones son conducidos a través de la membrana polimérica, convenientemente humidificada, al cátodo y los electrones son forzados a viajar a través de un circuito externo, produciendo energía, ya que la membrana está aislada eléctricamente. El catalizador utilizado suele ser platino o paladio, el primero mejorado con seda de carbono. En el catalizador del cátodo, las moléculas de oxígeno reaccionan con los electrones (conducidos a través del circuito externo) y protones formando agua, cuyo residuo es el vapor de agua o agua líquida, siendo habitual humidificar los gases previamente al ingreso a la pila.

Además de hidrógeno puro, también existe el hidrógeno contenido en otras moléculas de combustibles incluyendo el combustible diésel, metanol y los hidruros químicos, en la que el residuo producido por este tipo de combustibles,

además de agua, es el dióxido de carbono, entre otros. Por ello como energía limpia se utiliza el hidrógeno puro.

Los requisitos necesarios para el funcionamiento de la pila de combustible son:

**Gestión del agua:** La membrana debe hidratarse, requiriendo evaporar el agua exactamente en la misma medida en que ésta es producida. Si el agua se evapora demasiado rápido, la membrana se seca, la resistencia a través de ella aumenta, y se agrietará, creando un "cortocircuito" de gas donde el hidrógeno y el oxígeno se combinan directamente, generando calor que dañará la celda de combustible. Si el agua se evapora demasiado lentamente, los electrodos se inundarán, evitando que los reactivos puedan alcanzar el catalizador y la reacción se parará.

**Gestión de la temperatura:** Debe mantenerse la misma temperatura en toda la celda para evitar su destrucción por fatiga térmica.

**Control de flujo:** Hay que mantener una relación constante entre el reactivo y el oxígeno para que la celda funcione de manera eficiente.

**Durabilidad, vida y requisitos especiales:** Los usos prolongados requieren más de 40.000 horas operativas fiables en un intervalo de temperatura comprendido entre los  $-35^{\circ}\text{C}$  y los  $40^{\circ}\text{C}$ , mientras que las células de combustible para automoción requieren al menos de 5.000 horas bajo temperaturas extremas. Además, se debe permitir el arranque en frío hasta  $-30^{\circ}\text{C}$  y poseer una alta potencia por unidad de volumen, generalmente 2,5 kilovatios por litro.

**Tolerancia:** Tolerancia limitada al monóxido de carbono.

Para una pila de hidrógeno, el rendimiento, que es el cociente entre la energía real y la energía teórica, es igual a la tensión de la celda dividida por 1,23 voltios (V), a una temperatura de 25 °C. Esta tensión depende del combustible usado, de la calidad de la célula y de la temperatura de la misma, teniendo que considerar las pérdidas debidas a la producción, transporte y almacenaje.

Una célula de combustible que funcione a 0,6 V tendrá un rendimiento cercano al 50 %, más exactamente un 48,78 %, lo que significa que el 48,78 % de la energía contenida en el hidrógeno es convertida en energía eléctrica. Los vehículos con célula de combustible que funcionan con hidrógeno comprimido tienen una eficiencia del 22 % si el hidrógeno se almacena como gas a alta presión, y del 17 % si se almacena como hidrógeno líquido. Las células de combustible no pueden almacenar energía como una batería, sino que en algunos usos se combinan con electrolizadores y sistemas de almacenaje formando un compuesto que almacena esta energía. El rendimiento del proceso es reversible, de electricidad al hidrógeno y de hidrógeno a electricidad; en estas plantas está comprendido entre el 30 y el 40 %.

En cuanto a los usos de las celdas de combustible, son muy útiles como fuentes de energía en lugares remotos y de difícil acceso, como naves espaciales, estaciones meteorológicas alejadas, localizaciones rurales, y en ciertos usos militares. Un sistema con celda de combustible que funciona con hidrógeno puede ser compacto, ligero y no tiene piezas móviles importantes. Los sistemas electrolizadores necesitan unidades de batería externas para almacenar el combustible; lo que supone un problema serio para las áreas rurales. En este caso, las baterías tienen que ser de gran tamaño para satisfacer la demanda del almacenaje, pero aun así esto supone un ahorro con respecto a los dispositivos

eléctricos convencionales. Para generación de energía eléctrica autónoma, los paneles solares generan la corriente para hacer funcionar uno o varios electrolizadores que producen hidrógeno el cual se almacena en un tanque de volumen adecuado, a una presión comprendida entre 10 y 80 bares.

Este combustible se utiliza para hacer funcionar una celda de combustible de hidrógeno proporcionando suficiente energía eléctrica para fines residenciales. También se utiliza como plantas de potencia, vehículos eléctricos en el sector del automóvil, barcos, submarinos, aviones, estaciones de servicio, sistemas auxiliares de energía y/o sistemas de apoyo a la red eléctrica.

Las ventajas que presentan las pilas de combustible son: i) Alta eficiencia; ii) cero emisiones; iii) reducción del peligro medioambiental que tienen las industrias extractivas; iv) uso de catalizadores más baratos y eficientes como el platino o el paladio, aunque con una menor vida útil; v) funcionamiento silencioso y contaminación ambiental nula; vi) admisión de diferentes combustibles; vii) altas densidades energéticas; viii) bajas temperaturas y bajas presiones de trabajo; ix) flexibilidad de emplazamiento; x) capacidad de cogeneración; xi) carácter modular; xii) simplicidad del dispositivo; xiii) seguridad energética, puesto que el hidrógeno se puede formar a partir de gas natural, electrolisis del agua, o fuentes renovables como la solar fotovoltaica, eólica, y otras fuentes renovables; y xiv) independencia de la red eléctrica.

Los principales inconvenientes del uso de las pilas de combustible son: i) Es costoso; ii) los catalizadores están sobredimensionados; iii) limitación de las reservas de platino, con el consiguiente aumento de los precios del platino; iv) alto peso de las pilas de combustible; v) elevado gasto energético para licuar el hidrógeno; vi) tecnología emergente, repercutiendo en su comercialización; vii)

no es competitiva con las tecnologías convencionales; viii) sensibilidad hacia los venenos catalíticos, como monóxido de azufre o monóxido de carbono, ya que provocan su inactividad irreversible; y ix) problemas con la estanqueidad y el almacenamiento de las bombonas de hidrógeno, puesto que se oxida de forma natural en contacto con el aire, con el consiguiente peligro de explosión, aunque este riesgo suele estar muy controlado.

### **Zonas de desarrollo de pilas de combustible en España**

El desarrollo de las pilas de combustible, y en concreto las de hidrógeno no está limitado y todas las Comunidades Autónomas son potencialmente aptas para su desarrollo, tanto para uso energético (energía eléctrica) como para su uso en el sector transporte.

En España se encuentra mineral de litio (muy utilizado en transporte y en máquinas de absorción) en las siguientes zonas:

**Extremadura: Badajoz: Albuquerque (Arroyos) y Cáceres: Cañaveral (Las Navas, Cáceres (Trasquilón).**

## **16. ENERGÍA NUCLEAR**

La energía nuclear, también denominada energía atómica, es la energía contenida en el núcleo del átomo y que se libera en cantidades importantes en procesos que afectan a los núcleos densos de los átomos. Los átomos son las partículas más pequeñas en que puede dividirse un elemento químico manteniendo sus propiedades. En el núcleo de cada átomo hay dos tipos de partículas, los neutrones y los protones, que se mantienen unidos, por lo que la energía nuclear es la energía que mantiene unidos a los neutrones y a los protones. La energía nuclear se puede utilizar para producir electricidad, aunque

también tiene otros usos, una vez que la energía ha sido liberada. Esta energía se puede obtener de dos formas, mediante fisión nuclear y mediante fusión nuclear. En la fisión nuclear, los núcleos de los átomos se separan para formar núcleos más pequeños, liberando energía. Las centrales nucleares utilizan la fisión nuclear para producir electricidad. En la fusión nuclear, la energía se libera cuando los núcleos de los átomos se combinan o fusionan entre sí para formar un núcleo más grande, en la misma forma que el Sol produce energía. Cuando se produce una de estas dos reacciones nucleares, la fisión o la fusión nuclear, los átomos experimentan una ligera pérdida de masa, que se convierte en una gran cantidad de energía calorífica y radiación. La energía calorífica producida se utiliza para producir vapor y generar electricidad. Aunque la producción de energía eléctrica es la utilidad más habitual que se le suele dar a la energía nuclear, también se puede aplicar en muchos otros sectores, como en el campo de la medicina y/o en el sector medioambiental.

### **Fisión nuclear**

En la fisión nuclear, el núcleo de un átomo como el del uranio o el plutonio se divide en dos núcleos más ligeros de, aproximadamente, igual masa. El proceso puede tener lugar espontáneamente en algunos casos o puede ser inducido por el bombardeo del núcleo con una variedad de partículas, como neutrones, protones, deuterones o partículas alfa; o bien, con radiación electromagnética en forma de rayos gamma. En el proceso de fisión se libera una gran cantidad de energía, se forman productos radiactivos y se emiten varios neutrones. Estos neutrones pueden inducir la fisión en un núcleo cercano de material fisionable y liberar más neutrones que pueden repetir la secuencia, provocando una reacción en cadena en la que una gran cantidad de núcleos sufren nuevamente fisión,



liberándose una enorme cantidad de energía. Si se controla en un reactor nuclear, tal reacción en cadena puede proporcionar energía en beneficio de la sociedad. Si no se controla, puede provocar una explosión de una gran fuerza destructiva.

### **Fusión nuclear**

La fusión nuclear es el proceso mediante el cual las reacciones nucleares entre elementos ligeros forman elementos más pesados. En los casos en que los núcleos que interactúan pertenecen a elementos con números atómicos bajos, como el hidrógeno o sus isótopos deuterio y tritio, se libera grandes cantidades de energía. El gran potencial energético de la fusión nuclear se utilizó en un principio en armas termonucleares o bombas de hidrógeno, estando en la actualidad enfocado a posibles aplicaciones pacíficas como la producción de energía eléctrica.

Estas reacciones pueden absorber o liberar energía, según si la masa de los núcleos es mayor o menor que la del hierro, respectivamente. Un ejemplo de reacciones de fusión son las que tienen lugar en el sol, en las que se produce la fusión de núcleos de hidrógeno para formar helio, liberando en el proceso una gran cantidad de energía en forma de radiación electromagnética, que alcanza la superficie terrestre y que percibimos en forma de luz y calor. Para que tenga lugar una reacción de fusión, es necesario alcanzar unas altas cotas de energía como consecuencia de que los núcleos se aproximen a distancias muy cortas en las que la fuerza de atracción nuclear supere las fuerzas de repulsión electrostática. Para ello, se deben cumplir los siguientes requerimientos: i) Para lograr la energía necesaria se pueden utilizar aceleradores de partículas o recurrir al calentamiento a temperaturas muy elevadas, cuyo umbral se

denomina fusión térmica. Consiste en calentar los átomos hasta lograr una masa gaseosa denominada plasma, compuesta por electrones libres y átomos altamente ionizados. ii) Es necesario garantizar el confinamiento y control del plasma a altas temperaturas en la cavidad de un reactor de fusión el tiempo necesario para que se produzca la reacción. iii) Es necesario lograr una densidad del plasma suficiente para que los núcleos estén cerca unos de otros y puedan dar lugar a las reacciones de fusión. Sin embargo, los confinamientos convencionales, como las paredes de una vasija, no son factibles debido a las altas temperaturas. Por este motivo, se encuentran en desarrollo dos métodos de confinamiento:

**Fusión por Confinamiento Inercial (FCI):** Consiste en crear un medio tan denso que las partículas no tengan casi ninguna posibilidad de escapar sin chocar entre sí. Para ello se impacta una pequeña esfera compuesta por deuterio y tritio por un haz de láser provocando su implosión. Así, se hace cientos de veces más densa que en su estado sólido normal permitiendo que se produzca la reacción de fusión. Actualmente hay reactores en período de investigación con el objetivo de producir energía a través de este proceso.

**Fusión por Confinamiento Magnético (FCM):** Las partículas eléctricamente cargadas del plasma son atrapadas en un espacio reducido por la acción de un campo magnético. El dispositivo que más se ha desarrollado hasta el momento tiene forma toroidal: el Tokamak<sup>142</sup>.

---

<sup>142</sup> La palabra Tokamak, en español: cámara toroidal con bobinas magnéticas, es un aparato cuyo objetivo es obtener la fusión de partículas de plasma, generando grandes cantidades de energía, para conseguir la reacción nuclear de fusión de dos partículas ligeras en una partícula más estable de peso medio y producir energía.

Se consideran instalaciones nucleares: i) las centrales nucleares, que son instalaciones fijas cuya función principal es la producción de energía mediante un reactor nuclear; ii) los reactores nucleares, que son estructuras que permiten la disposición del combustible nuclear de tal modo que dentro de ellos pueda tener lugar un proceso automantenido de fisión nuclear, sin necesidad de una fuente adicional de neutrones; iii) las fábricas que utilizan sustancias nucleares para producir combustibles nucleares u otras fábricas de tratamiento de sustancias nucleares, como instalaciones de tratamiento o reprocesado de combustibles nucleares irradiados; iv) las instalaciones de almacenamiento de sustancias nucleares, excepto los lugares en que dichas sustancias se almacenen incidentalmente durante su transporte; y v) los dispositivos e instalaciones que utilicen reacciones nucleares de fisión o fusión para producir energía o con vistas a la producción o desarrollo de nuevas fuentes de energía.

Una central nuclear es una instalación industrial en la que se genera electricidad a partir de la energía térmica producida mediante reacciones de fisión en la vasija de un reactor nuclear. El componente principal de una central nuclear es el reactor, que es la instalación donde se aloja el combustible nuclear y que cuenta con sistemas que permiten iniciar, mantener y detener, de modo controlado, las reacciones nucleares de fisión que liberan grandes cantidades de energía térmica. El principio de funcionamiento de una central nuclear es análogo al de una central térmica convencional de carbón, fuel o gas, donde la energía térmica liberada se utiliza para calentar agua hasta convertirla en vapor a alta presión y temperatura. Este vapor hace girar una turbina que está conectada a un generador que transforma la energía mecánica del giro de la turbina en energía eléctrica, para su uso industrial. Este principio básico de funcionamiento es

relativamente sencillo, aunque la tecnología aplicada es de gran complejidad puesto que hay que tener en cuenta una serie de factores como las grandes potencias alcanzadas, requisitos técnicos y estrictas medidas de seguridad necesarias para garantizar, en todo momento, tanto la seguridad de los trabajadores y de la población como la protección del medio ambiente.

El reactor es la instalación de la central nuclear en la que se inician, mantienen y controlan las reacciones de fisión nuclear en cadena, donde se produce la energía térmica necesaria para la generación de energía eléctrica. Consta de una vasija de acero en cuyo interior se dispone un conjunto de elementos de combustible nuclear siguiendo un cierto patrón geométrico. Los núcleos de los átomos del combustible nuclear son bombardeados por neutrones, provocando su ruptura, dando lugar a la aparición de fragmentos conocidos como productos de fisión, además de neutrones que, a su vez, impactan de nuevo sobre otros átomos de combustible. En este proceso, conocido como reacción en cadena, se desprende gran cantidad de energía térmica que se utiliza para la producción de vapor de agua.

En la mayor parte de reactores para facilitar el proceso de reacción en cadena es necesaria, asimismo, la presencia dentro del reactor de un elemento moderador de los neutrones que se producen en las reacciones de fisión. Esto se debe a que estos neutrones tienen una elevada energía cinética y es conveniente reducir su velocidad para facilitar nuevas reacciones en cadena, lo que se consigue mediante choques elásticos de los neutrones con los átomos del elemento que hace de moderador, que suele ser agua ligera.

Por otro lado, para controlar de manera segura las reacciones de fisión que tienen lugar en el reactor nuclear existen mecanismos para el accionamiento de

una serie de barras de control que contienen un material que absorbe los neutrones. Estas barras de control se pueden insertar total o parcialmente dentro de la vasija del reactor para impedir en mayor o menor medida que los neutrones sigan desencadenando sucesivas reacciones de fisión. En caso de ser necesario detener todas las reacciones de fisión, se insertan inmediatamente todas las barras de control dando lugar a lo que se denomina parada automática, "disparo" o "*scram*" del reactor.

El reactor de una central nuclear está rodeado de un blindaje de hormigón que intercepta las radiaciones ocasionadas por las radiaciones de fisión. Tanto el reactor como los sistemas auxiliares mencionados anteriormente se disponen dentro de un edificio diseñado para limitar las emisiones de radiación en caso de accidente, que se conoce como edificio de contención.

En España existen dos tipos de centrales nucleares en operación cuya diferencia fundamental estriba en si la generación de vapor tiene lugar dentro o fuera del reactor:

**Centrales con reactores de agua a presión (PWR):** Según el Consejo de Seguridad Nuclear<sup>143</sup>, en este tipo de centrales nucleares, el agua circula en estado líquido a través del reactor a muy alta presión por un circuito primario mediante unas bombas que la impulsan a través del núcleo del reactor donde se calienta, antes de dirigirse a los generadores de vapor o intercambiadores de calor exteriores. La presión del circuito primario se mantiene gracias a un

---

<sup>143</sup> El Consejo de Seguridad Nuclear (CSN) es la institución española independiente de la Administración General del Estado, con personalidad jurídica y patrimonio propio que tiene como fin primordial velar por la seguridad nuclear y la protección radiológica de las personas y del medio ambiente. Aporta también los datos operativos de las centrales nucleares situadas en territorio español, informando del modo de operación, potencia térmica, potencia eléctrica, presión primaria, temperatura primaria, concentración de Boro-10 de los reactores nucleares, entre otros. Todos los hechos relevantes relativos a incidentes en dichas instalaciones quedan registrados en una sección específica de su web

elemento denominado presionador<sup>144</sup>, cuyo objetivo es evitar la formación de vapor dentro de este circuito.

En estas instalaciones, las barras de control están situadas en la parte superior de la vasija del reactor. En caso de ser necesaria la parada rápida del reactor, ésta se produce por la inserción de las barras de control por acción de la gravedad, al liberarse los mecanismos electromagnéticos de sujeción de las mismas. El agua líquida a alta temperatura que sale de la vasija del reactor circula a través de los tubos del circuito primario atravesando los generadores de vapor.

Dentro de los generadores de vapor, por el exterior de estos tubos circula el agua del circuito secundario, de manera que el agua a alta temperatura del circuito primario calienta el agua del circuito secundario hasta convertirla en vapor. Posteriormente, el vapor se dirige por los tubos del circuito secundario a la turbina, donde se expande, haciéndola girar. El giro de la turbina se transmite al generador eléctrico, que es el componente en el que se produce la electricidad, la cual se envía al parque de transformación y, desde allí, a la red eléctrica exterior.

El vapor que sale de la turbina sigue estando muy caliente, por lo que es necesario condensarlo para su retorno al ciclo de agua/vapor. Esta condensación se hace gracias a un tercer circuito exterior de refrigeración que utiliza un gran caudal de agua fría que circula por el interior de los tubos del condensador. El agua fría que circula por los tubos del circuito de refrigeración

---

<sup>144</sup> Recipiente de ciertos reactores nucleares, como los de agua a presión, conectado al circuito primario de refrigeración, en donde el refrigerante está en equilibrio con su vapor, y que sirve para ajustar la presión del circuito, calentando el líquido por resistencias eléctricas o condensando el vapor por aspersion con líquido más frío.

se calienta a su paso por el condensador y posteriormente se enfría de nuevo mientras los tubos atraviesan lo que se conoce como sumidero de calor de la central, que puede ser un río, un pantano, el mar o las torres de refrigeración. El vapor condensado, al contacto con los tubos del condensador es impulsado para ser precalentado antes de su envío de nuevo a los generadores de vapor. La presión en el condensador es menor que la presión de los tubos del circuito de refrigeración exterior que lo atraviesan, por lo que, en caso de producirse una fisura en los tubos, el agua de dicho circuito se fugaría hacia el condensador y no a la inversa, evitando posibles escapes al medio ambiente.

**Centrales con reactores de agua en ebullición (BWR):** En estas centrales el vapor se produce directamente en el interior de la vasija del reactor. No existe un circuito secundario agua-vapor, sino que es el mismo fluido refrigerante que circula por la vasija y el núcleo del reactor el que se evapora a su paso por el núcleo. De esta manera, de la vasija del reactor sale directamente el vapor que se dirige a la turbina.

El funcionamiento de la misma, así como el funcionamiento del alternador, del condensador y del sistema de agua de alimentación, es análogo al de una central PWR, aunque en este caso el sistema impulsa el vapor condensado directamente hasta la vasija del reactor. La vasija del reactor dispone de unos lazos de recirculación exteriores que permiten, mediante el uso combinado de bombas centrifugas y bombas de chorro, la regulación rápida del caudal del refrigerante/moderador y, por tanto, el control de la potencia del reactor.

En este tipo de reactores, las barras de control están situadas en la parte inferior de la vasija y se insertan en su interior desde abajo mediante un sistema hidráulico que utiliza como fluido el propio refrigerante a alta presión.

## 17. COGENERACIÓN, TRIGENERACIÓN Y POLIGENERACIÓN

La cogeneración es el procedimiento mediante el cual se obtiene simultáneamente energía eléctrica y energía térmica útil, transformada en vapor o agua caliente sanitaria; si además se produce frío, como hielo, agua fría o aire frío, se denomina trigeneración, y si se produce, además, una cuarta energía, como la energía mecánica, se denomina tetrageneración. Si además de la obtención de energía se capturan las emisiones de dióxido de carbono, el proceso se denomina cuatrigeneración.

La ventaja del uso de la cogeneración, además de su alta eficiencia energética, es el aprovechamiento del calor generado y de la energía eléctrica en un único proceso. Si se utilizara de forma convencional usando energías fósiles, haría falta una central eléctrica para la producción de electricidad y una caldera convencional para la generación de calor.

La cogeneración se ha de realizar en lugares cercanos al punto de consumo, evitando los cambios de tensión de la electricidad y los transportes a larga distancia, así como un mejor aprovechamiento de la energía.

### **Cogeneración**

En el proceso de cogeneración se pueden aprovechar los diferentes tipos de energía que se genera, por lo que tiene un potencial de rendimiento mucho mayor que el de una central convencional, mejorando la sostenibilidad ambiental. El hecho de que la cogeneración no sea considerada una fuente renovable de energía, no es óbice para considerarla como un proceso en el que se utiliza menor combustible, consumiendo menores cantidades de materia prima, disminuyendo los costes de producción, aumentando la competitividad entre los



productores y contribuyendo a un menor impacto medioambiental. Como la cogeneración es un proceso en el que la energía se debe producir en lugares cercanos al consumo, se ahorraría en materias primas y en espacio a la hora de fabricar infraestructuras para su transporte.

El elemento primario de la cogeneración es el motor de gas o turbina. Siempre que se hable de cogeneración y de sus numerosas aplicaciones se suele comenzar por este elemento primario. Para poder realizar un estudio de la energía generada en la cogeneración para algún tipo de proyecto, se debe primero calcular las necesidades de calor para determinar el tipo de elementos a utilizar y su tamaño adecuado para producir la energía necesaria.

En una planta de cogeneración los elementos imprescindibles son:

- La fuente primaria de que se obtiene energía, la cual proviene de combustibles fósiles como gas natural, gasóleo o fuelóleo.
- El motor, que es el encargado de convertir la energía térmica o química en la energía mecánica y, dependiendo del tipo de planta que se va a instalar y del uso que se le va a dar, existen turbinas de gas, turbinas de vapor o motores alternativos.
- Un alternador que transforma la energía mecánica en energía eléctrica y un compresor o bomba donde la energía mecánica se aproveche directamente.
- Un sistema de aprovechamiento del calor que se genera, como calderas que se encargan de recuperar el calor de los gases de escape o secaderos e intercambiadores de calor.
- Un sistema de refrigeración con torres de refrigeración, con el fin de aprovechar parte de la energía que se perdería en forma de calor. Pueden ser aerocondensadores de gas o intercambiadores de calor cuyo objetivo es

minimizar la cantidad de calor que se desaprovecha, el cual es vertido a la atmósfera.

- Un sistema de tratamiento de las aguas, utilizado tanto para el sistema de refrigeración como para el aprovechamiento del calor generado.
- Un sistema de control que se encargue de las instalaciones.
- Un sistema eléctrico que permita la alimentación de los equipos auxiliares de la planta para poder mantener el balance energético, permitiendo alimentar a la planta en situaciones de deficiencia eléctrica de la red externa, con disponibilidad inmediata en el momento en el que se restablezcan las condiciones del servicio.

La eficiencia de la planta se puede medir mediante dos coeficientes:

**Coefficiente factor de uso de energía (FUE):** Es el cociente entre la suma de la energía eléctrica generada más el calor útil, y la energía aportada al motor de combustión interna.

**Coefficiente relación calor/electricidad (RCE):** Es el cociente entre el calor útil o aprovechable y la potencia eléctrica generada por el conjunto motor-generador.

De estos dos coeficientes, el coeficiente FUE es el más importante ya que mide el rendimiento global de la instalación. Este procedimiento tiene aplicaciones tanto industriales como en edificios en los que el calor puede emplearse para calefacción, refrigeración mediante sistemas de absorción y agua caliente sanitaria. En la actualidad, existen instalaciones de microgeneración<sup>145</sup>, para

---

<sup>145</sup> La microgeneración, consiste al igual que la cogeneración, en la generación de electricidad y energía térmica a la vez mediante el uso de un combustible que suele ser el gas natural. No obstante, se denomina microgeneración, porque los equipos de potencia son menores a 50 kW. Su rendimiento es alto y permite obtener ahorros económicos en el consumo de energía primaria.

viviendas particulares, siendo mucho más rentable realizar instalaciones grandes, como las de calefacción urbana.

### **Trigeneración y poligeneración**

Hay una ampliación del concepto de cogeneración que permite disponer de otras energías, además del calor y la energía mecánica/eléctrica habituales, como cogeneración de frío para refrigeración o cogeneración de energía mecánica a partir del calor residual.

**Trigeneración:** También denominada refrigeración, calor y energía combinadas (CCHP<sup>146</sup>), es el proceso mediante el cual parte del calor producido por una planta de cogeneración se utiliza, además de en la generación eléctrica, para generar agua fría para aplicaciones en aire acondicionado o refrigeración. Para ello se utiliza un enfriador de absorción vinculado a una combinación de calor y energía, obteniendo una eficiencia mayor. Esto es interesante desde el punto de vista de la climatización de una vivienda o instalación, en la que la calefacción solo es necesaria en los meses de invierno, mientras que en verano se utiliza acondicionamiento de aire frío, mejorando el tiempo de amortización del sistema, al incrementar las horas de servicio de la instalación. Un sistema de refrigeración por absorción necesita una temperatura mínima de unos 80 °C para funcionar, del que se obtiene una temperatura del agua de descarga de unos 40 - 50 °C y una temperatura del agua de refrigeración que se sitúa entre los 0 y 4 ° C. Una modalidad de trigeneración es el aprovechamiento de los gases de escape del sistema de cogeneración, previamente tratados con un catalizador.

---

<sup>146</sup> CCHP – Combined cooling, heat and power o refrigeración, calor y energía combinados.

**Poligeneración:** Una de las medidas más eficaces para aumentar la eficiencia energética es el uso de sistemas de poligeneración para la producción simultánea de calefacción, refrigeración, electricidad y energía mecánica para generación de aire comprimido, denominado tetrageneración. Se denomina poligeneración a un proceso integrado que contiene tres o más tipos de energía, que incluyen productos energéticos, producidos a partir de uno o más recursos naturales. De esta forma, se consigue un aumento sustancial de la eficiencia global y una reducción de contaminación y emisiones de gases de efecto invernadero. Los sistemas de poligeneración a pequeña escala implican una combinación de nuevas tecnologías junto con tecnologías convencionales, para calefacción, refrigeración, producción de electricidad, energía mecánica o biocombustibles.

**Cuatrigeneración o Quadgeneration:** La cuatrigeneración abarca las características de un sistema de trigeneración, con electricidad, calor y enfriamiento combinados, pero además incluye la recuperación del dióxido de carbono de los gases de escape. Este dióxido de carbono se depura y se puede utilizar en procesos industriales o en el secuestro de carbono.

Los beneficios de la trigeneración y de la poligeneración incluyen:

- Producción in situ de electricidad y calor de alta eficiencia.
- Uso de variedad de combustibles diferentes que facilitan la cogeneración.
- Reducción de los costes de combustible y energía.
- Menor consumo eléctrico durante la demanda máxima en verano.
- El calor del motor se puede utilizar para producir vapor de agua caliente para uso in situ.
- Reducciones significativas de las emisiones de gases de efecto invernadero.

- No tiene contaminantes químicos nocivos, ya que se utiliza agua como refrigerante.
- Es beneficioso para mejorar las calificaciones de eficiencia energética de los edificios.

Por otro lado, los beneficios de la cuatrigeneración incluyen:

- Potencial de emisiones de carbono bajas o nulas.
- Costes operativos reducidos frente a la compra por separado de electricidad, calor, refrigeración y dióxido de carbono.
- Amplia gama de aplicaciones potenciales.

Existen cinco tipos de plantas de cogeneración, que se mencionan a continuación:

**Planta de cogeneración con motor de gas:** En ellas emplean como combustible gas, gasóleo o fuel-oil. Son muy eficientes produciendo energía eléctrica pero menos eficiente produciendo energía térmica.

**Plantas de cogeneración con turbina de gas:** En estas plantas el combustible se quema en un turbogenerador. Parte de la energía se transforma en energía mecánica, que se transformará, con ayuda de un alternador, en energía eléctrica. Su rendimiento eléctrico es inferior al de los motores alternativos, pero presentan la ventaja de que permiten una recuperación fácil del calor, que se encuentra concentrado en su práctica totalidad en los gases de escape, que están a una temperatura de 500 °C, temperatura idónea para producir vapor en una caldera de recuperación.

**Plantas de cogeneración con turbinas de vapor:** En este tipo de plantas la energía mecánica se produce por la expansión del vapor de alta presión que

procede de una caldera convencional. Este tipo de uso de la turbina fue el primero en utilizarse en la cogeneración. Sin embargo, hoy día su aplicación ha quedado limitada a ser un complemento de las instalaciones que emplean combustibles residuales como por ejemplo la biomasa.

**Plantas de cogeneración en ciclo combinado con turbina de gas y vapor:**

La aplicación de las turbinas de gas y de vapor se denomina “ciclo combinado”.

**Plantas de cogeneración con motor de gas y turbina de vapor:**

En este tipo de plantas el calor retenido en los humos de escape del motor se recupera mediante una caldera de recuperación, produciendo vapor que es utilizado en una turbina de vapor para poder producir más energía eléctrica o mecánica.

La cogeneración tiene numerosas ventajas, estas son:

- **Beneficios para el país y la sociedad:** Ahorro de energía primaria al emplearse menos combustible fósil, disminuyendo las emisiones contaminantes a la atmósfera y generando desarrollo regional con fomento del empleo.
- **Beneficios para el usuario que apuesta por la cogeneración:** Mayor eficiencia y confiabilidad de la producción de energía, cumpliendo con la normativa ambiental. Disminuye el precio de la factura eléctrica por cuanto disminuyen los costes de producción. Se obtiene una mayor calidad en el proceso de generación de energía y se aumenta la competitividad.
- **Beneficios para la empresa eléctrica suministradora:** Se evitan los costes de transmisión y distribución de la energía por consumirse cerca del lugar de generación.

## **18. INNOVACIONES TECNOLÓGICAS EN EL ÁMBITO ENERGÉTICO**

Las innovaciones tecnológicas en el ámbito energético se asocian, por regla general, con nuevos productos y la implementación de procesos o mejoras significativas en los mismos, que requieran un grado importante de tecnología para ser llevados a cabo, mientras que las innovaciones no tecnológicas se remiten a las del ámbito organizativo y de comercialización; pero existe una relación de interdependencia entre ambas, a la vez que pueden diferir en sus impactos, es decir, en los resultados de la empresa, como el volumen de negocios, reducción de costes o productividad y en la contribución al crecimiento o la creación de empleo. La comercialización de las innovaciones de productos tecnológicos a menudo requiere el desarrollo de nuevos métodos, del mismo modo que una nueva técnica de producción suele aumentar la productividad si es apoyada por cambios en la organización. Desde los sectores especializados de la organización se deben tener en cuenta las normativas que afectan a la producción, almacenamiento de materias primas y productos terminados, desde la manipulación de los materiales hasta el tratamiento de los residuos que puedan generarse en los procesos productivos, teniendo en cuenta la existencia o no de subvenciones o exenciones de impuestos que afecten de manera directa a los costes básicos del nuevo producto. La competitividad es la primera condición estratégica y necesita la combinación de tres políticas: i) el conocimiento de la tecnología, II) la eficiencia en el uso de los recursos y iii) la innovación en todos los procesos de producción.

La eficiencia energética es considerada innovación tecnológica. La eficiencia energética y el consumo de renovables son factores de competitividad porque reúnen todas estas características que han de asociarse a una estrategia de

reindustrialización basada en productos más competitivos, por sus menores costes energéticos, con una demanda creciente en el mercado, siendo la innovación tecnológica el valor añadido que convierte la eficiencia energética en factor de competitividad. Así se incluye entre los indicadores de Eurostat, que hace del uso de la energía un elemento clave en el cambio de modelo energético a través de las tecnologías de ahorro energético.

La eficiencia energética como factor de competitividad tiene como fin realizar la transición de un modelo basado en el mayor consumo y dependencia de recursos que hay que comprar en el exterior a otro cuya prioridad sea reducir a la vez la energía necesaria para producir bienes y servicios y las emisiones contaminantes a la atmósfera. Las decisiones para realizar esa transición y ejecutar las políticas de mejora de la competitividad tienen que tener en cuenta tres criterios:

- El apoyo a los recursos propios y autóctonos que se tienen y el ahorro de aquellos recursos que no se tienen.
- Incentivar o aumentar el consumo sin eficiencia conduce siempre a futuras crisis.
- La figura central del sistema energético ha de ser el consumidor, que deberá transformarse en parte activa de la gestión de su demanda de energía.

Las nuevas tecnologías de las diferentes energías renovables descritas en esta Tesis se pueden ver en el Apéndice A2.

## **19. EL CASO ESPAÑOL**

El modelo energético español no es competitivo, porque no cumple ninguno de estos criterios. El mayor coste energético de España lo constituye la



dependencia energética. La primera medida de política energética exigible debería ser el ahorro de petróleo, gas y carbón y reducir así la elevada dependencia del combustible externo y poder competir con economías más eficientes que la nuestra. En segundo lugar, si los sectores que más energía consumen son el de la edificación y transporte, la eficiencia energética en estos dos sectores debería constituir una prioridad política y económica. Por último, las tecnologías renovables son las más eficientes para evitar importaciones energéticas y emisiones de CO<sub>2</sub>.

Si España dispone del recurso, la tecnología y la industria renovable, la competitividad de la economía necesita de la utilización más generalizada de estos recursos renovables.

Las energías renovables se han convertido en un elemento esencial para la actividad económica española en todas y cada una de sus fases: i) producción de energía; ii) desarrollo de instalaciones; y iii) fabricación de equipos y componentes, entre otros. En consecuencia, y dada la importancia de las energías renovables, a todos los niveles, económico, medioambiental, político, independencia energética, de salud, España se sitúa en un marco privilegiado para poder cumplir con los objetivos fijados por la UE, por lo que debe:

- Continuar apostando en el sector energético renovable.
- Impulsar por parte de las empresas españolas este sector.
- Disminuir las emisiones de los contaminantes como CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>.
- Apostar por sectores energéticos nuevos o poco probados como las energías marinas, la energía geotérmica y las pilas de hidrógeno.
- Construir un marco regulatorio estable para incentivar las nuevas tecnologías y desarrollar proyectos I+D+i.

- Promover la generación de empleo en el sector de las energías renovables, su tecnología e industria.
- Desarrollo de dispositivos masivos de almacenamiento de energía renovables como nuevas centrales de bombeos y automóviles eléctricos.
- Mayor acceso a los mercados internacionales.
- Gestionar correctamente los excedentes de energía, mediante almacenamiento o exportación con el resto de la UE.
- Intentar el abaratamiento del coste de la electricidad.
- Incentivar la investigación en el campo energético.

En la tabla 1 se resume las energías por sus tecnologías, energía final y emisiones de CO<sub>2</sub>.

**Tabla 1: Resumen energías y sus emisiones**

TIPO DE ENERGÍA	TECNOLOGÍA	RECURSO	ENERGÍA FINAL	EMISIONES (g de CO <sub>2</sub> /KWh)
SOLAR	CÉDULA: FOTOVOLTAICA	SOL	ELECTRICIDAD	29,8
	COLECTOR: TERMOELÉCTRICO	SOL	CALOR, ELECTRICIDAD	29,8
	CÉDULA: TÉRMICA	SOL	CALOR	2,1
	MURO: PASIVA	SOL	CALOR	2,1
EÓLICA	AEROGENERADORES: GENERACIÓN ELÉCTRICA	VIENTO	ELECTRICIDAD	4,0 - 10,0
	AEROBOMBEO: FUERZA MOTRIZ	VIENTO	FUERZA MOTRIZ	4,0 - 10,0
BIOMASA	HORNO, CALDERA: COMBUSTIÓN	BIOMASA	CALOR, ELECTRICIDAD	NEUTRO
	BIODIGESTIÓN: DIGESTIÓN ANAERÓBICA	BIOMASA	BIOGAS COMBUSTIBLE	NEUTRO
	GASIFICADOR: GASIFICACIÓN	BIOMASA	GAS COMBUSTIBLE	NEUTRO
	PIROLIZADOR: PIRÓLISIS	BIOMASA	COMBUSTIBLE	NEUTRO
	DESTILERÍA: FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA	BIOMASA	BIOETANOL	NEUTRO
	ESTERIFICACIÓN	BIOMASA	BIODIESEL	NEUTRO
GEOTÉRMICA	PLANTAS DE ENERGÍA: GENERACIÓN ELÉCTRICA	CALOR TIERRA	ELECTRICIDAD	30,0-40,0
	PROSPECCIÓN, AGUAS TERMALES: CALOR GEOTÉRMICO	CALOR TIERRA	CALOR	30,0-40,0
OCÉANOS	BARRERAS, TURBINAS, FLOTADORES Y OTROS: MAREAS Y OLAS	AGUA	ELECTRICIDAD	0
	TURBINAS, CONDENSADORES: DIFERENCIA DE TEMPERATURAS Y CORRIENTES MARINAS	AGUA	ELECTRICIDAD	0
HIDRÁULICA	CENTRALES HIDROELÉCTRICAS Y MINICENTRALES, MICROEÓLICOS	AGUA	ELECTRICIDAD, FUERZA MOTRIZ	8,0-60,0
NUCLEAR	CENTRALES FISIÓN Y FUSIÓN	URANIO, PLUTONIO	ELECTRICIDAD, CALOR	0
CARBÓN	COMBUSTIÓN	CARBÓN	CALOR, ELECTRICIDAD, COMBUSTIBLE	358
PETRÓLEO	DESTILACIÓN, GLP	PETRÓLEO	CALOR, ELECTRICIDAD, COMBUSTIBLE	244,0-287,0
GAS NATURAL	CALDERA, CICLO COMBINADO, COGENERACIÓN, GNL, GNC	GAS	CALOR, ELECTRICIDAD, COMBUSTIBLE	214
ELECTRICIDAD	RED	ELECTRICIDAD	ELECTRICIDAD	517,0-981,0

Fuente: Elaboración propia, a partir de datos de IDAE, Departamento de la Energía de Estados Unidos (DOE).

## **20. REFLEXIONES FINALES**

En este capítulo se ha realizado un breve repaso de las energías fósiles y de las energías renovables, así como los combustibles asociados y las emisiones contaminantes de cada una de ellas. A su vez, se ha realizado una comparación entre ambos tipos de energía, observando que el uso de las energías renovables da lugar a menores emisiones de dióxido de carbono, el gas porcentualmente mayor de todos los gases productores del efecto invernadero, así como menores emisiones del resto de gases causantes del efecto invernadero y de la lluvia ácida.

Tanto las energías fósiles como las energías renovables tienen un gran potencial, las primeras desde el punto de vista de los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, por sus bajos costes y por la facilidad de acceso a ellas, y las segundas por la disminución de las emisiones, por la menor dependencia de los países productores de combustibles fósiles, por la facilidad de tratar con los recursos renovables de cada zona y por la competitividad ante las energías fósiles.

Se han expuesto los últimos avances en investigación y en tecnologías de cada tipo de energía renovable, así como los posibles tratamientos de las emisiones y residuos fósiles.

El uso de las energías renovables presenta una serie de ventajas de interés para la salud, el bienestar, la economía, el medioambiente y variedad de aplicaciones; y una serie de desventajas relacionadas, sobre todo, con el coste inicial de las instalaciones y de las instalaciones auxiliares necesarias para este tipo de energía, y por el precio que finalmente repercute al consumidor, basado en un sistema de subastas, en el caso de la energía eléctrica.

La necesidad de disminuir el impacto medioambiental del planeta, de disminuir los niveles de emisiones contaminantes y los niveles de ruido, de disminuir la pobreza energética, a favor de una energía barata y sostenible en el tiempo, es motivo más que suficiente para tratar con energías renovables.

## **CAPÍTULO 4**

# **LA CONTRIBUCIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA Y DEL CONSUMO ENERGÉTICO A LAS EMISIONES DE CO<sub>2</sub>**

### **Resumen**

La utilización de los diversos tipos de sistemas energéticos analizados en el capítulo anterior, para la producción de bienes o consumo de energía, produce emisiones. Los elementos contaminantes que en mayor grado contribuyen a la degradación medioambiental son las emisiones de dióxido de carbono y las partículas en suspensión PM10. En los 44 años que distan desde 1971 a 2015, las emisiones de gases de efecto invernadero se han duplicado, constituyendo el CO<sub>2</sub> más de las dos terceras partes de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero. El objetivo de este capítulo es analizar en qué medida el exceso de emisiones de CO<sub>2</sub> está asociado directamente al consumo de energía, o bien, a la existencia de imperfecciones en los procesos productivos. Para efectuar este análisis se ha llevado a cabo una especificación microeconómica cuya aplicación se ha efectuado en el período 1995-2015 sobre 6 países de la Unión Europea más 14 países del resto del mundo, con una población total equivalente al 61 % de la población mundial. La aplicación se ha llevado a cabo mediante técnicas econométricas que incluyen datos de panel y los resultados indican que, en general, son las imperfecciones en los procesos productivos las que contribuyen a las emisiones en mayor grado que el consumo de energía, lo que sugiere el deber de mejorar estos procesos productivos, además de ser eficientes en el consumo energético.

## 1. INTRODUCCIÓN

Desde la última década del siglo XX, regiones y países han hecho hincapié en los efectos negativos que, sobre el medioambiente, supone mantener patrones de consumo de energía que en muchas ocasiones causan emisiones de gases y otras partículas contaminantes asociadas también a la actividad económica y al crecimiento económico. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en proporciones naturales no es perjudicial, pero como resultado de la combustión de combustibles fósiles, la concentración de este gas en la atmósfera ha estado aumentando hasta convertirse en un gas de efecto invernadero (*greenhouse gases*, GHG), es decir, gases que inducen a una mayor absorción de la radiación infrarroja que escapa de la tierra y terminan causando un aumento de la temperatura en la atmósfera y en la superficie terrestre. El aumento de la producción genera externalidades, muchas de ellas negativas, que se suman a excesos en el uso de los recursos ambientales con los que se abastece el consumo energético y la producción de bienes y servicios. Muchos de los resultados de las investigaciones realizadas sobre la relación entre el consumo de energía y el producto interior bruto (PIB) indican que los patrones de consumo de energía inciden positivamente sobre las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se considera que las emisiones de CO<sub>2</sub> son las principales responsables del calentamiento global, puesto que el CO<sub>2</sub> es el gas de efecto invernadero más abundante. En diversos informes del Banco Mundial se mantiene que desde 1971 a 2015 las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial se han duplicado, siendo la contribución del CO<sub>2</sub> el 76 % de las emisiones totales de gases GHG. Otros gases causantes de efecto invernadero, los cuales no afectan sólo a la salud, sino que además promueven la degradación ambiental son: i) Monóxido de carbono (CO), principalmente

asociado con el tráfico y el transporte; ii) Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), asociado a la combustión de carbón y productos derivados del petróleo; iii) Óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), asociados con la combustión de combustibles fósiles, y iv) Hidrocarburos (CH<sub>x</sub>), sustancias que contienen solo hidrógeno y carbono e influyen en la formación de smog fotoquímico. Por último, también son altamente contaminantes el Plomo (Pb), en suspensión o diluido en agua, y las partículas suspendidas llamadas aerosoles, que son partículas de diferentes tamaños que influyen en la formación del smog sulfuroso. El polvo, la fibra, el hollín, los humos, la neblina y el smog, sobrecargan el medio ambiente de forma que estas partículas terminan afectando en mayor o menor grado no solo a la salud de las personas, sino también a la degradación ambiental. Dentro de los aerosoles más contaminantes, las PM<sub>10</sub> (*Particulate Matter*) son pequeñas partículas sólidas o líquidas de polvo, cenizas, hollín, partículas metálicas, cemento o polen dispersos en la atmósfera. El tamaño de las partículas PM<sub>10</sub> es de menos de 10 micras. El valor límite diario para la protección de la salud humana es de 50 microgramos por m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub>, que no debería superarse más de 7 veces al año, siendo el límite anual para la protección de la salud humana de 20 µg / m<sup>3</sup>. Exceder el límite admisible de PM<sub>10</sub> resulta muy perjudicial para la salud y revela una tecnología de producción poco desarrollada. Los países con mayor índice de PM<sub>10</sub> son Pakistán, Bangladesh, Nigeria, Egipto, India, China, Arabia Saudí, Emiratos Árabes Unidos y Kuwait, relacionado en este último caso con la producción y distribución de combustibles. En la Tabla 2 se encuentran recogidas las concentraciones de PM<sub>10</sub> en las 44 aglomeraciones del mundo de más de 9 millones de habitantes (Megaciudades) y en ella aparecen sombreadas las que traspasan el límite diario admisible, que en su mayoría son megaciudades

asiáticas y africanas.

**Tabla 2: Nivel de PM<sub>10</sub> diario en las megaciudades del mundo (2016)**

Aglomeraciones ordenadas por población	Población 2016 (millones)		Aglomeraciones ordenadas por población	Población 2016 (millones)	
	PM-10			PM-10	
TOKYO-YOKOHAMA	35	37.126	BANGKOK	41	14.566
CHONGQUING	77	29.101	BUENOS AIRES	22	14.300
JAKARTA	82	28.019	ISTANBUL	55	13.855
GUANGZHOU	56	25.800	TEHRAN	72	13.500
SHANGHAI	59	25.700	LAGOS	122	13.400
SEOUL	31	25.600	TIANJIN	103	13.266
MEXICO	34	24.178	RIO JANEIRO	35	12.700
DELHI	292	23.500	LAHORE	198	12.500
MUMBAI	104	22.376	PARIS	14	11.950
KARACHI	290	22.100	KOLN-RUHR	22	11.215
NEW YORK	21	22.000	CHENGDU	105	11.001
METRO-MANILA	118	21.951	IZMIR	29	10.046
BEIJING	92	21.900	NAGOYA	30	10.027
SAO PAULO	45	21.100	WUHAN	92	10.020
CAIRO	169	20.384	HARBIN	74	9.874
LOS ANGELES	34	18.100	CHICAGO	25	9.800
OSAKA-KOBE	39	17.550	JOHANNESBURG	85	9.616
MOSKOW	40	17.000	KINSHASA	40	9.518
KOLKATA	136	15.835	LIMA	58	9.400
DHAKA	134	15.414	CHENNAI	80	9.182
SHENZHEN	42	15.250	BANGALURU	96	9.044
LONDON	17	15.211	BOGOTA	40	9.009

Las megaciudades sombreadas indican que en ellas se superan los límites diarios admisibles de PM<sub>10</sub> >50 µg / m<sup>3</sup>. Fuente: elaboración propia basada en datos de la International Energy Agency 2019.

La contaminación del aire es un fenómeno que se agudiza cuando la densidad de población es elevada. La densidad de población es muy alta en países como Bangladesh, Corea del Sur, India, Japón o Bahrein y, en el caso de mega ciudades, en Manila, Lagos, Delhi, Bangalore, Cairo, Dhaka o Teherán. Parece evidente que es a nivel local donde el control de la contaminación debe ser más decisivo. Por estas razones su regulación es muy importante para los gobiernos de países y ciudades, y desde el protocolo de Kyoto (1997) a los acuerdos de París<sup>147</sup> (2015) los gobiernos locales se han fijado como objetivos reducir la contaminación y los gases de efecto invernadero. Por otra parte, también todos

<sup>147</sup> Conferencia de las Naciones unidas sobre el Cambio Climático (París, diciembre de 2015) cuyos acuerdos fueron ratificados y aprobados por el Parlamento de la Unión Europea el 4 de octubre de 2016. Esta acción europea sobre el cambio climático tiene sus antecedentes en los artículos 17, 18 y 19 de la Directiva UE 2009/28 / CE del Parlamento Europeo y Consejo del 23 / abril / 2009.



estos elementos contaminantes pueden terminar siendo fuente de conflictos entre países vecinos, regiones e incluso entre ciudades vecinas, debido a las emisiones de gases tóxicos sobre áreas, en principio menos contaminadas. En volumen, los contaminantes más importantes son las emisiones de CO<sub>2</sub> y las partículas en suspensión PM<sub>10</sub>. En la presente investigación se han tenido en cuenta únicamente las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el consumo de energía y por los procesos de producción de bienes y servicios.

La relación entre las emisiones y el consumo de energía, así como la relación entre el consumo de energía y el output (PIB real), o el crecimiento del output, ha sido ampliamente analizada a partir del trabajo de Kraft y Kraft (1978), del que se derivan una gran cantidad de investigaciones sobre este tema, pero todavía no hay un consenso preciso en cuanto a la relación que existe entre consumo de energía y crecimiento económico. En este sentido, se pueden identificar dos posturas opuestas: la primera mantiene que cambios en el consumo energético no tiene un efecto claro sobre el crecimiento económico y, la segunda, que existe alguna relación entre el consumo de energía y el nivel de producción. Bastantes estudios han intentado probar empíricamente esta relación en economías como Estados Unidos (Abosedra y Baghestani, 1989), Gardner y Joutz (1996) y Soytas, Sari y Ewing (2007); Canadá (Ghali, 2004); México (Caballero y Galindo, 2007) y Gómez (2010); América Central y países del Caribe (Apergis y Payne, 2009). Estudios en los países asiáticos se han llevado a cabo por Razzaqi, et al. (2011); específicamente en Bangladesh (Alam, et al., 2012); China (Zhang y Cheng, 2009) en el período 1960-2007; Taiwán (Cheng, 1997) sobre el período 1980-2007; Pakistán (Siddiqui, 2004); Irán (Zamani, 2007); India (Mallick, 2009); Turquía (Jobert y Karanfil, 2007) y Halicioglu (2009) para el período 1960-2005;

Ang (2007a) examina la relación entre el PIB, las emisiones contaminantes y el consumo de energía en Malasia entre 1971 y 1999. En África, Belloumi (2009) examina la relación causal entre el consumo de energía per cápita y PIB per cápita en Túnez, para el período 1971-2004. Estudios en países europeos han sido llevados a cabo en Francia (Ang, 2007b), Grecia (Tsani, 2010), Rusia (Zhang, 2011) y en España (Labandeira et al. 2017b). Otros análisis llevados a cabo para grupos de países, han sido realizados por Medlock y Soligo (2001), sobre 28 países de diferentes niveles de desarrollo, Pao y Tsai (2010) quienes examinan las relaciones entre las emisiones de CO<sub>2</sub>, el consumo de energía, y el PIB en los países BRICS durante el período 1990-2005; Mehrara (2007), que examina la causalidad entre consumo de energía per cápita y PIB per cápita mediante datos de panel sobre once países exportadores de petróleo; Luzzati y Orsini (2009), que estudian la relación entre consumo de energía y PIB per cápita en 113 países para el período 1971-2004 y Farhani y Ben Rejeb (2012) que realizaron un estudio para 90 países. Otras investigaciones mantienen que aumentos del PIB incrementan la contaminación hasta que el país alcanza una determinada renta per cápita, a partir de la cual comienza a decrecer la contaminación (Hettige, Mani y Wheeler, 2000). Por otra parte, Srnivasan y Siddanth (2015) también han encontrado relaciones entre el consumo de energía y el nivel de producción, lo que no sucede en las investigaciones de Yu y Choi (1992) y Altinay y Karagol (2004).

El propósito del presente capítulo es analizar en qué medida las emisiones de CO<sub>2</sub> están asociadas directamente al consumo de energía o bien a imperfecciones en el proceso productivo de bienes y servicios. El análisis se lleva a cabo a lo largo de 20 países durante el período 1995-2015 con datos anuales

provenientes de la International Energy Agency (2019). Los países sobre los que se hace el análisis suponen en 2018 el 61 % de la población mundial y pertenecen a cuatro continentes (Figuras 1 y 2). Por parte de la Unión Europea (UE) figuran Irlanda, Reino Unido, Francia, Alemania, Portugal y España. Además, figura Islandia como país europeo. Los países asiáticos analizados en esta investigación son: India, Indonesia, Arabia Saudí, Irán, Japón y China. También figura Rusia. Los países americanos tratados son Estados Unidos, Brasil y México. Y los países africanos que figuran en este análisis son Marruecos, Sudáfrica y Nigeria. Los cinco países emergentes más importantes considerados en este análisis están encuadrados en el bloque BRICS. Ciertas particularidades energéticas de algunos de los países y bloques que se analizan en esta investigación son expuestas a continuación. Los países de la UE considerados en este análisis tienen en 2018 el 53,7% de la población de la UE. Estos países tienen un alto producto interior bruto per cápita, y un PIB conjunto que representa el 59% del de la UE y un 10% del PIB mundial. En Alemania, la producción de energía está basada en la obtención de carbón, biofuel y tratamiento de residuos, energía nuclear y energía renovable, destacando la eólica, solar e hidráulica. En España, la producción de energía está basada en la obtención de energía nuclear y energía renovable, destacando la eólica, solar, biofuel, tratamiento de residuos e hidráulica. En Francia, la producción de energía está basada en la obtención de energía nuclear, biofuel, tratamiento de residuos, hidráulica y energía renovable, destacando la eólica y solar. En Irlanda, la producción de energía está basada en la obtención de gas natural, carbón y energía renovable, destacando la eólica. En Portugal, la producción de energía está basada en la obtención de biofuel, tratamiento de residuos y energía

renovable, en especial, eólica e hidráulica.

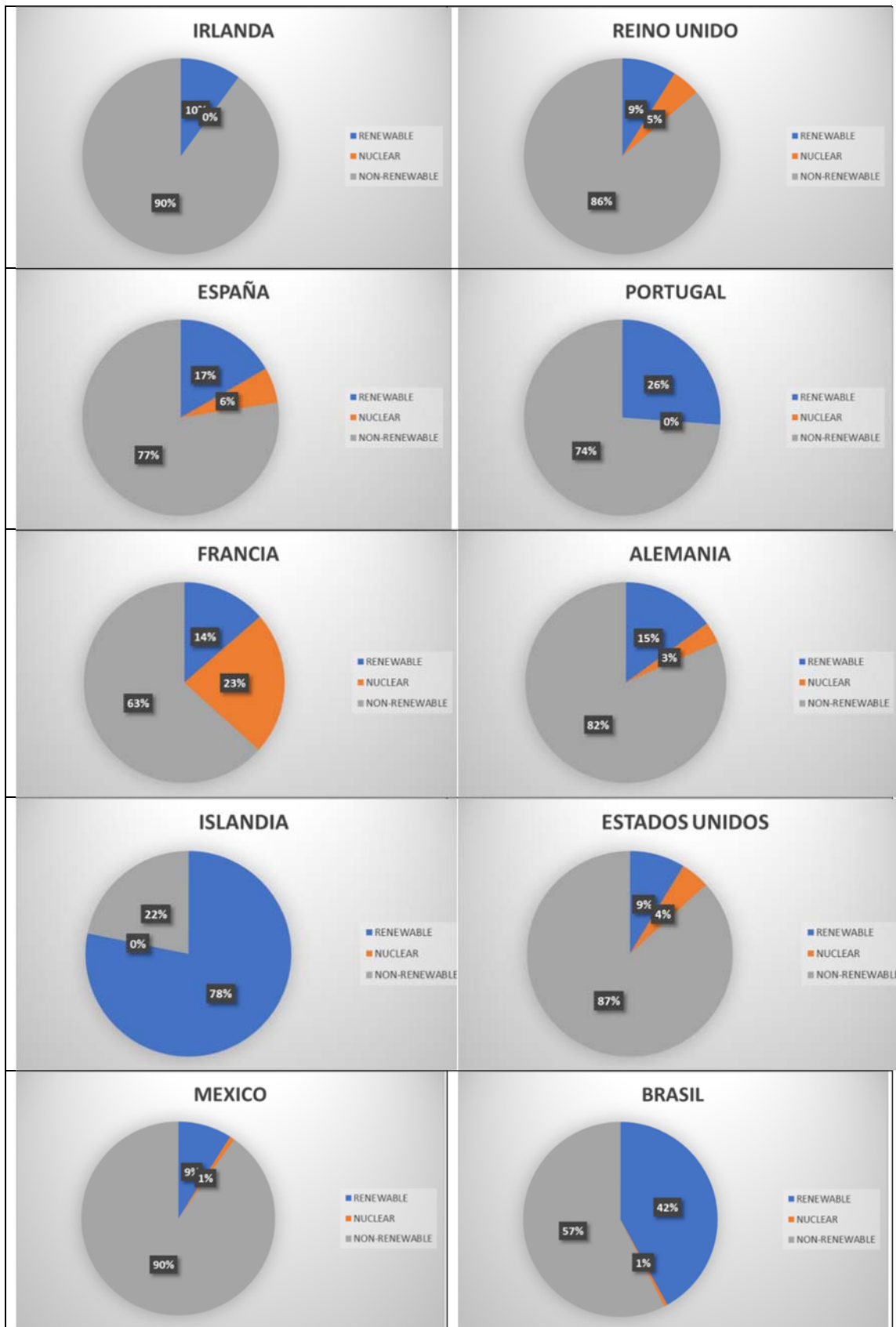


Figura 37: Energía fósil, renovable y nuclear en Europa y América (2016)

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la International Energy Agency 2019.

En Reino Unido, la producción de energía está basada en la obtención de petróleo, gas natural, energía nuclear, biofuel, tratamiento de residuos y energía renovable, destacando la eólica, solar e hidráulica.

En cuanto a Islandia, la energía geotérmica proporciona el 66,3 % de la energía primaria, la hidroeléctrica el 19,1 % y los combustibles fósiles el 14,6 %. Brasil, Rusia, India, China y Sudáfrica, forman los países denominados BRICS y componen la asociación económico-comercial entre estas cinco economías emergentes. Todas estas naciones tienen en común una gran población, estimada en 2019 en más del 40% de la población mundial. Brasil en las últimas décadas ha destacado en la producción de petróleo, biocombustibles y residuos, gas natural, energía nuclear y carbón, por este orden. Es la tercera potencia hidroeléctrica más grande del mundo y su consumo energético mayoritario proviene del gas natural, productos derivados del petróleo y biocombustibles. En cuanto a las energías renovables, a pesar de su gran potencial, solo se han desarrollado la energía eólica y la solar. Rusia produce gas natural, petróleo, carbón, energía nuclear e hidroeléctrica, en este orden, siendo su consumo mayoritario el gas natural y productos derivados del petróleo. La gran extensión de Rusia permite el desarrollo de energías renovables, siendo la energía geotérmica la más desarrollada, seguida de la energía solar y la eólica. India es considerada como la potencia energética del tercer mundo, y produce carbón, biocombustibles y residuos, petróleo y gas natural. La mayor parte de su consumo energético proviene de biocombustibles, derivados del petróleo, carbón y gas natural. China es hoy la primera potencia energética del mundo, sobre todo en el desarrollo de energías renovables.

Capítulo 4. La Contribución de la Actividad Económica y del Consumo Energético a las Emisiones de CO<sub>2</sub>

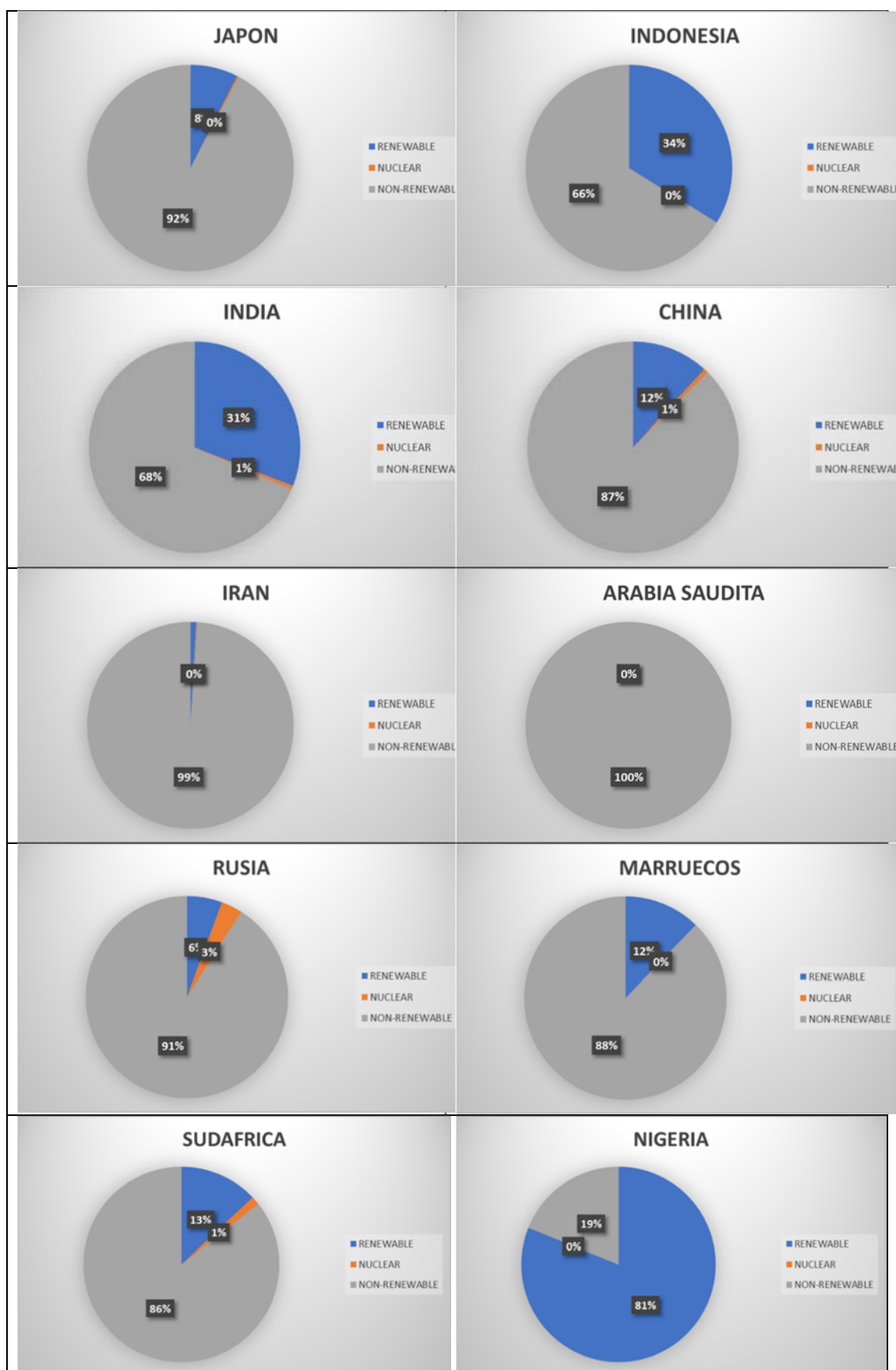


Figura 38: Energía fósil, renovable y nuclear en Asia y África (2016).

Fuente: Elaboración propia basada en datos de la International Energy Agency 2019.

La producción de carbón, petróleo, biocombustibles, energía hidroeléctrica y nuclear sigue siendo muy importante, pero también posee energía eólica, solar fotovoltaica y térmica, geotérmica y energías marinas. El consumo proviene del carbón, productos derivados del petróleo, gas natural, biocombustibles y renovables.

Sudáfrica es el último país agregado al grupo BRIC, es productor de carbón y biocombustibles, y su consumo se realiza principalmente en base a productos derivados del petróleo, carbón y biocombustibles.

La estructura de este capítulo es la siguiente: Las modelizaciones de las ecuaciones que tratan de explicar la relación causal entre el consumo de energía y la producción y entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía se llevan a cabo en la sección 2. En la sección 3 se encuentran los resultados obtenidos a partir de las estimaciones de las ecuaciones obtenidas en la sección segunda para los 20 países de la muestra. En la sección 4 están contenidos los resultados y consecuencias más relevantes de esta investigación y la sección 5 contiene algunas reflexiones finales.

## **2. RELACIÓN ENTRE CONSUMO DE ENERGÍA, PRODUCCIÓN Y EMISIONES**

La energía es un bien de consumo para los consumidores y, al mismo tiempo, un factor de producción para las empresas. Suponiendo una economía en equilibrio (y por simplicidad, cerrada y sin sector público), donde hay un pequeño número  $F$  de empresas en competencia imperfecta, normalmente en régimen de oligopolio, a cargo del suministro de energía a una población de  $H$  consumidores y a un gran número  $N$  de empresas productoras de bienes de consumo, que por simplicidad se supone en competencia perfecta. Se supone, también por

simplicidad, ausencia de intervenciones políticas o gubernamentales. Llamando  $e_H$  a la cantidad de energía demandada por los consumidores como bien y  $c$  y  $R$  respectivamente a las cantidades de bienes de consumo y factores de producción distintos de la energía, siendo  $p_e$ ,  $p_c$  y  $p_R$  los respectivos precios unitarios. Suponemos que el precio unitario de la energía ( $p_e$ ) es el mismo cualquiera que sea el uso de esta energía. La energía que se utilice como factor de producción será denominada como  $e_N$  si hace el papel de factor de producción en las  $N$  empresas que producen los bienes de consumo  $c$  y cuando la energía aparezca como un factor de producción para las  $F$  empresas suministradoras de energía será denominada como  $e_F$ . Se ha supuesto que la economía está en equilibrio y también suponemos que el mercado de energía también lo está: la oferta de energía es igual a la demanda de energía, es decir, que la oferta de energía suministrada por las  $F$  empresas se demanda enteramente como bien por los  $H$  consumidores y como factor de producción por las  $N$  más  $F$  empresas de la economía. Denominando como  $e_S$  la cantidad de energía suministrada por cada una de las  $F$  empresas y, suponiendo que los agentes son representativos, el equilibrio en el mercado interior de energía se puede expresar de esta forma:

$$e_S \cdot F = e_H \cdot H + e_N \cdot N + e_F \cdot F \quad (1)$$

donde el primer miembro es la oferta total de energía y el segundo miembro la demanda total. Denominaremos simplemente como  $e$  al consumo de energía<sup>148</sup> en el equilibrio del mercado, que es el consumo energético correspondiente a la igualdad entre la oferta y la demanda de energía.

---

<sup>148</sup> En este modelo no se ha considerado explícitamente el consumo de energía en transporte.



## **Estructura del mercado**

Estamos suponiendo que los  $H$  consumidores de la economía son un número grande y por lo tanto son competitivos, es decir, la cantidad de bienes y energía que demanda cada uno de ellos es muy pequeña en relación con las cantidades globales demandadas en el mercado, por lo que cada consumidor individualmente no puede influir en el precio de equilibrio del mercado y son por tanto precio-aceptantes. Lo mismo ocurre con las  $N$  empresas productoras de bienes de consumo, las cuales suponemos funcionan en régimen de competencia perfecta. Suponemos que las  $F$  empresas suministradoras de energía son un número pequeño de empresas. La aplicación empírica del presente modelo teórico se va a llevar a cabo sobre 20 países de Europa, Asia, América y África en cada uno de los cuales el número de empresas suministradoras de energía oscila entre 2 (en Portugal) y 29 (en Reino Unido). Por lo tanto, en líneas generales estas empresas suministradoras de energía funcionan en competencia imperfecta, en régimen de oligopolio, generalmente no colusivo. Suponemos por simplicidad que el producto que ofrecen es homogéneo: energía. En este sentido, el modelo más sencillo para especificar el funcionamiento de estas empresas es el del oligopolio tipo Bertrand (1883), porque su solución con producto homogéneo es similar al de competencia perfecta con pocas empresas en vez de con infinitas. Aunque sea un modelo ideal, existen algunas compañías de energía que compiten, sobre todo en el mercado eléctrico, según el modelo de oligopolio de Bertrand. El modelo de oligopolio de Bertrand toma el precio como variable estratégica, es decir, las empresas compiten en precios. Cuando el producto es homogéneo, como es el caso de la energía, y bajo el supuesto de que todas las empresas alcanzan el

mismo coste marginal en el equilibrio, la competencia entre las empresas termina produciendo que el precio sea igual al coste marginal, como en el caso de la competencia perfecta, aunque sólo haya dos empresas en el mercado. Además, en el equilibrio se termina produciendo un beneficio cero para las empresas, lo cual se conoce como la "paradoja" de Bertrand. Para evitar la situación de beneficios cero, que no se suele dar en la realidad en el equilibrio de las empresas suministradoras de energía, optaremos también por analizar el caso de competencia no colusiva tipo Cournot (1838) para este tipo de empresas. En estudios aplicados sobre mercados de electricidad, los modelos tipo Cournot son omnipresentes y se aplican a una amplia gama de aplicaciones. El modelo de Cournot toma las cantidades como estrategia de la empresa, es decir, las empresas compiten en cantidades, pero no en precios como en Bertrand. El modelo de Cournot suele ser muy adecuado para ser aplicado en el mercado de energía eléctrica y son la opción preferida cuando se necesita modelizar detalladamente algunas características técnicas, como restricciones de red, la estabilidad de voltaje, o los costes de puesta en marcha en el caso de la energía eléctrica. También se han analizado con estos modelos los impactos de la congestión sobre los precios y el poder de mercado. Los modelos de Cournot son fáciles de resolver y proporcionan, en condiciones adecuadas, un equilibrio único tipo Nash. Una visión general de la aplicación de los modelos de Cournot en el análisis de cuestiones relacionadas con el poder de mercado se encuentra en Bushnell et al. (2008) y Palazuelos (2019). Otras aplicaciones de Cournot a mercados energéticos, incluyendo el tratamiento de problemas de red en el suministro eléctrico, se tratan en Day et al. (2002) y en Ventosa et al. (2005). Sin embargo, a partir del trabajo de Klemperer y Meyer (1989), se considera que el

modelo oligopolístico de Equilibrio en la Función de Oferta (*Supply Function Equilibria*) o *SFE* puede representar los mercados de energía eléctrica de una manera más realista que el modelo de Cournot. En los modelos *SFE* se asume que las empresas compiten mediante licitaciones continuas y fluidas en un mercado oligopolístico que se enfrenta a una demanda con incertidumbre. Y en presencia de incertidumbre las empresas toman su función de oferta como variable estratégica. Los modelos *SFE* permiten encontrar soluciones intermedias situadas entre los casos de Cournot y Bertrand e incluso también contemplan la posibilidad de colusión. Estas soluciones intermedias se dan tanto en precios como en cantidades de equilibrio y se consiguen sin más que variando paramétricamente la respuesta hipotética de la función de oferta. Los principales inconvenientes de los modelos de equilibrio en la función de oferta (*SFE*), así como de sus modelos derivados, son que a menudo tienen equilibrios múltiples, pueden tener soluciones inestables y requieren fuertes simplificaciones con respecto a las estructuras de mercado y de costes; todo lo cual hace que los modelos *SFE* sean difíciles de calcular en comparación con los modelos de Cournot. Algunos autores como Hu et al. (2004) llegan a la conclusión de que, sobre todo en presencia de congestión, el modelo de Cournot es más eficiente que el modelo de Equilibrio en la Función de Oferta (*SFE*).

Por todas estas razones en el presente trabajo se utilizarán alternativamente los modelos de Bertrand y Cournot para explicar el comportamiento oligopolístico de las  $F$  empresas suministradoras de energía, de cara a especificar una relación entre el consumo de energía y la producción de bienes y servicios.

### La demanda de energía de los consumidores

Los consumidores maximizan su utilidad condicionada a su restricción presupuestaria. La función de utilidad que se propone para los consumidores, los cuales eligen entre consumo de energía y resto de bienes de consumo es por simplicidad de tipo Cobb-Douglas y tiene la siguiente expresión, para  $0 < \alpha < 1$ :

$$U(e_H, c) = e_H^\alpha c^{1-\alpha} \quad (2)$$

Suponemos que los precios de los bienes  $e_H$  y  $c$  no varían con la cantidad demandada por el consumidor porque, según Mas-Colell et al. (1995), se considera que los consumidores son precio-aceptantes y no pueden afectar a dichos precios ya que la cantidad de energía ( $e_H$ ) y de bienes de consumo ( $c$ ) que demanda cada uno de ellos resulta insignificante en relación al mercado, lo que implica que cada consumidor no pueda influir en él. Llamando  $m$  a la renta disponible monetaria per cápita del consumidor, que así mismo suponemos constante a corto plazo, el comportamiento de los agentes individuales en cada período será entonces el siguiente:

$$\text{Max} \langle U(e_H, c) = e_H^\alpha c^{1-\alpha} \rangle \text{ subject to: } e_H p_e + c p_c = m \quad (3)$$

Resolviendo esta maximización obtenemos:  $m = \frac{p_e}{\alpha} e_H$ ; considerando que este consumidor es representativo, en ausencia de impuestos sabemos que:  $H m = Y$

(renta monetaria o PIB monetario de la economía), es decir:  $Y = \frac{p_e}{\alpha} H \cdot e_H$ .

Por lo tanto, la demanda agregada de energía por parte de los consumidores,

como bien de consumo, resultará ser:

$$H \cdot e_H = \frac{\alpha Y}{p_e} \quad (4)$$

### **Demanda de energía de las empresas que producen bienes de consumo c**

En la economía existen  $N$  empresas en régimen de competencia perfecta, precio-aceptantes que no pueden hacer variar el precio de los bienes de consumo  $c$ , producidos por ellas. Estas empresas maximizan el beneficio. Suponemos que los bienes  $c$  son, por simplicidad, producidos a partir de una función de producción tipo Cobb-Douglas en base a una serie de factores de producción ( $R$ ), más la energía, que en este caso funciona como un factor de producción ( $e_N$ ). Es decir:

$$c = A e_N^\beta R^{1-\beta} \quad (5)$$

con  $0 < \beta < 1$ .  $A$  es el coeficiente de progreso técnico o tecnología que suponemos neutral en el sentido de Hicks. El objetivo de cada una de estas empresas es maximizar el beneficio  $B = p_c c - p_e e_N - p_R R$ . La demanda de energía como factor de producción es una demanda derivada de la maximización del beneficio. Es decir:

$$MaxB = Max \langle p_c A e_N^\beta R^{1-\beta} - p_e e_N - p_R R \rangle \quad (6)$$

Suponemos que los mercados de bienes de consumo  $c$  y factores  $R$  están en competencia perfecta, por lo que los precios  $p_c$  y  $p_R$  aparecen como dados.

**Caso Bertrand.** Con respecto a los precios de la energía,  $p_e$ , en principio suponemos que las  $F$  empresas que suministran energía a consumidores y empresas tienen entre sí una competencia no colusiva en precios tipo Bertrand (1883), lo que implica que, aunque formen un oligopolio, su equilibrio es similar al de competencia perfecta (para las  $F$  empresas que producen energía se debe cumplir:  $p_e = C'_{eF}$ ) puesto que el producto que ofrecen (energía) es homogéneo. La demanda derivada de energía se obtiene maximizando  $B$  respecto a  $e_N$ :

$B'_{eN} = 0 = \beta \cdot p_c \cdot A \cdot e_N^{\beta-1} \cdot R^{1-\beta} - p_e$ , de donde la demanda de energía de cada empresa es:  $e_N = \frac{\beta \cdot p_c \cdot c}{p_e}$ ; y para las  $N$  empresas la demanda de energía será:

$$e_N N = \frac{\beta \cdot (p_c \cdot c \cdot N)}{p_e} \quad (7)$$

**Caso Cournot.** Ahora bien, si suponemos que las  $F$  empresas que producen y suministran energía funcionan como un oligopolio no colusivo tipo *Cournot*, entonces el precio de la energía  $p_e$  ya no viene dado, ni es igual al coste marginal de la energía, sino que depende de la cantidad de energía, según la función de demanda de ésta:  $p_e = p_e(e_N)$ . Ello implica que la maximización de beneficios de la que se extrae la demanda derivada de energía como factor de producción es ahora:

$$B'_{eN} = 0 = \beta p_c A e_N^{\beta-1} R^{1-\beta} - \left( \frac{dp_e}{de_N} e_N + p_e \right) = \beta p_c A e_N^{\beta-1} R^{1-\beta} - p_e \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) =$$

$$\beta p_c A e_N^{\beta-1} R^{1-\beta} - \frac{p_e}{\mu} = 0$$

en donde  $\varepsilon$  es la elasticidad de la demanda derivada de energía que enfrenta la

empresa y  $\mu$  el *mark-up* sobre los costes marginales de la empresa suministradora de energía. De la maximización se deduce que la cantidad de energía como factor de producción ( $e_N$ ) demandada por la empresa es ahora:

$$e_N = \frac{\mu \cdot \beta \cdot p_c \cdot c}{p_e}; \text{ y para las } N \text{ empresas la demanda de energía resultará ser:}$$

$$e_N N = \frac{\mu \cdot \beta \cdot (p_c \cdot c \cdot N)}{p_e} \quad (8)$$

### **Demanda de energía de las empresas que suministran energía**

Las  $F$  empresas que suministran el bien energía ofrecida ( $e_S$ ) también usan una parte de ella como factor de producción ( $e_F$ ), según una determinada función de producción que por simplicidad suponemos también tipo Cobb-Douglas y cuyos argumentos son la energía como factor ( $e_F$ ) y el resto de factores de producción  $R$ :

$$e_S = A e_F^\beta R^{1-\beta} \quad (9)$$

donde  $e_S$  es la energía producida por cada una de las  $F$  empresas y después suministrada a las empresas que producen bienes de consumo ( $c$ ) y a los consumidores.

**Caso Bertrand.** La demanda de energía se deriva de la maximización de beneficios por parte de cada una de las  $F$  empresas:

$$MaxB = Max \langle p_c A e_F^\beta R^{1-\beta} - p_e e_F - p_R R \rangle \text{ cuyo resultado, considerando que el}$$

precio  $p_e$  viene dado por el equilibrio de Bertrand, es:  $e_F = \frac{\beta \cdot p_c \cdot e_S}{p_e}$ ; y para las

$F$  empresas la demanda de energía será:

$$e_F F = \frac{\beta \cdot (p_c \cdot e_S \cdot F)}{p_e} \quad (10)$$

Sabiendo que en una economía en equilibrio el ingreso de los vendedores es igual al gasto de los consumidores y que la renta nominal total anual de la economía ( $Y$ ) es la suma de los ingresos anuales de todas las empresas:  $Y = (p_c c)N + (p_e e_S)F$ , donde sabemos que la energía suministrada por cada empresa ( $e_S$ ) se aplica como factor de producción ( $e_N$ ) en las empresas que producen bienes de consumo, además de satisfacer las necesidades de los consumidores como bien ( $e_H$ ). La demanda derivada total de energía como factor de producción por parte de las  $N + F$  empresas, cuando las  $F$  empresas funcionan a la Bertrand, por (7) y (10) será:

$$N \cdot e_N + F \cdot e_F = \frac{\beta}{p_e} [(p_c c)N + (p_e e_S)F] = \frac{\beta}{p_e} Y$$

Y la demanda total de energía ( $e_D$ ) de empresas más consumidores, teniendo en cuenta (4), (7) y (10), será:

$$e_D = H \cdot e_H + N \cdot e_N + F \cdot e_F = (\alpha + \beta) \frac{Y}{p_e} \quad (11)$$

donde  $p_e$  viene dado por el equilibrio de Bertrand. Cuando el mercado energético



interno está en equilibrio, se deberá cumplir que la demanda de energía sea igual a la oferta de energía:  $e_D = e_S \cdot F = e$ , siendo  $e$  el consumo energético en el equilibrio del mercado de energía.

**Caso Cournot.** La demanda de energía se deriva de la maximización de beneficios por parte de cada una de las  $F$  empresas:

$MaxB = Max\left\{p_c A e_F^\beta R^{1-\beta} - p_e e_F - p_R R\right\}$ , pero ahora el precio unitario de la energía,  $p_e$ , no viene dado, sino que depende de la cantidad de energía demandada como factor de producción:  $p_e = p_e(e_F)$ . La maximización del beneficio del que se deriva la función de demanda de energía como factor de producción para cada una de las  $F$  empresas suministradoras tendrá ahora la siguiente expresión:

$$B'_{e_F=0} = AR^{1-\beta} \left( \frac{dp_e}{de_F} e_F^\beta + \beta e_F^{\beta-1} p_e \right) - \left( \frac{dp_e}{de_F} e_F + p_e \right) = \left[ AR^{1-\beta} e_F^{\beta-1} \left( \beta - \frac{1}{\varepsilon} \right) - \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \right] p_e$$

donde  $\varepsilon$  es la elasticidad de la demanda de energía como factor de producción y  $(1-1/\varepsilon)$  es  $1/\mu$ , donde  $\mu$  es el mismo *mark-up* anteriormente definido por cuanto hemos supuesto que el precio unitario de la energía es el mismo ya sea bien de consumo o factor de producción. Resolviendo la maximización, la cantidad demandada de energía como factor de producción por cada una de las  $F$  empresas es:  $e_F = [1-\mu(1-\beta)]e_S$ . Por lo que la cantidad de energía demandada por todas las  $F$  empresas será:

$$e_F F = [1-\mu(1-\beta)]e_S \cdot F \tag{12}$$

Y la energía total demandada por la economía será:  $e_D = He_H + Ne_N + Fe_F$ .

Es decir:

$$e_D = \frac{\alpha Y}{p_e} + \frac{\mu \cdot \beta \cdot (p_c \cdot c \cdot N)}{p_e} + [1 - \mu(1 - \beta)](e_S \cdot F) \quad (13)$$

Como el ingreso total de la economía o renta monetaria es  $Y = (p_c c)N + (p_e e_S)F$ , tenemos que  $(p_c c)N = Y - (p_e e_S)F$ ; sustituyendo  $(p_c c)N$  en (13) obtenemos la demanda total de energía:

$$e_D = \frac{(\alpha + \mu \cdot \beta)Y}{p_e} + (1 - \mu)(e_S \cdot F)$$

donde el precio unitario de la energía no es constante, sino que depende de la demanda global de energía:  $p_e = p_e(e_D)$ . Si suponemos que la economía es cerrada energéticamente, es decir, los consumidores y las empresas reciben sólo energía de las  $F$  empresas suministradoras, entonces toda la energía la energía que producen las empresas suministradoras se distribuye de esta manera:  $e_S \cdot F = e_F \cdot F + e_N \cdot N + e_H \cdot H$ , donde el primer miembro es la oferta total de energía y el segundo miembro la demanda total ( $e_D$ ). En el equilibrio:  $e_S \cdot F = e_D = e$ , donde  $e$  es el consumo de energía cuando el mercado de energía está en equilibrio. Sustituyendo, tenemos finalmente que:

$$e = \frac{(\alpha + \mu \cdot \beta)Y}{\mu \cdot p_e} \quad (14)$$

donde  $p_e$  no es constante. A partir de la ecuación (14) ya se puede obtener una relación entre el consumo energético, el precio de la energía  $p_e$  y la renta. Pero para poder eliminar de la ecuación el precio de la energía  $p_e$  debemos analizar la oferta de energía y el equilibrio en el mercado de energía, en cuyo caso el consumo de energía en equilibrio quedaría en función del precio de los factores distintos de la energía  $p_R$ , de la tecnología  $A$  y de la renta nominal  $Y$ .

### La oferta de energía

Hemos supuesto que cada una de las  $F$  empresas suministradoras de energía producen según una función de producción Cobb-Douglas del tipo:  $e_S = Ae_F^\beta R^{1-\beta}$ , con una función de costes:  $C = p_e e_F + p_R R$ , donde  $e_F$  es la dotación de energía como factor de producción,  $R$  envuelve a los otros factores de producción diferentes de la energía pero necesarios para producirla,  $A$  es el coeficiente de progreso técnico o tecnología y  $e_S$  la cantidad de energía producida y suministrada. A la función de producción Cobb-Douglas mencionada (9) le corresponde una función de costes variables dependiente de  $e_S$ , que se obtiene minimizando la función de costes  $C$  sujeta a la función de producción:

$$\text{Min}\langle C(e_F, R) = p_e e_F + p_R R \rangle \text{ sujeto a: } e_S = Ae_F^\beta R^{1-\beta} \quad (15)$$

**Caso Bertrand.** Minimizando por Lagrange considerando como dados los precios de los factores, se establece una relación entre los dos factores de producción que permite poner cada uno de ellos en función del output  $e_S$ . Una vez sustituidos estos resultados en la expresión de los costes ( $C$ ) podemos obtener la expresión de los costes variables ( $C_v$ ) en función de  $e_S$ ,

correspondientes a la función de producción (9):

$$Cv = \left(\frac{p_e}{\beta}\right)^\beta \left(\frac{p_R}{1-\beta}\right)^{1-\beta} \frac{e_S}{A} \quad (16)$$

a la que corresponde la siguiente función de costes marginales (C') respecto de es:

$$C'_{eS} = \frac{1}{A} \left(\frac{p_e}{\beta}\right)^\beta \left(\frac{p_R}{1-\beta}\right)^{1-\beta} \quad (17)$$

Función que en este caso resulta ser constante para las  $F$  empresas, porque no depende de la cantidad de energía y los precios  $p_e$  y  $p_R$  son constantes. Cuando las  $F$  empresas oligoplísticas suministradoras de energía mantienen una competencia tipo Bertrand, compitiendo en precios, en el equilibrio igualarán el precio de venta de la energía al coste marginal ( $p_e = C'_{eS}$ ) en un único mercado. Por lo tanto, el equilibrio del mercado se puede expresar igualando el precio al coste marginal, a partir de (11 y 17):

$$p_e = (\alpha + \beta) \frac{Y}{e} = \frac{1}{A} \left(\frac{p_e}{\beta}\right)^\beta \left(\frac{p_R}{1-\beta}\right)^{1-\beta} \quad (18)$$

de donde podemos obtener el consumo total de energía en el equilibrio del mercado (e):

$$e = (\alpha + \beta) \beta^\beta (1-\beta)^{1-\beta} \frac{A \cdot p \cdot y}{p_e^\beta \cdot p_R^{1-\beta}} \quad (19)$$

ecuación en la que se ha desglosado la renta monetaria  $Y$  en sus componentes,

nivel general de precios  $p$  y renta real  $y$  ( $Y = p \cdot y$ ), donde  $y$  es ahora el ingreso en términos reales o PIB a precios constantes. Lo que se indica en la expresión (19) es que el consumo de energía depende directamente de la renta real en inversamente del precio de la energía y de los precios del resto de factores de producción.

**Caso Cournot.** Para realizar la minimización condicionada (15) con la idea de obtener la función de costes variables correspondiente a la función de producción Cobb-Douglas,  $e_S = A e_F^\beta R^{1-\beta}$ , hay que utilizar el método de Lagrange teniendo en cuenta que suponemos el mercado de factores  $R$  en competencia perfecta, es decir, consideramos  $p_R$  como dados. No sucede lo mismo con  $p_e$ , ya que  $p_e = p_e(e_F)$ . La función lagrangeana del problema es:

$$\mathcal{L}(e_F, R, \rho) = p_e \cdot e_F + p_R \cdot R + \rho \cdot (e_S - A \cdot e_F^\beta \cdot R^{1-\beta}). \text{ Condiciones de primer orden:}$$

$$\mathcal{L}'_{e_F} = \left( \frac{dp_e}{de_F} \cdot e_F + p_e \right) - \beta \cdot A \cdot e_F^{\beta-1} \cdot R^{1-\beta} \cdot \rho = 0$$

$$\mathcal{L}'_R = p_R - (1 - \beta) \cdot \lambda \cdot e_F^\beta \cdot R^{-\beta} \cdot \rho = 0$$

Volviendo a considerar que  $1-1/\varepsilon = 1/\mu$ , donde en este caso  $\varepsilon$  es la elasticidad de la demanda de energía como factor de producción para una empresa del grupo de  $F$  empresas y  $\mu$  el merk-up que ponen estas empresas sobre los costes marginales, igualando los multiplicadores de Lagrange ( $\rho$ ) de las dos condiciones de primer orden y sustituyendo los resultados en la función de producción, obtenemos la relación entre los factores de producción y el output, es decir, entre  $e_F$  y  $e_S$ , y entre  $R$  y  $e_S$ . Sustituyendo estas relaciones en la función de costes variables a minimizar obtenemos la función de costes variables de la empresa

en función de  $e_S$ :

$$Cv = p_e e_F + p_R R = \frac{p_e}{A} \left[ \frac{(1-\beta)p_e}{\mu \cdot \beta \cdot p_R} \right]^{\beta-1} e_S + \frac{p_R}{A} \left[ \frac{(1-\beta)p_e}{\mu \cdot \beta \cdot p_R} \right]^{\beta} e_S \quad (20)$$

Denominando ahora  $X = \frac{1}{A} \left[ \frac{1-\beta}{\mu \cdot \beta \cdot p_R} \right]^{\beta-1}$ , y como  $Z = \frac{p_R}{A} \left[ \frac{1-\beta}{\mu \cdot \beta \cdot p_R} \right]^{\beta}$ , la función

de costes marginales será:

$$C'_{e_S} = (X + Z) \cdot p_e^{\beta} \cdot \left[ \frac{\mu \cdot (1-\beta) + \beta}{\mu} \right] \quad (21)$$

### Equilibrio de la empresa que compite en Cournot

Supondremos ahora, sólo por simplicidad, que las  $F$  empresas suministradoras tienen un coste marginal idéntico en el equilibrio. Esto implica que si las  $F$  empresas compiten al estilo *Cournot*, donde la competencia es en cantidades, la cantidad de energía que termina ofreciendo al mercado cada empresa es idéntica para todas las empresas. Supondremos, también por simplicidad, que los mark-up que imponen sobre los costes marginales las  $F$  empresas son idénticos ( $\mu$ ). Al estar funcionando las empresas suministradoras de energía en régimen de competencia imperfecta, la relación entre el precio de venta y el coste marginal es:  $p_e = \mu \cdot C'_e$ . Teniendo en cuenta el valor de  $C'_e$  a partir de (21), el precio unitario de venta de la energía por cada empresa será:

$$p_e = [(X + Z)[\mu(1-\beta) + \beta]]^{\frac{1}{1-\beta}} \quad (22)$$

En un oligopolio no colusivo tipo *Cournot* este precio es el mismo para todas las

empresas. Pero sabemos que el precio equilibrio de mercado viene dado por la ecuación (14). Es decir:

$$p_e = \frac{(\alpha + \mu\beta)Y}{\mu \cdot e} \quad (23)$$

donde  $e$  es el consumo de energía en el equilibrio del mercado. Igualando los precios dados por las relaciones (22) y (23), tenemos finalmente que si en el oligopolio que forman las  $F$  empresas se compite al estilo *Cournot*, el consumo de energía de la economía será:

$$e = \left( \frac{\alpha + \mu\beta}{\mu} \right) \left( \frac{1-\beta}{p_R} \right) (\mu\beta)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \left[ \frac{A}{\beta(1-\beta)(\mu-1)^2 + \mu} \right]^{\frac{1}{1-\beta}} py \quad (24)$$

Donde se ha desglosado la renta monetaria  $Y$  en sus dos componentes: nivel general de precios ( $p$ ) y renta real ( $y$ ). Si se pudiere ajustar una recta de regresión a la función global de demanda de energía a la que se enfrenta cada empresa entonces el *mark-up* sobre los costes marginales que impone cada una de las  $F$  empresas que compite en *Cournot* se puede aproximar como:  $\mu = \frac{F+3}{F+1}$ , siendo  $F$  el número de empresas que componen el oligopolio, evidentemente para  $F > 1$ , porque se trata de un oligopolio. Si  $F = 1$  se trataría de un monopolio y el *mark-up* sería  $\mu = 2$ . Cuando  $\mu = 1$  tenemos la solución de *Bertrand*, para la cual, el consumo de energía será:

$$e = (\alpha + \beta) \left( \frac{1-\beta}{p_R} \right) \beta^{\frac{\beta}{1-\beta}} A^{\frac{1}{1-\beta}} py \quad (25)$$

Se puede verificar que el consumo de energía en el equilibrio es mayor cuando

las empresas compiten en precios (*Bertrand*), según la ecuación (25), que cuando compiten en cantidades (*Cournot*), según la ecuación (24).

Llamando  $\lambda_0$  al término  $\left(\frac{\alpha + \mu\beta}{\mu}\right)(1 - \beta)(\mu\beta)^{\frac{\beta}{1-\beta}} \left[\frac{1}{\beta(1-\beta)(\mu-1)^2 + \mu}\right]^{\frac{1}{1-\beta}}$ , y tomando

logaritmos neperianos en (24), pero también considerando (19) y (25) podemos obtener una primera expresión lineal explicativa del consumo de energía en una economía. Pero al regresar la ecuación a lo largo de una base de datos, muy probablemente el coeficiente  $\lambda_0$  sería altamente significativo, manifestando la existencia de variables omitidas. Una de ellas puede estar relacionada con el nivel de población (*PO*) de la economía ya que parece evidente que a mayor población puede corresponder mayor consumo energético, por lo que una más completa especificación del consumo de energía en equilibrio para ser regresada podría ser:

$$\log_e e = \lambda_0 + \lambda_2 \log_e A + \lambda_1 \log_e y + \lambda_3 \log_e p + \lambda_4 \log_e p_e + \lambda_5 \log_e p_R + \lambda_1 \log_e PO + \varepsilon \quad (26)$$

donde  $\varepsilon$  es una perturbación aleatoria. A esta expresión cabría añadir los determinantes del consumo de energía a muy largo plazo: Si por simplicidad dejamos al margen consideraciones relativas a la sustituibilidad de los factores de producción y suponemos que la función de producción agregada que rige el crecimiento a largo plazo de una economía, que por simplicidad suponemos cerrada y sin sector público, es del tipo  $y = (AL)^{1-\eta} K^\eta$ , con un coeficiente de progreso técnico neutral en Harrod para asegurar la existencia de un estado estacionario distinto de cero, y denotamos por  $L$  el factor trabajo y  $K$  el capital



físico, si consideramos la tecnología  $A$  como exógena y creciente a una tasa constante  $g$ , entonces a muy largo plazo, en el estado estacionario, se deberá cumplir:  $s \cdot y = (n + g + \delta) \cdot K$ , donde  $n$  y  $g$  son respectivamente las tasas constantes de crecimiento de la población y la tecnología respectivamente, mientras que  $s$  y  $\delta$  son también respectivamente, las tasas de ahorro y de depreciación del capital. Aunque la energía es un factor de producción no estrictamente acumulable, hoy día es el uso del capital quien causa el consumo de energía como factor de producción. Por tanto podemos expresar que  $e = \varphi K$ . Sustituyendo esta expresión en la ecuación del estado estacionario, obtendremos el consumo de energía en él:  $e = \frac{\varphi \cdot s \cdot y}{(n + g + \delta)}$ , es decir:  $\log_e e = \log_e \varphi + \log_e s + \log_e y - \log_e (n + g + \delta)$ . Por tanto  $\lambda_7 \log_e s + \lambda_8 \log_e (n + g + \delta)$  son los términos relativos al largo plazo que habría que añadir al segundo miembro de la especificación (26).

## Emisiones

Los procesos de producción y consumo de energía conllevan emisiones de gases y partículas, pero una buena parte de las emisiones parecen provenir de la calefacción y aire acondicionado de viviendas y edificios. Por lo tanto, podemos asumir que un determinado porcentaje de emisiones contaminantes ( $Em$ ) son un subproducto del proceso de consumo de energía, en general ( $e$ ), y del consumo de energía específicamente dedicado a calefacción y refrigeración ( $e_{cr}$ ), de forma que en principio podemos expresar:

$$Em = \rho \cdot e^\gamma \cdot e_{cr}^{\gamma_1} \quad (27)$$

donde  $\rho$ ,  $\gamma$ ,  $\gamma_1$  son parámetros. Algunas de las variables que explican las

emisiones pueden estar relacionadas con las condiciones ambientales, y en concreto con variaciones de la temperatura ambiente que afecten al consumo de calefacción y refrigeración, así como también el viento o la pluviosidad, que pueden incidir en la dispersión de las emisiones de gases y partículas asociadas a la producción y consumo de energía. A partir de Joule (1850) se conoce que la cantidad de calor necesaria para elevar o disminuir la temperatura de un cuerpo de masa  $M$  es:  $Q = s \cdot M \cdot \Delta T$ , donde  $Q$  es calor,  $s$  una constante denominada calor específico y  $\Delta T$  el aumento de temperatura en °C. Por otra parte, está establecido que la energía acumulada por calor es:  $E = J \cdot Q$ , donde  $J$  es una constante universal denominada equivalente mecánico de la kilocaloría. Por lo tanto,  $E = J \cdot s \cdot M \cdot \Delta T$  es el consumo de energía extra causada por variaciones en la temperatura ambiente. Dado que hemos supuesto que este consumo se debe básicamente a calefacción y refrigeración ( $e_{cr}$ ), podemos expresar que:  $e_{cr} = \theta \cdot J \cdot s \cdot M \cdot \Delta T$ , donde  $\theta$  es un parámetro que refleja una proporcionalidad. Por lo tanto, la expresión (27) cobrará ahora la siguiente forma:

$$Em = \rho \cdot e^\gamma (\theta \cdot J \cdot s \cdot M \cdot \Delta T)^{\gamma_1} \quad (28)$$

Que indica que las emisiones causadas por el consumo de energía son amplificadas o reducidas por el efecto de las condiciones ambientales. Tomando logaritmos naturales en (28), concentrando los términos constantes en  $\gamma_0$  y siendo  $\varepsilon$  una perturbación aleatoria, la ecuación a regresar para explicar las emisiones, será:

$$\log_e Em = \gamma_0 + \gamma \log_e e + \gamma_1 \log_e (M \cdot \Delta T) + \varepsilon \quad (29)$$

### 3. DATOS Y RESULTADOS EMPÍRICOS

Como se ha mencionado anteriormente, el objetivo de esta investigación es determinar si las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera se deben fundamentalmente al consumo de energía o bien a imperfecciones en el proceso productivo de los países, o bien a las dos cuestiones y en qué proporción. Para averiguarlo se han regresado las ecuaciones (26) y (29) a lo largo de 20 países durante el periodo 1995-2015 con datos anuales. Los 20 países seleccionados pertenecen a bloques económicos consolidados: por parte de la Unión Europea figuran Irlanda, Francia, Alemania, España y Portugal. Otros países europeos no perteneciente a la UE son Islandia y Reino Unido. Por parte de los países BRICS figuran India, China, Rusia, Brasil y Sudáfrica; Otros países asiáticos que figuran son Indonesia, Japón, Arabia Saudí e Irán; Otros países americanos son Estados Unidos y México; y finalmente en la muestra hay otros países africanos como son Nigeria y Marruecos. La aplicación se ha llevado a cabo con datos de la Agencia Internacional de la Energía (*International Energy Agency, 2019*) y las ecuaciones (26) y (29) han sido adaptadas para poder realizar las regresiones de acuerdo a los datos. Para poder disponer de los suficientes grados de libertad se han soslayado los precios de bienes y factores que, junto con la tecnología, se han englobado en la constante de regresión. De este modo se ha simplificado la ecuación (26) que explica el consumo de energía ( $e$ ), estimando finalmente la siguiente ecuación:

$$\log_e e = \lambda_0 + \lambda \log_e y + \lambda_1 \log_e PO + \varepsilon \quad (30)$$

donde  $\varepsilon$  es una perturbación aleatoria y  $e$  es el consumo anual de energía<sup>149</sup> medido en miles de toneladas equivalentes de petróleo (*ktoe*<sup>150</sup>).  $PO$  es la población del país medida en millones de habitantes,  $e$  y es el output real de la economía medido a paridad de poder de compra en miles de millones de US\$ constantes del año 2010. La ecuación (29), que explica las emisiones de CO<sub>2</sub>, se va a estimar considerando que sobre el término  $M \cdot \Delta T$  se van a realizar las siguientes consideraciones: tomamos como  $\Delta T$  la diferencia de las temperaturas medias máximas y mínimas anuales medidas en °C con respecto a una temperatura idónea, que en nuestro caso se ha tomado como 19°C.  $M$  es la masa de los cuerpos que hay que calentar o enfriar. En esta investigación se ha tomado por simplicidad  $M$  como la población total ( $PO$ ) del país<sup>151</sup> medida en millones de habitantes. Y llamando a  $PO \cdot \Delta T$  como  $TPO$ , la ecuación (29) que se regresará finalmente será:

$$\log_e Em = \gamma_0 + \gamma \log_e e + \gamma_1 \log_e (TPO) + \varepsilon \quad (31)$$

donde  $\varepsilon$  es una perturbación aleatoria,  $e$  el consumo anual de energía y  $Em$  las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> vertidas por cada economía. Para detectar si existe o no dependencia espacial en el consumo de energía y en las emisiones entre los 20 países de la muestra, se ha aplicado el test I de Moran, 1950.

---

<sup>149</sup> *Total final consumption*: consumo de energía residencial, transporte, industrial, servicios y sector primario, pero los consumos de energía en transporte, sector industrial y sector primario se consideran asociados en este trabajo a la "Actividad Económica". Consumo de energía residencial y servicios se asumen como "Consumo"

<sup>150</sup> 1 *ktoe* = 11630000 kWh.

<sup>151</sup> En rigor habría que haber multiplicado para cada país cada habitante por su masa o bien por la masa media de los habitantes pero, suponiendo que en promedio los habitantes de los países tienen similar masa se ha preferido normalizar a la unidad la masa de cada habitante.

Capítulo 4. La Contribución de la Actividad Económica y del Consumo Energético a las Emisiones de CO<sub>2</sub>

**Tabla 3: Estimaciones del consumo de energía y emisiones de CO<sub>2</sub> por países**

	R.Unid	Francia	España	Portugal	Rusia	India	Iran	Indonesia	China	Marrueco	Global
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Met.	AR1	MCO	MCO	AR1	AR1	MCO	AR1	MCO	MCO	AR1	Panel Random Effects
<b>Ln e</b>	<b>(Consumo de Energía)</b>										
Const	19.27 (23.6)	15.35 (11.5)	10.02 (2.87)	2.89 (1.00)	-26.1 (-1.0)	16.6 (2.53)	-1.22 (-1.3)	8.32 (3.67)	53.9 (1.37)	4.50 (1.55)	5.25 (3.48)
Ln y [λ]	0.43 (3.64)	0.96 (3.56)	1.55 (1.71)	0.95 (1.88)	0.40 (1.69)	0.88 (3.09)	0.38 (2.23)	0.56 (2.18)	1.03 (2.48)	0.82 (2.06)	0.53 (3.06)
Ln PO	-2.62 (-6.7)	-2.61 (-3.5)	-2.60 (-1.1)	0.67 (0.76)	6.52 (1.31)	-1.57 (-1.2)	2.41 (4.9)	-0.12 (-0.18)	-6.86 (-1.1)	0.16 (0.11)	0.35 (2.10)
DW	3.04	2.51	1.81	1.29	2.44	3.27	2.94	2.06	2.98	2.01	
R <sup>2</sup> -adj	0.81	0.73	0.70	0.61	0.48	0.98	0.99	0.76	0.94	0.97	0.56
Lagr. Mult.											21.5 pv: 0.004
Haus- man											7.77 pv: 0.1
Moran's I		0,242	St. Dev.: 1.8021		p-value = 0.035 < 0.05			Dependencia Espacial Global pequeña			
LMerr		1.4855			p-value = 0.223 > 0.05			No Dependencia especial en el error			
RLMerr		2.7872			p-value = 0.095 > 0.05			No Dependencia robusta en el error			
LMlag		1.2872			p-value = 0.256 > 0.05			No Dependencia especial en la endógena			
RLMlag		2.5890			p-value = 0.107 > 0.05			Dependencia No robusta en la endógena			
XIII	XIV	XV	XVI	XVII	XVIII	XIX	XX	XXI	XXII	XXIII	XXIV
Met.	MCO	MCO	AR1	MCO	AR1	MCO	MCO	AR1	AR1	MCO	Panel Between
<b>Ln Em</b>	<b>(Emisiones)</b>										
Const	-15.4 (-5.3)	-14.4 (-1.4)	-5.60 (-1.9)	-3.08 (-0.54)	1.73 (0.47)	-10.1 (-7.1)	-5.50 (-3.4)	-13.7 (-14.06)	-11.3 (-6.8)	-6.10 (-7.7)	-6.62 (-5.8)
Ln e [γ]	1.73 (8.04)	1.81 (2.03)	0.77 (2.67)	0.85 (1.93)	0.36 (1.51)	1.70 (10.2)	0.91 (2.64)	1.59 (8.23)	1.20 (23.0)	0.82 (5.52)	1.03 (6.40)
Ln TPO	0.14 (1.14)	-0.21 (-0.5)	0.36 (1.23)	-0.31 (-0.24)	0.09 (0.77)	-0.49 (-1.4)	0.11 (0.13)	0.08 (0.35)	0.31 (1.67)	0.36 (1.06)	0.71 (0.47)
DW	3.16	1.21	1.51	2.34	2.35	3.01	1.46	2.38	1.76	2.78	
R <sup>2</sup> -adj	0.94	0.67	0.65	0.66	0.50	0.99	0.98	0.97	0.99	0.99	0.90
Moran's I		-0.028	St. Dev.: 0.3421		p-value = 0.366 > 0.05			No Dependencia Espacial Global			
LMerr		0.0204			p-value = 0.885 > 0.05			No Dependencia especial en el error			
RLMerr		0.6939			p-value = 0.404 > 0.05			No Dependencia robusta en el error			
LMlag		0.3988			p-value = 0.527 > 0.05			No Dependencia especial en la endógena			
RLMlag		1.0722			p-value = 0.301 > 0.05			No Dependencia robusta en la endógena			

Fuente: Elaboración propia. Nota: t-ratios entre paréntesis.

Los resultados de la Tabla 3 muestran una ligera dependencia espacial en el consumo de energía y ninguna dependencia espacial en las emisiones. Para verificar si la posible dependencia espacial se debe a la dependencia en las variables endógenas (*lag dependence*) o en las perturbaciones (*error dependence*), se han utilizado otros tests basados en los multiplicadores de Lagrange aplicados a los residuos de una regresión MCO: Los tests LM(err) y

RLM(erro) robusto de Burrige (1980), los cuales miden si existe dependencia espacial del error, así como también los tests LM(lag) y RLM(lag) robusto de Anselin (1998), que miden la dependencia espacial de las variables endógenas. Ninguna de estas cuatro últimas pruebas muestra evidencia de dependencia espacial ni en el consumo de energía ni en las emisiones, posiblemente debido a la dispersión de los países seleccionados. En la Tabla 3 figuran los resultados de las estimaciones de la relación (30) -regresiones I a XII- y de la relación (31) -regresiones XIII a XIV- para la mitad de los países de la muestra, más la regresión global sobre los 20 países con datos de panel (modelos XII y XIV). De estas regresiones extraemos los coeficientes de  $\log_e y$  y de  $\log_e e$ , respectivamente coeficientes  $\lambda$  y  $\gamma$  de las ecuaciones (30) y (31). Según las estimaciones, estos coeficientes resultan ser significativos al 99 % en general, excepto en las regresiones IV, V, VI y XVII donde la significación de los estimadores es algo menor. Las regresiones para los países se han realizado por el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), corrigiendo en lo posible la autocorrelación en base a asumir que los residuos siguen un proceso autorregresivo de primer orden (AR1), aunque en algunas de las estimaciones todavía persiste autocorrelación temporal de los residuos. Todas las regresiones tienen coeficiente de determinación R<sup>2</sup>-ajustado elevado o aceptable. En la Tabla 3 no se recogen las regresiones para toda la muestra de países, sólo para diez de ellos, pero el resto de los coeficientes  $\lambda$  y  $\gamma$  que no figuran en la Tabla 3 están recogidos más adelante en las columnas IV y V de la Tabla 5. La regresión XII de la Tabla 3 muestra la estimación por panel para los 20 países de la muestra durante el período 1995-2015 en cuanto a la relación en logaritmos entre el consumo de energía y la producción real (ecuación 30), siendo la mejor

estimación por panel la de efectos aleatorios (*Random Effects*), ya que el valor-p (*p-value*) del test del multiplicador de Lagrange (Breuch y Pagan, 1980) es menor que 0.05, lo que hace rechazar la estimación por MCO-planos (*OLSQ-plains*), mientras que el p-valor del test de Hausman (1978) es mayor que 0.05, lo que rechaza la estimación por efectos fijos (*Fixed Effects*). En cuanto a la estimación por panel de la relación en logaritmos entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía (ecuación 31), los resultados indican que la regresión más apropiada para datos de panel es en este caso la estimación entre grupos (*Between Groups*), recogida en la regresión XIV. Para verificar si las series implicadas en las regresiones de la Tabla 3 no tienen raíces unitarias, es decir, si son estacionarias, se ha utilizado el test de Harris y Tzavalis (1999) para datos de panel. Los resultados de esta prueba indican que todas las series implicadas son estacionarias, como puede verse en la Tabla 4, en la que los parámetros Rho de las variables retardadas son todos inferiores a la unidad. Dado que todas las series resultan ser estacionarias, interesa saber si existen relaciones de causalidad entre las variables explicativas y explicadas de las dos regresiones de la Tabla 3. Para ello, se ha utilizado el test de causalidad de Granger (1969), cuyos resultados se muestran en la Tabla 4.

**Table 4. Estacionariedad y causalidad Granger entre variables**

Estacionari Obs.: 100	Harris & Tzavalis	Panel	Endog	Explic	Retras. Explic	Panel	R <sup>2</sup> -adj.	Granger Causalidad	
$Y_t = \rho Y_{t-1} + \varepsilon_t$	<i>Rho</i>					<i>RE</i>	<b>0.5474</b>		
$\rho \text{Ln } e(-1)$	$0.66 < 1$	<i>RE</i>	Ln e	LnPO	LnPO	<i>RE</i>	0.5503	PO → e	
$\rho \text{Ln } Em(-1)$	$0.85 < 1$	<i>FE</i>		Ln y	Ln y	<i>RE</i>	0.5495	y → e	
$\rho \text{Ln } TPO(1)$	$0.50 < 1$	<i>FE</i>	Ln Em	Ln e		<i>FE</i>	<b>0.8105</b>		
$\rho \text{Ln } PO(1)$	$0.87 < 1$	<i>FE</i>			Ln e	Ln e	<i>FE</i>	0.8106	e → Em
$\rho \text{Ln } y(1)$	$0.74 < 1$	<i>RE</i>			LnTPO	LnTPO	<i>FE</i>	0.8132	TPO → Em

Fuente: Elaboración propia. Nota: FE (Efectos Fijos); RE (Efectos Aleatorios).

De la Tabla 4 se desprende que existe causalidad de Granger entre la renta real (y) y la población (PO), sobre el consumo de energía (e); y también existe

causalidad de Granger entre la variable TPO (temperatura multiplicada por la población) y el consumo de energía (e) sobre el volumen de emisiones (Em), ya que las respectivas regresiones con variables explicativas retardadas implican una mayor predicción de las respectivas variables explicadas.

La interpretación económica de los estimadores  $\lambda$  es relevante, ya que, a partir

de la ecuación (30):  $\lambda = \frac{\partial \log_e e}{\partial \log_e y} = \frac{\Delta e}{\Delta y} \cdot \frac{y}{e}$ , es decir, son elasticidades energía-

renta, a partir de las que podemos conocer lo que varía el consumo de energía cuando varía la producción del país:

$$\frac{\Delta e}{\Delta y} = \lambda \cdot \frac{e}{y} \quad (32)$$

El término (e/y) recibe el nombre de intensidad energética y es un indicador de la eficiencia energética de cada país.

**Tabla 5. Emisiones de CO<sub>2</sub>, Intensidades Energéticas y energías fósiles (2015)**

Emisiones (Mt de CO <sub>2</sub> ) por cada ktoe consumido (2015)		Intensidad Energética: Tn de CO <sub>2</sub> por cada 10000 US\$ producidos (2015)		Consumo de energía fósil (% del total)
I	II	III	IV	V
Nigeria	655	Nigeria	0.82	18.91
Islandia	718	Irlanda	1.24	89.95
Brasil	1988	Francia	1.39	63.33
Francia	2266	Islandia	1.46	14.60
Indonesia	2734	Brasil	1.52	57.48
Portugal	2889	Reino Unido	1.57	86.34
Iran	3061	España	1.67	77.45
España	3099	Portugal	1.69	73.85
Reino Unido	3119	Indonesia	1.74	66.15
Rusia	3210	Alemania	2.09	81.60
Estados Unidos	3263	Marruecos	2.18	87.75
Alemania	3315	México	2.19	90.17
Irlanda	3332	Japón	2.44	92.24
Marruecos	3644	India	2.75	68.51
India	3668	Estados Unidos	2.95	86.70
Arabia Saudí	3688	Arabia Saudí	3.41	99.99
México	3689	Iran	4.31	98.94
Japón	3878	Rusia	4.65	90.97
China	4650	China	5.00	87.50
Sudáfrica	5835	Sudáfrica	6.14	85.60

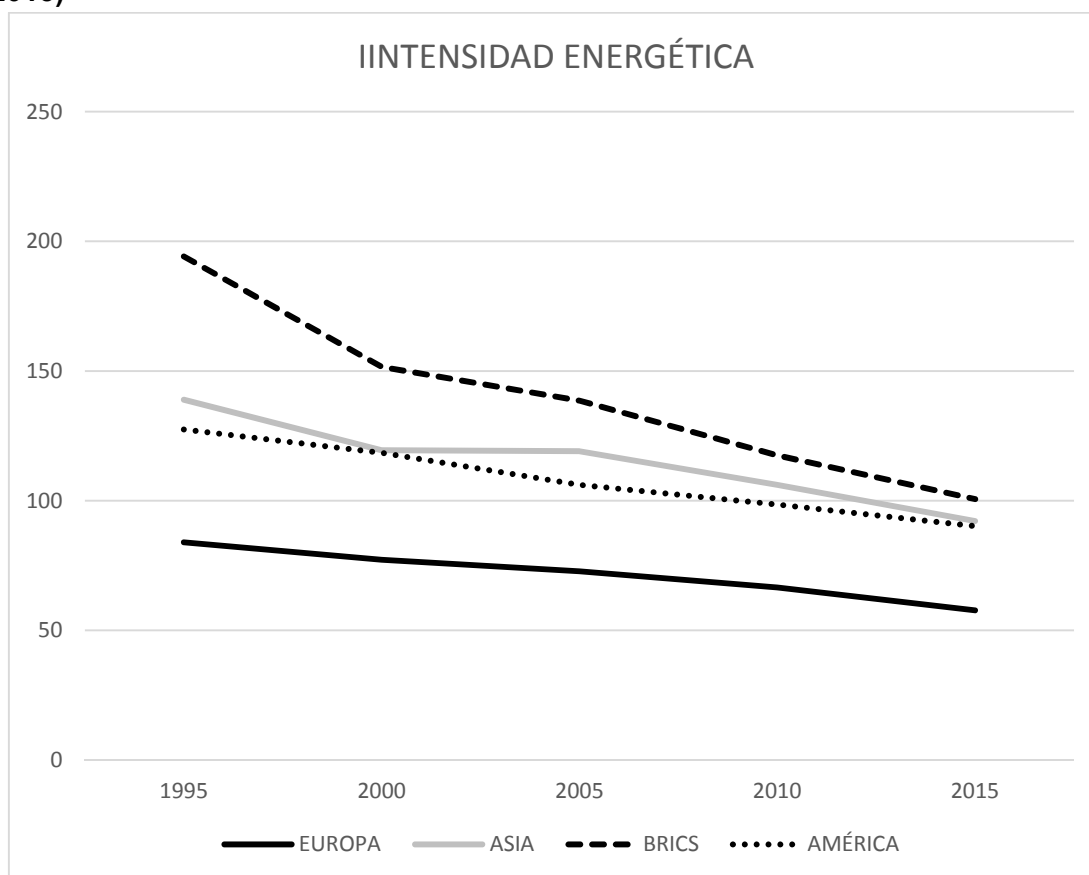
Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de la International Energy Agency 2019



En las columnas III y IV de la Tabla 5 se muestran ordenados los países de la muestra de menor a mayor intensidad energética para datos de 2015.

Una menor intensidad energética se suele corresponder en general con una mayor eficiencia energética. Las columnas I y II de la misma tabla muestran los países ordenados por cantidades emitidas de CO<sub>2</sub> por cada *ktoe* de energía consumida, de menor a mayor emisión. Parece haber cierta correlación entre las dos partes de la tabla y también entre la utilización masiva de energías fósiles (columna V) en los últimos países de la columna III y la mayor proporción del uso de renovables en los primeros países de esta columna. La evolución de la intensidad energética por bloques de países de la muestra desde 1995 hasta 2015 se puede observar en la Figura 3.

**Figura 39: Evolución de la intensidad energética por bloques de países (1995-2015)**



Fuente: Elaboración propia basada en datos de la International Energy Agency 2019

En esta figura se puede observar que la menor intensidad energética se da en los países europeos y la mayor en los países BRICS. También se puede observar cómo va disminuyendo la intensidad energética a través del tiempo en los cuatro bloques de países probablemente debido al aumento de la eficiencia en el consumo de energía, debido a la progresiva sustitución de energía fósil por renovable. A partir de la ecuación (31) se puede deducir que

$$\gamma = \frac{\partial \log_e (Em)}{\partial \log_e e} = \frac{\Delta(Em)}{\Delta e} \cdot \frac{e}{Em}, \text{ de donde podemos inferir lo que aumentan las}$$

emisiones cuando aumenta el consumo de energía:

$$\frac{\Delta Em}{\Delta e} = \gamma \cdot \frac{Em}{e} \quad (33)$$

Se desea conocer en qué medida el aumento que sufren las emisiones de CO<sub>2</sub>, cuando aumenta el consumo de energía, es mayor o menor que el aumento que sufren las emisiones de CO<sub>2</sub>, cuando aumenta el PIB. El producto

$$\lambda \cdot \gamma = \left( \frac{\partial \log_e e}{\partial \log_e y} \right) \left( \frac{\partial \log_e Em}{\partial \log_e e} \right) = \frac{\Delta Em}{\Delta y} \cdot \frac{y}{Em}, \text{ por lo que, lo que aumentan las}$$

emisiones cuando aumenta la renta real (PIB real) es:

$$\frac{\Delta Em}{\Delta y} = \lambda \cdot \gamma \cdot \frac{Em}{y} \quad (34)$$

A partir de (33) y (34) podemos ver qué emite más, si el proceso productivo de  $y$  o el proceso de consumo de energía ( $e$ ), es decir, cuánto vale la diferencia

$\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e}$ . Los resultados, con datos de 2015 se muestran en la columna VII

de la Tabla 6.

**Tabla 6. Productividad de la energía y contribución a las emisiones de CO<sub>2</sub> (2015)**

I	II	III	IV	V	VI	VII
Irlanda	0.026	0.096	0.26	0.96	7.29	0.028
Reino Unido	0.019	0.045	0.74	1.73	5.93	0.110
España	0.018	0.012	1.19	0.77	5.28	0.195
Portugal	0.017	0.017	0.80	0.85	4.53	0.132
México	0.0168	121.6	0.00017	1.27	3.54	-0.004
Marruecos	0.0167	0.020	0.67	0.82	1.54	0.142
Francia	0.0163	0.016	1.73	1.81	4.34	0.200
Japón	0.01586	-0.015	-0.47	0.47	9.10	-0.115
Alemania	0.01583	-0.076	-0.57	2.78	8.72	-0.128
Indonesia	0.0157	0.028	0.87	1.59	1.72	0.145
India	0.014	0.014	1.49	1.70	1.48	0.401
Brasil	0.012	5.0	0.0028	1.14	2.15	-0.001
Estados Unidos	0.011	0.011	1.02	1.02	15.04	0.297
Arabia Saudí	0.010	0.009	1.20	1.03	16.36	0.402
Sudáfrica	0.0095	-0.00008	2.21	-0.02	7.25	1.35
China	0.0093	0.009	1.23	1.20	6.54	0.607
Nigeria	0.0079	0.074	0.28	2.83	0.40	0.021
Iran	0.0071	0.018	0.34	0.91	6.79	0.143
Rusia	0.0070	0.016	0.15	0.36	9.97	0.067
Islandia	0.005	0.005	0.026	0.027	5.85	0.003
	Eficiencia de e: $(y/e) \geq (\Delta y/\Delta e) > 0$		Promedios:		6.19	0.165 (panel)

Las cifras sombreadas sobrepasan los criterios establecidos. Fuente: elaboración propia.

Cuando esta diferencia es positiva, el aumento de la producción emite más CO<sub>2</sub> que el aumento del consumo de energía, lo que indicaría la necesidad de reducir las emisiones causadas por el proceso productivo al margen del consumo de energía.

A partir de las estimaciones para los 20 países de la muestra, de las cuales para 10 de ellos se muestran en la Tabla 3, se obtienen los correspondientes estimadores de  $\lambda$  y  $\gamma$  para cada país, que se encuentran recogidos en las columnas IV y V de la Tabla 6. Utilizando las expresiones (33) y (34) con datos de 2015 obtenemos los resultados de la columna VII. Considerando los

coeficientes  $\lambda$  y  $\gamma$  obtenidos en las estimaciones XII y XIV con datos de panel de la Tabla 3 obtenemos que el promedio de la diferencia  $\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e}$  es 0,165 lo

que demuestra que en general  $\frac{\Delta Em}{\Delta y} > \frac{\Delta Em}{\Delta e}$ . Es decir, como se ve en la columna

VII, lo que aumentan las emisiones cuando aumenta el PIB real en general es más que lo que aumentan las emisiones cuando aumenta el consumo energético. Esto implica que en las economías donde esto sucede hay procesos productivos emisores, al margen del consumo de energía, lo que sugiere que una mejora en estos procesos productivos podría causar un descenso de las emisiones hasta el nivel que tienen las emisiones asociadas al consumo energético. Sólo hay cuatro países de la muestra, México, Brasil, Japón y Alemania, en los que el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con el consumo de energía son mayores que las asociadas a la actividad económica, lo que implica que la productividad marginal de la energía es mayor que uno<sup>152</sup> (Brasil y México) o bien que las emisiones disminuyen cuando aumenta la producción debido al efecto Kuznets<sup>153</sup> (Alemania y Japón). Los países cuya diferencia es superior al promedio suministrado por la estimación de datos de panel (0.165) deberían mejorar sus procesos productivos. Estos países aparecen sombreados en la columna VII de la Tabla 6. En la columna VI aparecen sombreados los países cuyas emisiones de CO<sub>2</sub> per capita son superiores al promedio de la muestra (6,19 Tn. de CO<sub>2</sub> per capita), a partir de lo cual, Irlanda, Japón, Alemania, Irán y Rusia deberían reducir el consumo de energía mientras que Estados Unidos, Arabia Saudí, Sudáfrica y China deberían

<sup>152</sup> Si  $(\Delta Em/\Delta e) > (\Delta Em/\Delta y)$  entonces  $(1/\Delta e) > (1/\Delta y)$ , luego:  $(\Delta y/\Delta e) > 1$ . Ver Tabla 4, columna III.

<sup>153</sup> A partir de un nivel elevado de renta per cápita, las emisiones disminuyen cuando aumenta la producción.

incorporar procesos productivos menos contaminantes, comparando los resultados de las columnas VI y VII. Las columnas II y III de la Tabla 6 están relacionadas con la eficiencia en el uso de los factores de producción, incluida la energía, en relación al año 2015. Suponiendo que las funciones de producción de las empresas de la economía son homogéneas de grado uno, como corresponde a la función de producción (5), cuyos argumentos son la energía como factor de producción ( $e_N$ ) más una serie de factores de producción ( $R$ ), alguno de los cuales suponemos fijo durante 2015, entonces si consideramos la energía como factor variable todos los factores de producción son utilizados eficientemente por la empresa cuando la producción se encuentra entre el óptimo técnico<sup>154</sup> y el máximo técnico de una función de productividad donde la energía actúa como factor variable. En ese tramo la función de productividad media de la energía se sitúa por encima de la función de productividad marginal de la energía como factor de producción. Agregando las funciones de productividad de las empresas de la economía se puede deducir que la utilización eficiente de todos los factores de producción, incluida la energía, se obtiene cuando sobre la función de productividad agregada, la productividad media de la energía (Tabla 6, columna II) es igual o mayor que la productividad marginal de la energía (Tabla 6, columna III) siendo ésta no negativa:  $(y/e) \geq (\Delta y/\Delta e) \geq 0$ . Por tanto, los resultados sombreados de las columnas II y III pertenecen a países que probablemente no usaron eficientemente la energía como factor de producción en 2015. Según los resultados de la Tabla 6, se puede asegurar bajo el supuesto de funciones agregadas de producción con rendimientos constantes a escala pero decrecientes en el factor capital que, de los 20 países analizados sólo

---

<sup>154</sup> Máximo de la función de productividad media. Máximo técnico es el máximo de la función de productividad.

España, Portugal, Francia, India, Estados Unidos, Arabia Saudí, China e Islandia utilizaron los factores de producción, incluida la energía, en forma eficiente en 2015 puesto que, en relación a la energía, sus productividades medias son superiores a las marginales.

#### 4. CONSECUENCIAS DEL ANÁLISIS

A partir de los resultados obtenidos en el epígrafe anterior se pueden establecer las siguientes consideraciones correspondientes a la situación que en el año 2015 alcanzan los veinte países analizados: 1) En general los aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios son mayores que las asociadas al consumo de energía:  $\Delta Em/\Delta y > \Delta Em/\Delta e$ . 2) Sólo el aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía son mayores que las relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios ( $\Delta Em/\Delta e > \Delta Em/\Delta y$ ) en Alemania, Japón, Brasil y México. 3) Los países donde la diferencia entre los aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con los procesos productivos de bienes y servicios son mayores que los aumentos de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo de energía, además de ser mayores que la media ( $\Delta Em/\Delta y - \Delta Em/\Delta e > 0,165$ ), son: España, Francia, India, Estados Unidos, Arabia Saudí, África del Sur, y China. 4) Los países de la muestra cuyas emisiones per cápita de CO<sub>2</sub> son superiores a la media de la muestra ( $Em/PO > 6,19 \text{ Tn de CO}_2 / PO$ ), son: Irlanda, Japón, Alemania, Estados Unidos, Arabia Saudí, China, Irán y Rusia. 5) Los bloques de países representados en la muestra que usan la energía más eficientemente, según el orden inverso de intensidad energética, son por orden de mayor eficiencia a menor: Europa, América, Asia y BRICS. Y 6) Los países que consiguen utilizar eficientemente la energía como factor de producción, junto con

otros factores, es decir países donde la productividad media de la energía es mayor que la productividad marginal de la energía [ $y/e \geq y'(e)$ ] son: Portugal, España, Francia, India, Estados Unidos, Arabia Saudí, China e Islandia.

De acuerdo con estas consideraciones establecidas para 2015, la situación de los veinte países de la muestra respecto a los incentivos que tienen o no para frenar las emisiones de CO<sub>2</sub> viene recogida en la Tabla 7.

**Tabla 7. Emisiones de CO<sub>2</sub> y eficiencia energética (2015)**

2015	Uso Eficiente energía [ $y/e \geq y'(e)$ ]		Uso Ineficiente energía [ $y/e < y'(e)$ ]		Políticas
	Em < 6.19	Em > 6.19	Em < 6.19	Em > 6.19	
$\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e} > 0.165$	Francia España India	Estados Unidos Arabia Saudí China		África del Sur	$\downarrow \frac{\Delta Em}{\Delta y}$
$\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e} < 0.165$	Portugal Islandia		Reino Unido México Marruecos Indonesia Brasil Nigeria	Irlanda Japon Alemania Iran Rusia	$\downarrow \frac{\Delta Em}{\Delta e}$

Fuente: Elaboración propia.

De los resultados de la Tabla 7 y de los epígrafes anteriores se puede desprender que en el año 2015: 1) Estados Unidos, Arabia Saudí, China, Portugal, Islandia, España, Francia e India no tienen suficientes incentivos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> porque en esos países el uso de la energía ya es eficiente. 2) Aun así, Estados Unidos, Arabia Saudí, China, España, Francia e India deben disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción, aunque el uso de la energía ya sea eficiente, ya que la diferencia  $\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e}$  es mayor que la media (0,165). 3) Pero según los resultados, África del Sur debe reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de sus procesos productivos, porque el uso

actual que hace de la energía no es eficiente y podría mejorar la eficiencia implementando mejoras en los procesos de producción de bienes y servicios. 4) Irlanda, Rusia, Japón, Alemania, Irán, Reino Unido, Brasil, Marruecos, Indonesia, Nigeria y México deben reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de energía porque la diferencia  $\frac{\Delta Em}{\Delta y} - \frac{\Delta Em}{\Delta e}$  es menor que la media y dado que no deben disminuir la producción porque harían la diferencia todavía menor, deberían entonces disminuir el consumo energético para acercarse a la media, política que debieran llevar a cabo también Portugal e Islandia por la misma razón. Son en total 13 de los 20 países que tiene la muestra.

Para frenar las emisiones de CO<sub>2</sub> se deben mejorar los procesos productivos de bienes y servicios tratando de disminuir las emisiones que producen y por otra parte se deben reducir las emisiones procedentes del consumo energético, bien mejorando los procesos de consumo de energía o bien disminuyendo este consumo.

## **5. REFLEXIONES FINALES**

De los epígrafes anteriores se desprende que en general la mayor parte de las emisiones provienen de la actividad económica originada por los procesos productivos y en menor grado por el consumo energético. Pero una parte muy relevante del consumo de energía de un país es la que se dedica al consumo doméstico. Mientras que habitualmente los consumidores no pueden modificar directamente las emisiones originadas en los procesos productivos de bienes, sí pueden directamente actuar sobre las emisiones causadas por su consumo doméstico de energía, ya sea reduciendo el consumo o utilizando tecnologías capaces de reducir las emisiones. La mayor parte del consumo de energía



*Capítulo 4. La Contribución de la Actividad Económica y del Consumo Energético a las Emisiones de CO<sub>2</sub>*

doméstico se debe al consumo de calefacción y agua caliente sanitaria (ACS).

Su análisis es materia de los siguientes capítulos.

*Capítulo 4. La Contribución de la Actividad Económica y del Consumo Energético a las Emisiones de CO<sub>2</sub>*

## **CAPÍTULO 5**

### **SISTEMAS DE CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y ACS**

#### **Resumen**

Los resultados del capítulo anterior sugieren la necesidad de que las administraciones implementen normativas dirigidas a procurar procesos productivos menos emisores y un consumo de energía doméstico más eficiente y menos contaminante. Tres cuartas partes del consumo doméstico de energía se utilizan en calefacción, refrigeración (climatización) y obtención de agua caliente para viviendas. En este capítulo se revisan cuatro posibles sistemas energéticos para consumo doméstico, susceptibles de ser empleados en calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Entre estos sistemas, en este capítulo se proponen tres sistemas basados en la utilización de energía geotérmica, de los cuales dos se aprovisionan de aguas termales. Estos sistemas podrían ser utilizados en zonas y municipios próximos a la localización de manantiales de agua con suficiente temperatura y caudal.

## 1. INTRODUCCIÓN

El consumo doméstico de energía en general se lleva a cabo mediante el uso de electricidad. La energía térmica de uso doméstico se obtiene, además de desde la electricidad, también mediante gas natural o combustibles fósiles. Un gran porcentaje del consumo doméstico de energía se utiliza en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria que, en la Unión Europea es en promedio un 78,9 % del total consumo doméstico de energía. El presente capítulo se dedica al análisis del consumo doméstico de energía y más en concreto, al consumo de energía para calefacción y agua caliente sanitaria. El presente capítulo propone como fuente de energía a tener en consideración, allá donde se pueda instalar, la energía geotérmica procedente de fuentes termales o balnearios en los que las temperaturas de surgencia del agua procedente del subsuelo sean lo suficientemente elevadas para aplicarlo al consumo de calefacción y ACS; en general, a partir de 55 °C. Las razones por las cuáles se decide proponer este tipo de energía renovable son: i) Aprovechamiento de recursos energéticos que están disponibles y que no se utilizan o se utilizan poco, bien por desconocimiento, o por inercia en el uso de otras fuentes de energía; ii) aprovechamiento de instalaciones ya existentes y que pueden ser de utilidad para la generación de energía térmica; iii) los dos apartados anteriores se traducen en un abaratamiento de costes, sobre todo en lo referente a las prospecciones, inherentes a la extracción del calor de la Tierra; iv) el uso de calefacción urbana, centralizada, también abarata costes, de manera que desde esa centralización de la energía térmica se puede dirigir a las viviendas de un mismo núcleo urbano; v) paliar en la medida de lo posible el gasto procedente del consumo en calefacción y ACS de consumidores sin medios para ello, y

aumentar su calidad de vida; vi) disminuir el consumo de energía; y vii) reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, contribuyendo a ralentizar el calentamiento climático y por tanto a la mejora del medioambiente.

Se han seleccionado 4 sistemas de suministro de energía, tres de ellos basados en la energía geotérmica y una basada en energía solar más gas natural, por ser estos sistemas los más económicos del mercado. Se trata de hacer una comparativa de beneficios y costes entre estos sistemas para saber cuáles podrían ser más socialmente rentables. Los sistemas que se van a analizar son:

1) Energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, es decir, sin realizar prospecciones, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de Bomba de calor geotérmica para aumentar la temperatura del agua en caso necesario.

2) Energía geotérmica con prospección, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de bomba de calor geotérmica para aumentar la temperatura del agua en caso necesario.

3) Energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, es decir, sin realizar prospecciones, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de caldera de biomasa para aumentar la temperatura del agua en caso necesario. 4) Paneles solares térmicos más gas natural, que es el híbrido de energía renovable más gas natural más utilizada. Se podría haber utilizado la energía eólica, pero la energía solar térmica es la más económica hasta el momento, en líneas generales.

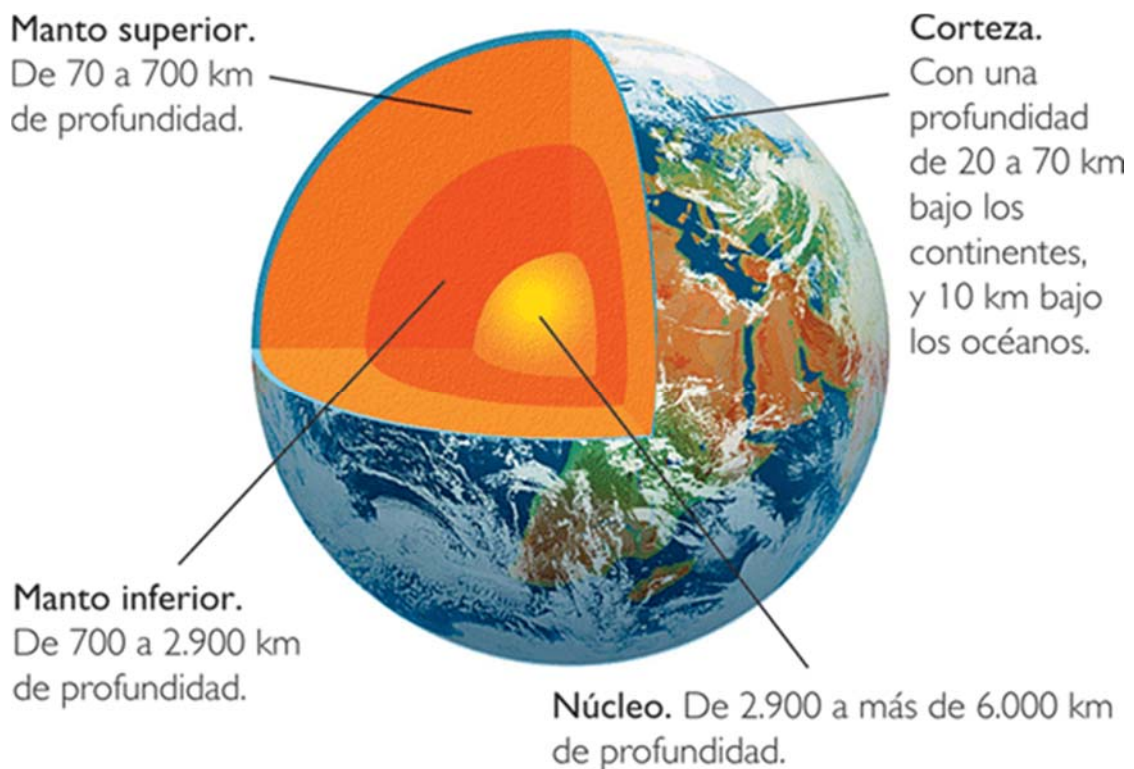
El resto de las energías fósiles no pueden utilizarse en esta comparativa debido a que no se contempla su uso en el marco legal energético.

## 2. LA ENERGÍA GEOTÉRMICA Y LA ESTRUCTURA DEL PLANETA

La energía geotérmica es la energía térmica generada y almacenada en el interior de la Tierra. Sin tener en cuenta la acción de la atmósfera que hace de pantalla-espejo, provocando el efecto invernadero, la Tierra es, además de Júpiter, Saturno y Neptuno, uno de los pocos planetas del sistema solar que irradia más energía de la que recibe. En su interior posee un núcleo fundamentalmente de hierro, que se encuentra a grandes temperaturas debido a las fuertes presiones existentes por la gravedad; lo que indica que, al aumentar la profundidad de la tierra, aumenta la temperatura de manera más que proporcional, es decir, la temperatura aumenta conforme a un gradiente geotérmico. Hasta finales del siglo XVII se concebía la Tierra como una masa fundida con una corteza sólida consecuencia de su enfriamiento. Una vez que el planeta como tal estuvo formado tuvo lugar el hundimiento de los elementos más pesados y el tránsito a la superficie de los más ligeros. Esta redistribución de los elementos ha venido causando aumentos de temperatura y la fusión de buena parte del material que formaba la Tierra. A partir de este proceso, la estructura de la Tierra sufrió una estratificación, formándose una serie de capas concéntricas (Figura 40), las cuales han sido detectadas mediante datos sísmológicos. Las principales capas que conforman la Tierra son tres: corteza, manto y núcleo, sus espesores son variables, pero en promedio tienen valores de 35, 2.900 y 3.452 km respectivamente. A su vez, el manto se subdivide en superior e inferior. El manto o capa intermedia está formado por silicatos de hierro y magnesio, con una temperatura que varía desde los 4.300 °C en su contacto con el núcleo hasta los 800 – 1.000 °C donde contacta con la corteza, que es la capa más superficial. La corteza tiene un espesor variable de 5 a 70

km y está formada por silicatos de aluminio y magnesio, variando su temperatura entre los 800-1.000 °C en la zona en contacto con el manto y los 15-20 °C promedio en la superficie. Las capas externas son más ricas en minerales compuestos por sílice y aluminio, pero a medida que aumenta la profundidad aumenta también el contenido en hierro, magnesio, níquel y otros elementos más pesados.

Inge Lehmann (1936) descubrió la existencia de un núcleo interno sólido y cristalizado, rodeado de otro núcleo externo líquido. El núcleo interno sólido tiene un tamaño similar a la Luna y el núcleo externo Tiene un radio mayor que el planeta Marte. El núcleo externo tiene una composición de hierro y níquel fundido a una temperatura superior de los 4.300 °C. En el núcleo interno, sólido, la temperatura llega a los 6.700 °C, similar a la de la superficie del Sol.



**Figura 40: Estructura interna del planeta.**  
Fuente: <https://misistemasolar.com/planeta-tierra>.

Las separaciones entre las diferentes capas de la Tierra reciben el nombre de discontinuidades. Las principales son: i) La discontinuidad de *Mohorovicic* (1909): se sitúa a una profundidad media de unos 35 km, pudiendo encontrarse a 70 km de profundidad bajo los continentes o a solo 10 km bajo los océanos. En esta zona, las ondas sísmicas aumentan súbitamente su velocidad. La discontinuidad separa la corteza, con materiales poco densos (silicatos de aluminio, calcio, sodio y potasio), del manto, con materiales más densos (silicatos de hierro y magnesio). ii) La discontinuidad de *Gutenberg* (1913), que separa el manto del núcleo externo líquido. Esta última zona se encuentra a unos 2.900 km de profundidad y las ondas sísmicas no la pueden atravesar, por lo que se deduce que el núcleo externo se encuentra en estado fluido. iii) La discontinuidad de *Lehmann* (1936), que está situada a 5.165 km de profundidad media, separa el núcleo externo (fluido) del núcleo interno (sólido) de la Tierra. La fuerza de la gravedad en la discontinuidad de *Lehmann* es tan sólo de 4,3 m/seg<sup>2</sup>. El centro de la Tierra se encuentra a 6.387 km de la superficie.

El núcleo interno de la Tierra (sólido) gira hacia el este y gira más rápido que el resto del planeta, lo que se llama superrotación, mientras que, según investigaciones llevadas a cabo en la Universidad de Leeds, parece que el núcleo externo (líquido) gira hacia el oeste a una velocidad menor que la del planeta. El hecho es que se estima que el núcleo interno gira un grado más que la rotación completa de la superficie, lo que provoca en el núcleo externo líquido un efecto dinamo que genera el campo magnético terrestre, el cual desvía los rayos y polvo cósmicos, además del viento solar, ayudando a retener la atmósfera. El campo magnético de la Tierra está generado por los movimientos convectivos del fluido del núcleo externo y la velocidad promedio de estos



movimientos es de un milímetro por segundo. Las diferentes zonas convectivas rotan en sentidos diferentes (horario y antihorario) produciendo campos magnéticos en direcciones opuestas de las cuales una de ellas es momentáneamente dominante.

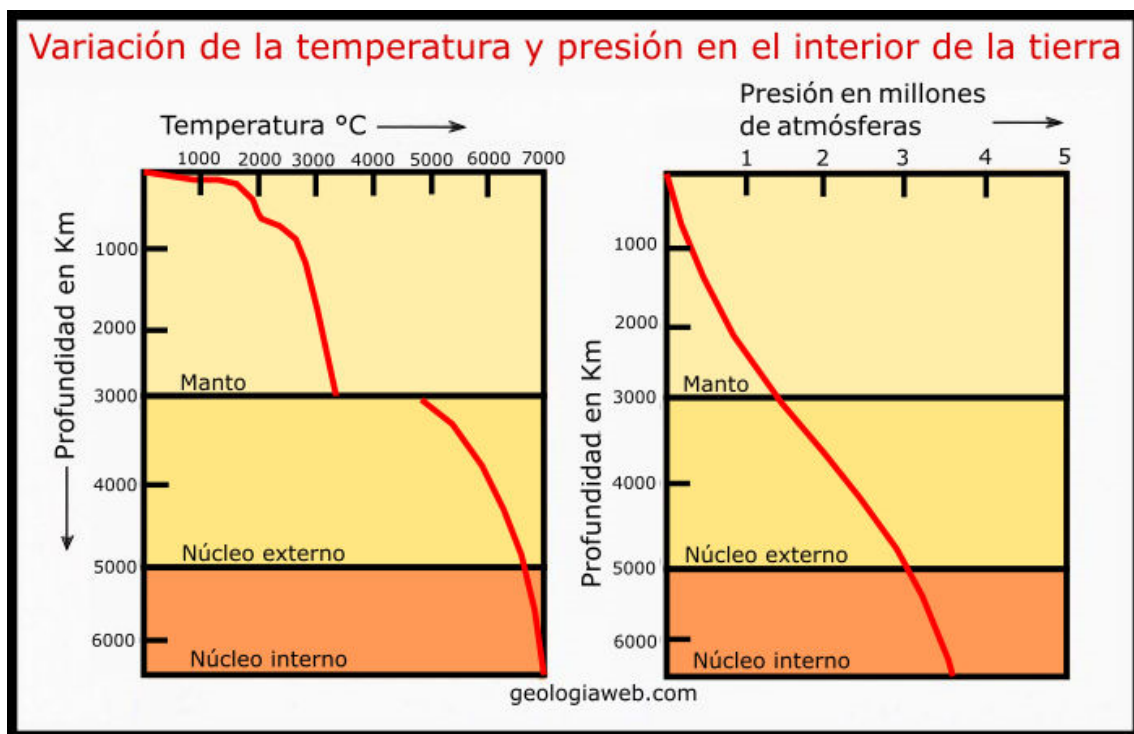
### **3. LA GENERACIÓN DEL CALOR TERRESTRE**

La temperatura del planeta aumenta con la profundidad hasta alcanzar los 6.700 °C en el centro del núcleo interno, siguiendo un determinado gradiente térmico. A una profundidad de 100 km el comportamiento del material todavía es similar al de un sólido. Esta capa es denominada litósfera y comprende la corteza y parte del manto superior. A partir de 100 km y hasta aproximadamente 300 km, una caída en las velocidades sísmicas indica la presencia de zonas en fusión parcial, lo cual requiere temperaturas entre 1.000 y 1.200 °C. De 400 a 700 km de profundidad se observan dos incrementos en las velocidades sísmicas, que corresponden a cambios de fase que tienen lugar a 1.500 y 1.900 °C respectivamente. A 2.935 km se ha observado que ya no se propagan las ondas sísmicas transversales, las cuales no se transmiten en líquidos, lo que indica fusión en el núcleo externo y la existencia a esta profundidad de temperaturas de más de 3.700 °C. La composición del núcleo líquido externo es también de hierro (85 %), Níquel (10 %) y azufre y su espesor es de 2.230 km.

La reaparición de las ondas sísmicas transversales a 5.165 km de la superficie indica que más allá de esa profundidad la temperatura vuelve a estar por debajo del punto de fusión del material (4.300 °C) debido a que a partir de ese punto la presión es tan alta que el material que forma el núcleo interno no funde, por lo que se cree que es sólido cristalizado. Se estima que este núcleo interno está constituido principalmente por hierro (96 %), Níquel (3 %) y elementos pesados

y su radio es de 1.222 km. El calor interno del planeta se genera principalmente en base a los siguientes procesos:

- 1) Presión: La gravedad ejerce una fuerza de compresión hacia el centro del planeta, y en el proceso de contracción de la masa terrestre se genera calentamiento por fricción, que origina la fusión de rocas y minerales cuanto más presión exista. Hay una correlación entre presión, profundidad y temperatura. Así mientras en la superficie la temperatura media oscila entre 15-20 °C y la presión es de 1 atm, en el centro de la Tierra la temperatura se estima en 6.700 °C y la presión en 3.600.000 atm. (Figura 41).



**Figura 41: Relación entre presión, temperatura y profundidad.**

Fuente: Geologiaweb.com.

- 2) Rozamiento entre el núcleo externo y el manto: El núcleo interno sólido gira a diferente velocidad que el resto del planeta, arrastrando en el giro al núcleo externo fluido, el cual termina friccionando con el manto en la discontinuidad

de *Gutemberg*, provocando calor. Así mismo, también se libera calor por el rozamiento causado por la distinta respuesta del núcleo externo y el manto a las mareas inducidas por la Luna, Júpiter y el Sol.

- 3) Descomposición de isótopos: Este hecho sucede en la corteza y en el manto. Las rocas que forman la litosfera (compuesta por la corteza y la parte superior del manto), son ricas en minerales que contienen elementos radioactivos: el Uranio 235 y 238; el Torio 232 y el Potasio 40. Las reacciones de descomposición de estos isótopos son exotérmicas. En el núcleo interno también hay elementos pesados radiactivos que también generan calor.
- 4) Otras reacciones exotérmicas: Suceden en el manto. Las elevadas presiones y la alta temperatura provocan que los minerales sean inestables y se produzcan continuamente cambios de fases, que a su vez generan energía en forma de calor. También se generan reacciones exotérmicas a partir del proceso de cristalización del núcleo interno.
- 5) Existencia de cierto calor remanente: Es el calor conservado en el interior desde el origen del planeta. Este calor tiende a desaparecer, pero muy lentamente.

#### **4. LA TRANSMISIÓN DEL CALOR A LA SUPERFICIE**

El transporte de calor desde el interior de la Tierra se lleva a cabo por medio de tres mecanismos: conducción, convección y radiación; sin embargo, los tres tienen diferente grado de importancia en las diferentes capas: en la corteza, el principal medio de transporte de calor es la conducción mientras que en el manto es la convección y la radiación. No obstante, esto no excluye que existan algunas áreas en las cuales el calor se transmita principalmente por convección

aprovechando zonas de debilidad en las rocas sólidas que forman la corteza, como fallas o fracturas. A través de esas zonas van a ascender los fluidos calientes que provienen de diferentes profundidades y que pueden tener características distintas: pueden ser rocas fundidas generadas en la base de la corteza y parte superior del manto, o bien puede ser agua originada en la superficie de la Tierra que haya descendido hasta profundidades donde se ha calentado por contacto con rocas a alta temperatura y vuelve a ascender a la superficie.

La corteza terrestre y una parte del manto superior componen una costra fría que se forma en la superficie cuando las corrientes de convección entran en contacto con la atmósfera, la cual se encuentra en promedio de  $0^{\circ} \pm 40^{\circ} \text{C}$ . La roca sólida puede alcanzar una profundidad de hasta 100 kilómetros. Esta capa con características correspondientes a un sólido se denomina litósfera. La extensión de la litósfera entre la parte en que se crea y la que se destruye se denomina placa. Hasta la fecha se ha determinado un conjunto de placas de diferentes tamaños que forman la superficie terrestre. Los desplazamientos de la corteza han sido observados en la superficie después de los seísmos que ocurren en las fronteras entre placas. Existen lugares donde las placas chocan, hundiéndose una de ellas en el manto donde se calienta y se funde. Esas zonas se caracterizan por tener alta sismicidad, situándose los focos de los seísmos alineados a lo largo de una línea que se corresponde con la placa fría que se hunde en el manto. El resultado de este proceso es una ascensión de un fluido geotérmico que puede generar actividad volcánica en la superficie. En general se puede definir a los volcanes como la salida a la superficie del fluido geotérmico, o sea de una mezcla de roca fundida, vapor de agua y gases a

temperaturas generalmente mayores de 600°C. Los volcanes en lugar de agua arrojan lava. Cuando la lava se encuentra aún en el interior de la Tierra se le llama magma. El magma se forma entre la corteza y el manto superior. Por lo tanto, el transporte de calor desde el interior a la superficie se efectúa a través de un fluido geotérmico, que puede ser magma, en el caso de sistemas volcánicos, o bien agua caliente con alta concentración de sales, vapor y gases. En su camino desde la fuente hacia la zona de descarga, el fluido geotérmico puede ser almacenado temporalmente en un yacimiento, que en el caso de un sistema volcánico se denomina cámara magmática. Estas descargas concentradas de calor no se encuentran distribuidas uniformemente en la superficie de la Tierra, sino que están preferentemente localizadas en las fronteras activas entre placas. Ya en la superficie de la Tierra, todo este calor interno se filtra a una tasa media de 58 kW / kilómetro al cuadrado.

## **5. RECURSOS GEOTÉRMICOS**

Ha sido sólo a principios del siglo XX cuando la explotación de los recursos geotérmicos se ha extendido y desarrollado, en especial, en regiones de actividad tectónica, donde la alta temperatura de los fluidos descargados permite su utilización en la producción de energía eléctrica, pero también para calefacción y algunos otros usos industriales. La energía geotérmica se desarrolló para su aprovechamiento como energía de forma pionera en 1904, en Toscana (Italia), donde aún continúa su producción. En 1913, en Lardarello (Italia), se construyó la primera central. En 1978 y a petición de Naciones Unidas en el marco de su Programa de Desarrollo, el Instituto Geotérmico de Nueva Zelanda, dependiente de la Universidad de Auckland, fue pionero en la

investigación geotérmica y en el desarrollo de tecnologías para el aprovechamiento de la energía geotérmica y para la formación de expertos de otros países en esta materia. Hasta hace muy poco, el uso de este tipo de energía se ha limitado a zonas especiales donde las condiciones geológicas eran muy favorables, pero actualmente con los avances en tecnología, equipos, instrumentación y las mejoras en prospección y perforación, se puede conseguir electricidad y calor a temperaturas inferiores. Cuando se transforma la energía geotérmica en eléctrica las pérdidas son de más de un 50 % en comparación con lo que se obtendría si se usara directamente la energía geotérmica para calefacción o agua caliente sanitaria.

**Tabla 8: Aplicaciones de la energía geotérmica.**

ENTALPÍA	TEMPERATURA (°C)	TECNOLOGÍA	APLICACIÓN
MUY BAJA	5-25	BOMBA DE CALOR	USOS DIRECTOS CLIMATIZACIÓN
BAJA	25-100	PUEDA UTILIZAR BOMBA DE CALOR	USOS DIRECTOS
MEDIA	100-150	CICLOS BINARIOS	ELECTRICIDAD PROCESOS
ALTA	>150		ELECTRICIDAD
EGS-HDR	>150	CICLOS BINARIOS	ELECTRICIDAD
SUPERCRÍTICOS	>300		ELECTRICIDAD HIDRÓGENO

Fuente: Elaboración propia.

Una utilización más eficiente de la energía geotérmica suele tener lugar cuando se hace en cadena: los fluidos que son desechados por una estación geotermo-eléctrica a una temperatura de más de 100 °C, pueden aún ser utilizados para el enlatado de comida, extracción de sales y posteriormente en calefacción, refrigeración o invernaderos, hasta que finalmente, ya a una temperatura menor de 30 °C, pueden ser utilizados para calentar agua de piscinas o piscifactorías. (Tabla 7).

## 6. USO DE AGUAS TERMALES EN CALEFACCIÓN Y ACS

Además de los volcanes, las manifestaciones hidrotermales superficiales son la prueba visual más difundida del calor encerrado en el interior de la Tierra. Se llaman fuentes termales a las aguas minerales o no minerales que provienen del subsuelo con más de 5 °C que la temperatura superficial. Estas aguas proceden de capas subterráneas de la Tierra que se encuentran a mayor temperatura, y es por ello por lo que es considerada como energía geotérmica, adicionalmente, las fuentes termales son ricas en su mayoría en diferentes componentes minerales, utilizándose, generalmente, en terapéutica en balnearios a modo de spa: baños, inhalaciones, irrigaciones, ingesta y calefacción para diferentes tratamientos del cuerpo humano. Las aguas presentan una gran variedad, tanto en composición química como en temperatura y de acuerdo con esta última característica clasifican como de alta o baja temperatura, según si ésta es mayor o menor de 50 °C. Cuando el agua tiene temperaturas elevadas a profundidad, algunas veces el agua alcanza el punto de ebullición antes de llegar a la superficie, siendo el agua que asciende solamente vapor muy rico en gases. Los manantiales termales que periódicamente se vuelven inestables hidrodinámica y termodinámica reciben el nombre de géiseres. Pero cuando la descarga de agua, vapor y gases es constante y no intermitente se denomina fumarola. Se llaman fuentes termales a las aguas minerales o no minerales que provienen del subsuelo con más de 5 °C que la temperatura superficial. Estas aguas proceden de capas subterráneas de la Tierra que se encuentran a mayor temperatura, y es por ello por lo que es considerada como energía geotérmica, adicionalmente, las fuentes termales son ricas en su mayoría en diferentes componentes minerales, utilizándose, generalmente, en terapéutica en

balnearios a modo de spa: baños, inhalaciones, irrigaciones, ingesta y calefacción para diferentes tratamientos del cuerpo humano.

La calefacción es uno de los usos que desde hace tiempo se le ha dado, en pequeña escala, a las aguas termales. El contenido energético de éstas puede ser extraído para elevar, o bien hacer descender, la temperatura de viviendas o cualquier tipo de edificios a un coste mucho menor del que se tendría si se utilizaran combustibles fósiles. Las aguas termales con temperaturas de hasta 50 °C se han intentado utilizar para calefacción, por lo que se ha establecido la posibilidad de usar, para este fin, acuíferos de relativamente baja temperatura. Las aguas de estos campos semitermales presentan en general la ventaja de tener una menor mineralización y poder corrosivo, facilitando así la utilización directa del contenido energético de las aguas. De esta forma, países a los que se les consideraba carentes de recursos geotérmicos, como Francia, Austria, Alemania, Reino Unido y otros, se encuentran actualmente en una etapa avanzada en la explotación de la energía de aguas termales de baja temperatura.

Sólo en pocos lugares el agua caliente que se extrae de los pozos es suficientemente pura para poderla utilizar directamente en radiadores para calefacción. En general, el agua que se obtiene de los pozos contiene compuestos con propiedades corrosivas, por lo que para ser utilizadas es necesario emplear intercambiadores de calor, por medio de los cuales el contenido calorífico de las aguas termales es transferido al agua pura, que es la que va a transportar la energía calorífica a las viviendas y edificios para su calefacción. La calefacción es especialmente importante en países con inviernos fríos, como ocurre en casi todos los países desarrollados. En particular en



Islandia, la calefacción es necesaria durante todo el año y no es sorprendente que éste haya sido el primer país que tuvo un sistema de calefacción geotérmica central para todo un distrito a principios del siglo XX. Actualmente más de dos tercios de la población total de Islandia posee calefacción basada en la energía geotérmica. Otros países que también usan aguas termales en sus sistemas de calefacción son: Estados Unidos, Japón, Nueva Zelanda, Hungría, China, Chequia, Austria, Rusia y Francia. Especialmente en Francia existen planes para extender servicios de calefacción geotérmica a varias partes del país, sobre todo a partir del éxito económico y técnico que se ha obtenido en lugares como Melun y Meaux. Adicionalmente, los fluidos geotérmicos también pueden ser empleados para enfriamiento y en sistemas de aire acondicionado, que pueden funcionar como refrigeradores en verano y como calefacción en invierno. Tales sistemas se encuentran ya en operación en Rotorua (Nueva Zelanda) y en Klamath Falls en Oregon, Estados Unidos.

La energía geotérmica es una energía renovable útil y necesaria para el cambio de energía fósil a energía limpia. Es importante tener en cuenta que la energía geotérmica no solo se obtiene de la introducción de agua fría a través de una tubería hasta una profundidad determinada y posterior extracción del agua ya calentada a una temperatura adecuada. Se pueden aprovechar también las fuentes termales y los balnearios cuyas aguas surgen a temperaturas que suelen ser mayores en muchos casos que la temperatura ambiente.

Existe un 30 % del total de agua dulce del planeta que se convierte en agua subterránea. Dentro de las aguas subterráneas se pueden clasificar según la temperatura de surgencia a la superficie. Se denominan fuentes termales o

fuentes hidrotermales, a grietas o fumarolas que aparece en la superficie de la Tierra por el que fluye agua geotermalmente caliente. Las fuentes termales se encuentran comúnmente en lugares que son volcánicamente activos donde el magma está relativamente cerca de la superficie del planeta, son abundantes en la Tierra porque es geológicamente activa y tiene grandes cantidades de agua en su superficie en forma de aguas termales, y a veces en forma de fumarolas o géiseres.

Las fuentes termales se clasifican según la temperatura del agua de surgencia<sup>155</sup> en:

- Aguas frías (< 20 °C): Aguas cuyas temperaturas de surgencia son menores de 20 grados Centígrados.
- Aguas hipotermas (entre 20 y 35 °C): Aguas cuyas temperaturas de surgencia están comprendidas entre 20 y 35 grados Centígrados.
- Aguas mesotermas (entre 35 y 45 °C): Aguas cuyas temperaturas de surgencia están comprendidas entre 35 y 40 grados Centígrados.
- Aguas hipertermas (entre 45 y 100 °C): Aguas cuyas temperaturas de surgencia están comprendidas entre 45 y 100 grados Centígrados.
- Aguas supertermas (entre 100 y 150 °C): Aguas cuyas temperaturas de surgencia son superiores a 100 grados Centígrados.

Para la realización de este trabajo de investigación se seleccionaron aquellas fuentes termales cuyas temperaturas fueran iguales o mayores de 45 °C, llamadas también fuentes hipertermas y supertermas.

---

<sup>155</sup> Agua de salida al exterior.

Los balnearios<sup>156</sup>, son fuentes termales cuyas aguas calientes se suelen aprovechar para tratamientos de la salud y pueden utilizarse, además, para otros fines.

Las altas temperaturas de las aguas de muchos de los balnearios y fuentes termales hay que enfriarlas debido a que el cuerpo humano no puede soportar temperaturas tan altas, ni tampoco se puede beber como agua mineromedicinal. Los balnearios para enfriar estas aguas utilizan intercambiadores de calor o enfriadores para que el agua descienda a una temperatura menor que permita el uso y disfrute de las personas, no aprovechándose ese calor perdido. Para conocer las zonas donde existen mayor probabilidad de encontrar aguas termales se han tenido en cuenta las zonas volcánicas, así como las zonas sísmicas de los países tratados en la presente Tesis. Se ha seleccionado una serie de países de la zona oeste de Europa, escogiendo cinco países pertenecientes a la Unión Europea, Alemania, España, Francia, Irlanda y Portugal; un país en fase de salir de la Unión Europea, Reino Unido; un país europeo no perteneciente a la UE, pero modelo en el uso y aprovechamiento de la energía geotérmica en todas sus acepciones como es Islandia; y por último, un país norteafricano con política de vecindad europea como es Marruecos, además de Estados Unidos como referente. Todos estos países pertenecen a la zona del Atlántico Norte.

En el presente capítulo, dado que una instalación geotérmica tiene altos costes de inversión inicial como consecuencia del estudio del terreno y las

---

<sup>156</sup> Un balneario es un lugar dedicado a la curación de afecciones, tanto cutáneas como a nivel interno, a través de la utilización de las aguas, sobre todo termales o minerales, utilizando un edificio para el hospedaje de clientes.

prospecciones necesarias para la instalación de las tuberías enterradas a determinada profundidad, se han considerado únicamente aquellas fuentes termales, cuya obra civil ya está realizada, es decir, tanto el estudio de terreno como las prospecciones y cuyas temperaturas de surgencia de las aguas termales son mayores de 55°C para su aprovechamiento directo en redes de calefacción urbana, como es el caso de calefacción mediante suelo, paredes o techos radiantes o bien aprovechamiento de las fuentes hipertermales con el uso de un sistema de apoyo auxiliar de origen renovable para alcanzar la temperatura necesaria del agua para su consumo.

## **7. TECTÓNICA Y AGUAS TERMALES**

Las fuentes termales están muy relacionadas con el fenómeno volcánico y los movimientos sísmicos. Las zonas volcánicas y sísmicas suelen coincidir con las zonas que bordean las placas tectónicas, las cuales se clasifican en principales y secundarias (ver figura 42).

Placas principales:

- Placa Sudamericana: Comprende América del Sur y una parte del sur del océano Atlántico.
- Placa Norteamericana: Comprende América del norte, Groenlandia, Bahamas, islas de Cuba, parte occidental del océano Atlántico, parte del océano Glacial Ártico y Siberia.
- Placa del Pacífico: Comprende gran parte del océano Pacífico.
- Placa Euroasiática: Comprende Eurasia excepto India, Arabia y una parte del norte del océano Atlántico.
- Placa Australiana: Comprende India y su frontera con China y Nepal, parte

del océano Índico, Melanesia, Nueva Zelanda y Australia.

- Placa Antártica: Comprende la Antártida.
- Placa Africana: Comprende África.

Placas secundarias:

- Placa de cocos: Oeste de América Central.
- Placa de Nazca: Chile, Perú, Ecuador y parte de Colombia.
- Placa Filipina: Este de las islas Filipinas.
- Placa Arábica: Península Arábiga.
- Placa Scotia: Entre el océano Atlántico Sur y el océano glacial Antártico.
- Placa de Juan de Fuca: Zona norte de la placa norteamericana.
- Placa del Caribe: Mar Caribe, Guatemala, Belice, Honduras, El Salvador, Costa Rica, Nicaragua y Panamá.

### Placas tectónicas



Fuente: USGS

BBC

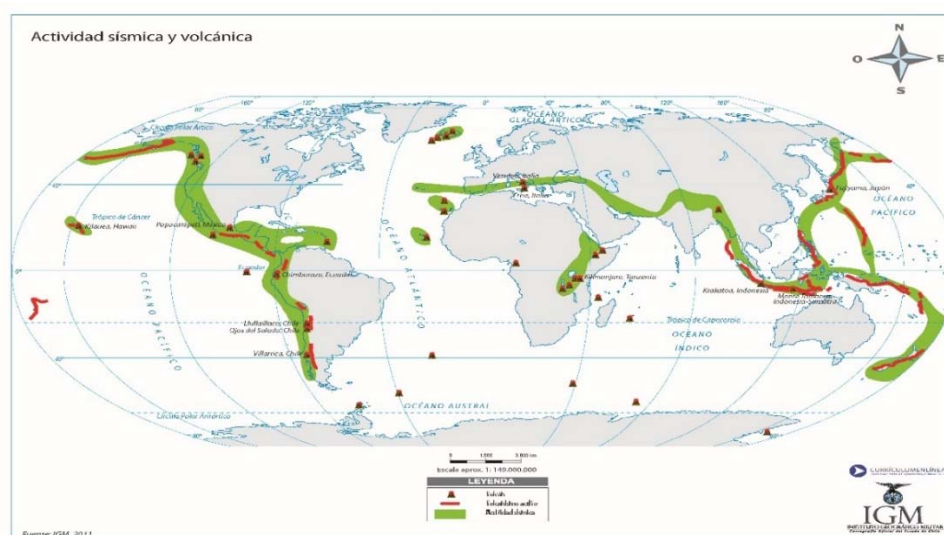
**Figura 42: Placas tectónicas principales y secundarias en el mundo.**

Fuente: USGS<sup>157</sup>.

<sup>157</sup> El Servicio Geológico de Estados Unidos o USGS por sus siglas en inglés (United States Geological Survey), es una agencia científica del gobierno federal de los Estados Unidos. Los científicos de la USGS

En cuanto a las zonas sísmicas (ver figura 43), son de destacar:

- El cinturón de Fuego del Pacífico: Chile, Ecuador, Perú, Colombia, Centroamérica, México, Bolivia, Argentina, Estados Unidos, Canadá, Rusia, Taiwán, Japón, Indonesia, Filipinas, Nueva Guinea y Nueva Zelanda.
- El cinturón Transasiático: Himalaya, Irán, Turquía, Mar Mediterráneo y Sur de España.
- El cinturón del centro del Océano Atlántico.



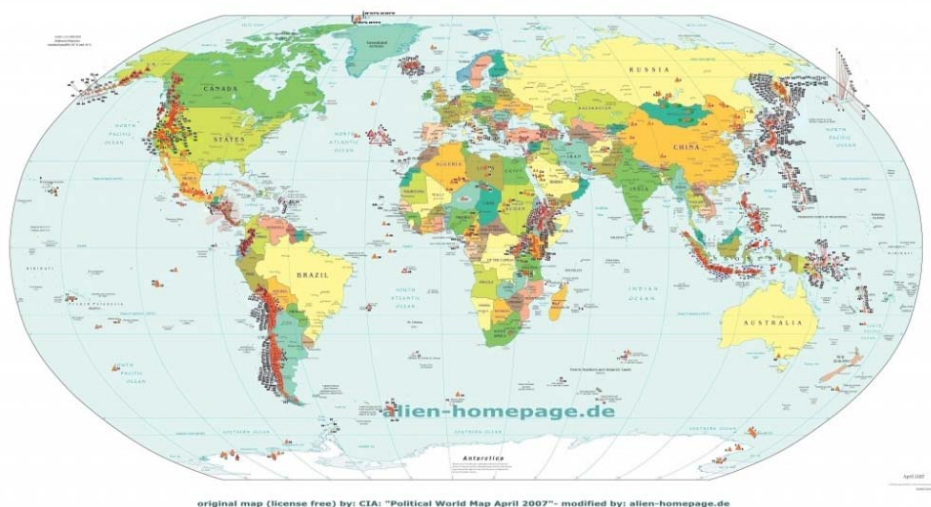
**Figura 43: Zonas sísmicas y volcánicas del mundo.**

Fuente: IGM<sup>158</sup> (Instituto Geográfico Militar).

estudian el terreno, los recursos naturales, y los peligros naturales que los amenazan. La USGS controla el Centro Nacional de Información Sísmica (National Earthquake Information Center) en Golden, (Colorado), que se encarga de detectar la localización y magnitud de terremotos en todo el mundo.

<sup>158</sup> El Instituto Geográfico Militar (IGM) chileno está dedicado a la obtención de cartografía actualizada en formato digital para: Ser empleada como base de aplicaciones de Sistemas de Información Geográfica (SIG) para usos civiles y militares, generar modelos digitales de terreno, obtener los documentos base para la impresión offset y disponer de un producto digital acorde con las nuevas tecnologías de tratamiento de información.

Las zonas volcánicas del mundo se representan en la figura 44.



**Figura 44: Mapa de los volcanes del mundo**

Fuente: CIA<sup>159</sup>

Las principales zonas volcánicas de la Tierra son:

- Zona volcánica Circumpacífica: Coincide con el Cinturón de Fuego del Pacífico, por lo que existe tanto una fuerte actividad sísmica como volcánica.
- Zona volcánica Mediterránea-asiática: Va desde el océano Atlántico hasta el Pacífico, volcanes conocidos como el Etna y el Estrómboli, en Italia, o en Almería y Olot, en España.
- Zona volcánica Indica: Comprende el océano Índico, uniéndose a la zona volcánica Circumpacífica.
- Zona volcánica africana: Va desde Mozambique hasta Turquía, como el Kilimanjaro.

---

<sup>159</sup> La Agencia Central de Inteligencia (CIA, *Central Intelligence Agency*; en inglés) es un servicio de inteligencia exterior de naturaleza civil del Gobierno federal de los Estados Unidos de América encargado de recopilar, procesar y analizar información de seguridad nacional de todo el mundo, principalmente mediante la utilización de inteligencia humana (HUMINT).

- Zona volcánica Atlántica: Va desde el centro del océano Atlántico, las Islas Madeira y Salvajes, los archipiélagos de Azores y Canarias y en algunas islas septentrionales como la isla de Jan Mayen.

Las zonas volcánicas, sísmicas y fuentes termales de los países estudiados se encuentran en el Apéndice A3.

## **8. SISTEMAS ENERGÉTICOS PARA CALEFACCIÓN Y ACS**

El consumo de energía en las viviendas se realiza fundamentalmente a través de la electricidad y de la energía térmica, la cual se obtiene generalmente mediante gas natural o combustibles fósiles, estos últimos en claro retroceso a causa de las políticas en favor del medioambiente. En la Unión Europea el porcentaje del uso en calefacción, refrigeración y agua caliente es en promedio del 78,9 % del consumo doméstico. Este capítulo está dedicado al consumo doméstico de energía, concretamente, el dedicado a calefacción y agua caliente sanitaria (ACS). Según la normativa del Código Técnico de la Edificación (CTE), el porcentaje de la demanda total de energía para calefacción y agua caliente sanitaria proveniente de la energía térmica de origen renovable debe estar comprendida entre el 30 y el 70 % en el caso general y entre el 50 y del 70 % cuando la fuente energética de apoyo sea mediante electricidad. En el presente apartado se propone como fuente de energía, en los lugares donde se den las condiciones adecuadas, de la energía geotérmica procedente de fuentes termales y balnearios cuyas temperaturas de surgencia del agua procedente del subsuelo sean lo suficientemente elevadas para aplicarlo al consumo de calefacción y ACS: en general, a partir de 55 °C. Las razones por las cuáles se



decide proponer este tipo de energía renovable son: i) Aprovechamiento de recursos energéticos que están disponibles y que no se utilizan o se utilizan poco, bien por desconocimiento o por inercia en el uso de otras fuentes de energía. ii) Aprovechamiento de instalaciones ya existentes y/o en desuso que podrían ser de utilidad para la generación de energía térmica. iii) Los dos apartados anteriores se traducen en un abaratamiento de costes, sobre todo en lo referente a las prospecciones, necesarias para la extracción del calor de la Tierra. iv) El uso de calefacción urbana, centralizada, también abarata costes, de manera que desde esa centralización de la energía térmica se puede dirigir a las viviendas de un mismo núcleo urbano. v) Paliar en la medida de lo posible el gasto procedente del consumo en calefacción y ACS de consumidores vulnerables, y así aumentar su calidad de vida. vi) Disminuir el consumo de energía, contribuyendo a una mayor sostenibilidad. vii) Reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> hacia la atmósfera, contribuyendo a ralentizar el calentamiento global y por tanto a la mejora del medioambiente.

Se han seleccionado 4 sistemas de suministro de energía, tres de ellos basados en la energía geotérmica y una basada en energía solar más gas natural, por ser estos sistemas los más económicos del mercado. Se trata de hacer una comparativa de beneficios y costes entre estos sistemas para saber cuáles podrían ser socialmente más rentables. Los sistemas que se van a analizar son: 1) Energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, es decir, sin realizar prospecciones, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de Bomba de calor geotérmica para aumentar la temperatura del agua en caso necesario. 2) Energía geotérmica con prospección, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de Bomba de calor geotérmica

para aumentar la temperatura del agua en caso necesario. 3) Energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, es decir, sin realizar prospecciones, utilizando calor centralizado o urbano (*District Heating*), con uso de Caldera de Biomasa para aumentar la temperatura del agua en caso necesario. Y 4) Paneles Solares Térmicos más Gas Natural, que es la energía renovable más gas natural más utilizada. Se podría haber utilizado la energía eólica u otras energías renovables alternativas, pero la energía solar térmica es la más económica hasta el momento, en líneas generales. El resto de las energías fósiles no pueden utilizarse en esta comparativa debido a que no se contempla su uso en el marco legal energético.

## 9. DISTRICT HEATING

Para unir las aguas calientes procedentes de las fuentes hipertermales a través de tuberías con las viviendas, es necesario un sistema de red de distribución centralizadas, denominado *District Heating* (DH). Una Red de *District Heating* o Red de Distribución de Calefacción Centralizada o Urbana de Distrito, es uno de los sistemas más eficientes de suministro de calor que se traslada por vía urbana para suministrar ACS y calefacción a un número de viviendas dentro de una ciudad o incluso a poblaciones enteras a partir de una planta central de producción de calor. El calor producido en dicha planta en forma de agua caliente se envía a los usuarios para su consumo mediante una red de tuberías dobles pre aisladas y enterradas en lugar de utilizar calderas individuales en cada vivienda o edificio.

Una vez que el agua caliente ha intercambiado el calor con el agua de red, el agua usada, ya más fría, retorna por una de las tuberías a la planta donde se

vuelve a calentar. Esto hace que el coste de la factura sea menor, además de las ventajas de eficiencia medioambiental, sostenibilidad y seguridad obtenidas frente a otros sistemas convencionales.

La energía térmica generada en la central es distribuida mediante un sistema de conducciones dotadas de un aislamiento térmico hasta los puntos de consumo, que son viviendas y edificios, en los que se instala una subcentral de distribución. Estas constan de intercambiadores de calor<sup>160</sup>, en lugar de calderas individuales, que suministran el agua en las condiciones de presión y temperatura deseadas. Los conductos de las redes de DH están formados por dos tuberías, una de impulsión y una de retorno. La extensión del sistema y el número de ramificaciones dependen de la situación de la planta de producción de energía, del número de usuarios, de la distribución de los usuarios y de las pérdidas de energía en la red, Besselievre et al. (2012). Una característica importante de las tuberías es el aislamiento, ya que deben reducirse al máximo las posibles pérdidas de calor por distribución. Normalmente se utilizan tuberías pre aisladas que evitan problemas de aislamiento.

En la aplicación particular de redes de calefacción urbanas con energía geotérmica se trata de aprovechar el calor almacenado en acuíferos profundos a través de la captación de sus aguas mediante sondeos o prospecciones, de la misma forma que para extraer petróleo.

---

<sup>160</sup> Un intercambiador de calor es un dispositivo diseñado para transferir calor entre dos fluidos, o entre la superficie de un sólido y un fluido en movimiento. Son elementos fundamentales en los sistemas de calefacción, refrigeración, acondicionamiento de aire, producción de energía y procesamiento químico, además de en aparatos de la vida cotidiana como calentadores, frigoríficos, calderas, ordenadores, entre otros.

Según la empresa Wolf Ibérica, en la Jornada sobre Redes de Calor Urbanas, para la demanda de calefacción, las condiciones de temperatura de impulsión en función de las condiciones exteriores deben estar entre los 60 °C y los 80 °C para instalaciones antiguas, teniendo en cuenta que las modificaciones del RITE<sup>161</sup> 2013 establecen la temperatura media máxima de impulsión en 70 °C. En cuanto a la demanda de ACS, la normativa obliga a una temperatura de acumulación de 60 °C, lo que requiere temperaturas en primario de 65 °C.

En Europa hay instaladas más de 5.000 redes de DH con más de 70.000 km de tuberías en redes de calefacción e incluso en algunas ciudades más del 50 por ciento de la población son usuarios de un sistema de DH.

Entre las ventajas que presenta el sistema DH están las siguientes:

- Ahorro en el pago tarifario, que puede suponer entre un 25 – 30 % respecto a las tarifas de calefacción y agua caliente sanitaria.
- Acceso a una fuente de energía renovable con un coste competitivo y estable en el tiempo.
- Reducción de emisiones de GEI como el CO<sub>2</sub>, sobre todo si se utiliza caldera de biomasa donde no computan las emisiones de CO<sub>2</sub> al ser la biomasa una energía renovable que se integra en el ciclo del CO<sub>2</sub> en la naturaleza.
- Ahorro en costes de reformas según normativas de seguridad europeas.
- Menores costes de mantenimiento tanto de los equipos como de las

---

<sup>161</sup> El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE) es el reglamento español que regula lo relativo al diseño, instalación y mantenimiento de las instalaciones de climatización (ventilación, calefacción y refrigeración) y de producción de agua caliente sanitaria. Tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.

instalaciones.

- Garantía en el suministro de agua.
- Mejora de la calificación en la certificación energética de los edificios y viviendas, obteniendo una mayor eficiencia energética.
- Facilidad para el transporte y descarga en la Central Térmica.
- Tranquilidad de no tener combustible, ni maquinaria dentro del propio edificio o vivienda, transformándose en seguridad.
- Disminución de ruidos provocados en la sala de calderas, dando lugar a una menor contaminación acústica y, por lo tanto, contribuyendo al bienestar de los usuarios.

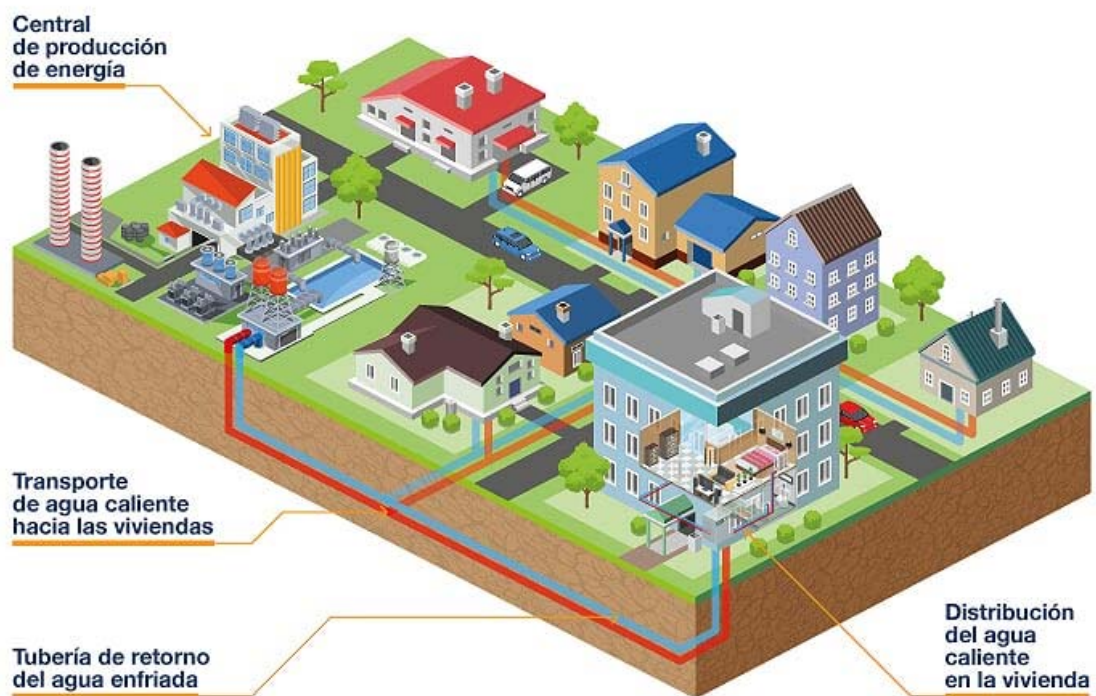
Este tipo de instalación está formada por tres tipos de generación: i) generación de energía mediante un recurso geotérmico renovable; ii) generación de calor y distribución; y iii) suministro térmico.

Por ello, la energía geotérmica es una buena solución para la disminución del gasto energético, en concreto, el uso de fuentes termales como aprovechamiento tanto de la temperatura del agua, evitando las pérdidas de calor que suelen tener los balnearios y fuentes de aguas termales al tener que enfriarlas para su uso humano, como del ahorro económico a la hora de realizar las prospecciones y estudios de terrenos que suelen ser costosos.

La calefacción por distritos, redes de calefacción o "*District Heating*" es un sistema de distribución de calor, cuya ubicación se encuentra centralizada y distribuye el calor a través de una red de tuberías aisladas, situadas bajo el suelo, a varias ubicaciones o edificios, de tipo residencial, comercial, oficinas y/o edificios públicos, como colegios, hospitales y residencias, utilizándose para

calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (figuras 45, 46 y 47).

El calor se obtiene de diversas maneras: i) a través de una planta de cogeneración que quema combustibles fósiles, donde, en ocasiones se genera electricidad y se cogenera el calor residual que se utiliza en el sistema de calefacción de distrito, ii) mediante estaciones de calderas de biomasa, iii) calefacción geotérmica, iv) calefacción solar y otras renovables y v) energía nuclear.



**Figura 45: Esquema transporte-distribución de calor desde central de calor a edificios.**

Fuente: [www.naturgy.es](http://www.naturgy.es).

Según algunas investigaciones, la calefacción urbana con calor y energía combinados es el método más barato para reducir las emisiones de carbono y tiene una de las huellas de carbono más bajas de todas las plantas de generación. En definitiva, este método de obtención de calor reduce gastos de

manera significativa.

Los costes de mantenimiento son más bajos y la generación de calor es más eficiente, puesto que es menos costoso generar calor desde una ubicación central que la obtención de calefacción y ACS de manera individual para cada residente.

### **Componentes de la calefacción urbana**

Un sistema de calefacción urbana por distrito requiere cuatro elementos centrales:

**Centro de energía:** Donde se genera el calor para la calefacción urbana desde una ubicación centralizada y distribuyéndolo a las viviendas y edificios.

**Tuberías Aisladas:** Los verdaderos elementos necesarios para el envío de calor al destino final. La red de tuberías debe diseñarse de manera que sean eficientes y eficaces, de forma que se minimice su longitud.

**Intercambiador de calor:** Elemento situado donde el calor sale de las tuberías de la red y entra en los diferentes edificios. El calor es transferido a las áreas necesarias dentro de cada edificio. Su misión es elevar la temperatura de un fluido gracias a otro fluido más caliente.

**Medidor de calor:** Contador de calor que se ubicará en cada edificio con el fin de monitorear y facturar de manera adecuada.

La calefacción por distritos posee una serie de ventajas, estas son las siguientes:

**Extensión variable:** La extensión de la red puede ser pequeña, para un grupo de casas o que sirvan a un grupo de edificios que puede ser más o menos

grande, con conducciones que discurren bajo el suelo.

**Eficiencia energética:** Los edificios pueden usar la energía de manera más eficiente, reduciendo la pérdida de energía, disminuyendo las emisiones de carbono, así como los costes financieros asociados. La emisión de dióxido de carbono es menor para los centros de energía centralizados que para las calderas individuales acumuladas.

**Aprovechamiento de las fuentes de calor alternativas:** La existencia de alternativas energéticas que puedan reducir o sustituir al gas natural sería un beneficio ambiental y económico.

**Fuentes renovables:** El uso de un sistema central a mayor escala significaría que sería mucho más fácil incorporar nuevas fuentes renovables de energía.

**Mantenimiento continuo:** Con la calefacción centralizada existe menor necesidad de mantenimiento continuo, ayudando a reducir los costes y el tiempo.

**Reducción de costes de ejecución de la obra civil:** La red de agua caliente sustituye a la red de gas y aprovecha las zanjas de la red de abastecimiento de agua.

**Reducción de costes de ejecución de las instalaciones:** Aprovecha la economía de escala de una central térmica frente a varias salas de calderas o multitud de calderas individuales, cosa que beneficia también al usuario final.

**Disminución del tiempo de instalación y montaje:** Se dispone de mayor superficie útil, aprovechando el espacio ocupado por las salas de calderas de las viviendas, no generando humos ni contaminación en la zona de viviendas. Este factor favorece el aumento del valor añadido tanto de la instalación térmica como de las viviendas que lo utilizan.

**Ayudas de Organismos Públicos, Administraciones Públicas:** Posibilidades



de ayudas y subvenciones para la mejora de la eficiencia energética, así como del impacto a nivel social, comercial y político.

**Reducción del coste de explotación y mantenimiento de la instalación:** La no generación de calefacción ni agua caliente sanitaria por vivienda, reduce la potencia instalada y disminuye el combustible consumido por vivienda.

**No manipulación ni almacenaje de combustible en el edificio:** Reducción de los problemas de seguridad, suciedad y espacio, y de las revisiones periódicas que a su vez tienen un coste económico.

Los inconvenientes de la calefacción urbana radican en: 1) la necesidad de tuberías subterráneas aisladas, las cuáles deben estar debidamente aisladas y diseñadas de manera eficaz para garantizar la no pérdida de calor durante esta distribución desde la ubicación central a los destinos individuales. Una instalación incorrecta o un diseño deficiente del sistema pueden provocar ineficiencias con este tipo de calefacción. 2) Una rotura de tubería individual podría causar la paralización de todo el sistema. 3) Daños en la planta central paraliza toda la instalación.

## **10. ENERGÍAS COMPATIBLES CON INSTALACIONES DE CALOR CENTRALIZADO**

Los tipos de energía con los que se puede combinar las instalaciones de calor centralizado son:

**Biomasa:** Las redes de calefacción urbana se pueden adaptar fácilmente para el uso de biomasa, teniendo en cuenta que las calderas de biomasa tienen rendimientos de hasta el 95 %, trabajan en un amplio rango de potencias y

cuentan con sistemas de alimentación continua, automatizada de combustible, limpieza automática y compactación de las cenizas.

**Geotérmica:** La energía geotérmica es poco utilizada en España, pero en una zona con buen comportamiento térmico de los recursos geotermales puede aprovecharse.

**Solar:** En Europa, hoy en día se utiliza aproximadamente un 14 % de energía solar térmica como fuente de energía para su uso en las redes de distrito. Esta fuente de energía tiene numerosas ventajas, sobre todo medio ambientales, con el apoyo de colectores adecuadas o de otras fuentes de energías alternativas que suplan la falta de energía térmica cuando sea necesario.

**Cogeneración:** La cogeneración es la tecnología de producción energética más eficiente que existe. Consiste en la producción simultánea de calor y electricidad. Debido a sus características de tamaño, producción y uso, las redes *District Heating* son idóneas para la aplicación de cogeneración. Los usuarios pueden decidir qué hacer con la electricidad que producen.

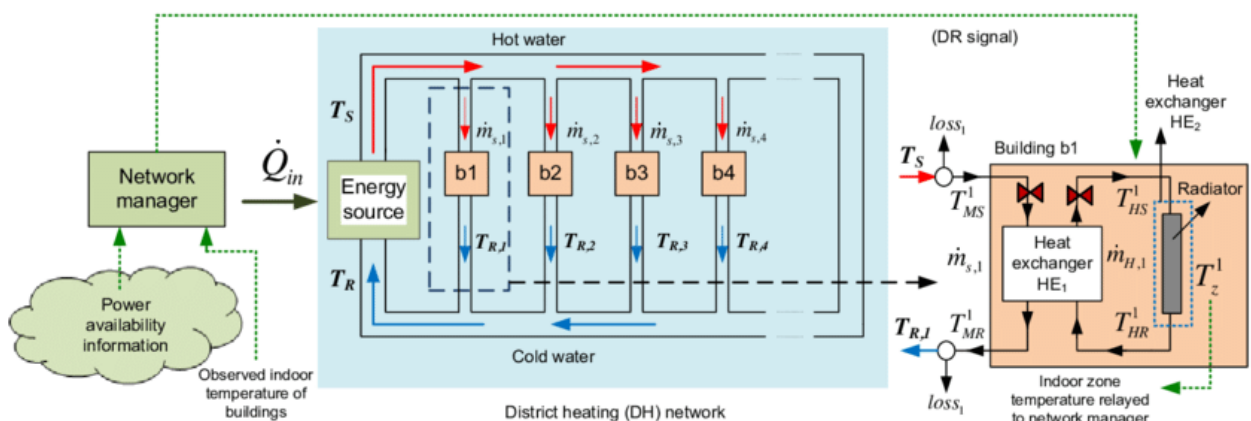
**Incineración de residuos:** En la actualidad existen numerosos procesos para llevar a cabo este proceso como son el tratamiento térmico mediante la incineración, la gasificación o la pirolisis<sup>162</sup>. El aprovechamiento del calor procedente de la incineración de residuos en las redes urbanas puede representar un ahorro de energía primaria del 100 %, pues se trata de calor residual que se expulsa al medio ambiente.

En España las primeras instalaciones de calor centralizado se realizaron en la Ciudad Universitaria de Madrid en 1932, posteriormente en el Instituto de Ciencias de la Construcción, Eduardo Torroja, en Madrid en 1948. La Empresa

---

<sup>162</sup> La pirolisis es una degradación térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que dichas sustancias se descomponen mediante calor, sin que se produzcan las reacciones de combustión.

Nacional Siderúrgica, ENSIDESA<sup>163</sup> en Avilés instaló un sistema de calefacción urbana para sus instalaciones en 1952, SEAT lo hace en sus instalaciones de la Zona Franca para la calefacción del comedor de los empleados en 1954 y en 1961 se realiza el anteproyecto de calefacción urbana de Pamplona. La Universidad Pública de Navarra (Pamplona) y los Recintos Feriales de Madrid IFEMA (Madrid) realizaron instalaciones de calor centralizado en el año 1990. La red dispone de dos calderas: una principal de 5.200 KW de potencia y otra auxiliar de 700 KW, ambas alimentadas con biomasa procedente de residuo forestal. En 1999 se realizó calefacción centralizada por biomasa en Cuellar (Segovia). Posteriormente, se construyó, en 2004, en Fórum *District Heating* y barrio 22@ (Barcelona) instalaciones de “*District Heating*”, en 2008 se construyó la Central Térmica para la Expo-Zaragoza de 2008, y la Central Térmica para la Ciudad Agroalimentaria de Tudela (Navarra). En el 2011 se instaló la Central Térmica en la Ciudad de la Justicia de Madrid y la Central Térmica Ciudad Medio Ambiente en Soria.

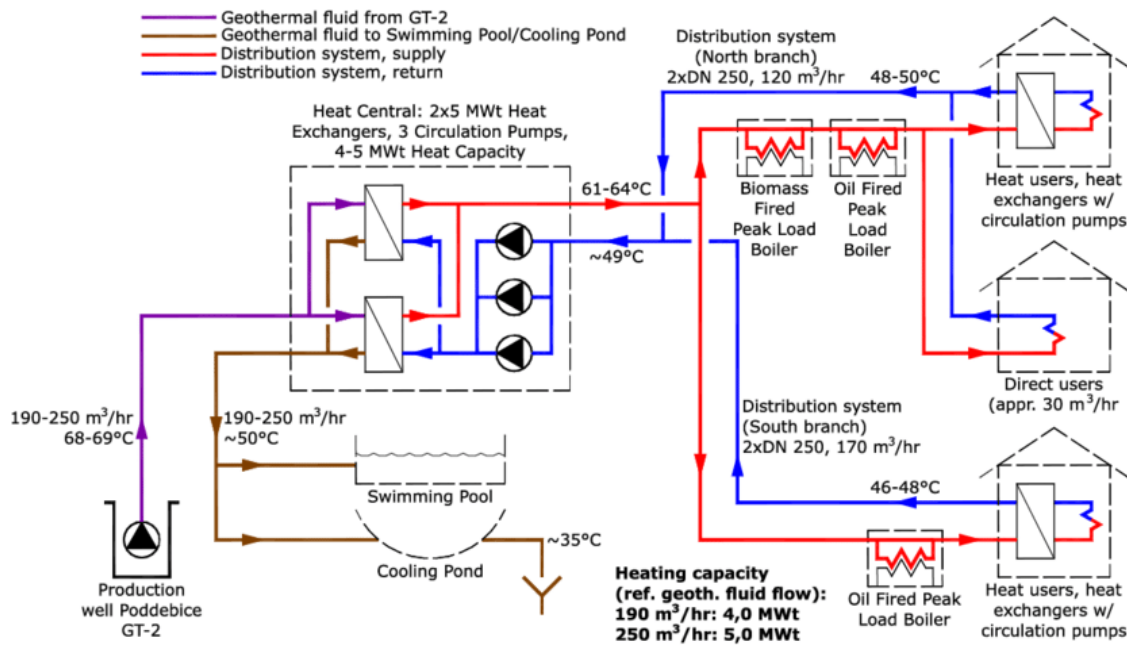


**Figura 46: Esquema funcionamiento planta District Heating en un edificio individual.**

Fuente: Saptarshi Bhattacharya et al. (2016).

<sup>163</sup> La Empresa Nacional Siderúrgica, Sociedad Anónima, fue una empresa pública dependiente del Instituto Nacional de Industria que contó con una planta de siderurgia integral en Asturias.

El método “*District Heating*” tiende a ser estable, flexible y seguro. Permite la utilización de cualquier tipo de energía, sobre todo renovables de manera eficiente.



**Figura 47: Esquema funcionamiento planta District Heating en viviendas individuales.**

Fuente: Kępińska, B. et al. (2017).

Los costes iniciales suelen ser altos, ya que es necesario desarrollar una planta lo suficientemente grande para satisfacer las necesidades de calefacción e instalar suficiente tubería de calefacción para llegar a la comunidad. Con el tiempo, estos costes se compensan con ahorros en términos de coste de generación de energía, así como costes reducidos en el mantenimiento de los sistemas de calefacción individuales.

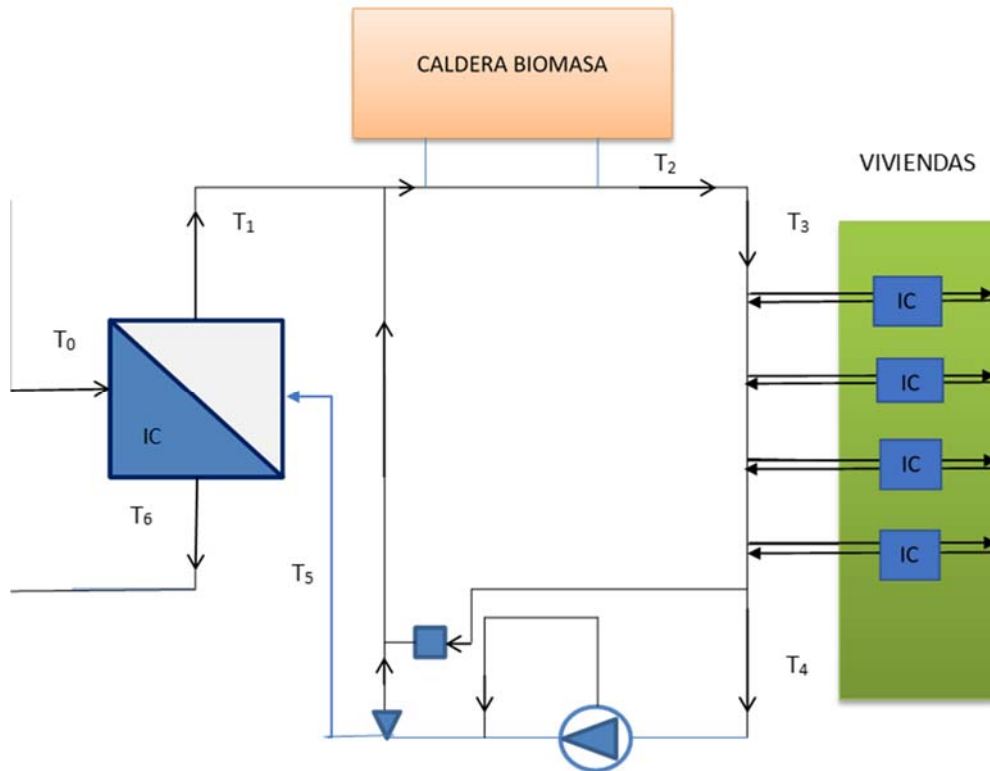
## 11. SISTEMA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA PROCEDENTE DE UNA FUENTE TERMAL O BALNEARIO, SIN PROSPECCIÓN, UTILIZANDO CALDERA DE BIOMASA.

Energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario sin realizar

prospecciones, que utiliza calor centralizado o urbano (*District Heating*), y caldera de biomasa con el fin de aumentar la temperatura del agua que se dirige a las viviendas para calefacción y agua caliente sanitaria. La instalación objeto de estudio tiene como componentes una fuente hipertermal como sistema geotérmico, con una temperatura igual o superior a 45 °C; una caldera de biomasa, que utiliza astillas de madera como combustible, como sistema auxiliar renovable, cuya función es aumentar la temperatura del agua proveniente del intercambiador de calor primario y cuya función es intercambiar el calor aportado por el agua caliente proveniente de la fuente termal y el agua de red e impulsarlo en caso necesario a la caldera de biomasa en las condiciones de presión y temperatura deseadas.

Por lo tanto, el elemento principal para el funcionamiento de este sistema es el intercambiador de calor, que se encarga de transferir calor entre dos fluidos en contacto y sin mezclar, uno de ellos de mayor temperatura y otro de menor temperatura. El intercambiador de calor primario que proporciona la interfaz entre los fluidos geotérmicos y el sistema de calefacción juega un gran papel en la operación de la mayoría de los esquemas de calefacción geotérmica, ya que es el responsable de la extracción de calor del fluido geotérmico. Por lo tanto, las condiciones que existen en el intercambiador de calor determinan los niveles de potencia geotérmica y la economía del esquema.

El esquema general de la disposición básica de un Sistema *District Heating* para calefacción y agua caliente sanitaria se observa en la figura 48.



**Figura 48: Esquema general Sistema DH con caldera de biomasa.**

Fuente: Elaboración propia.

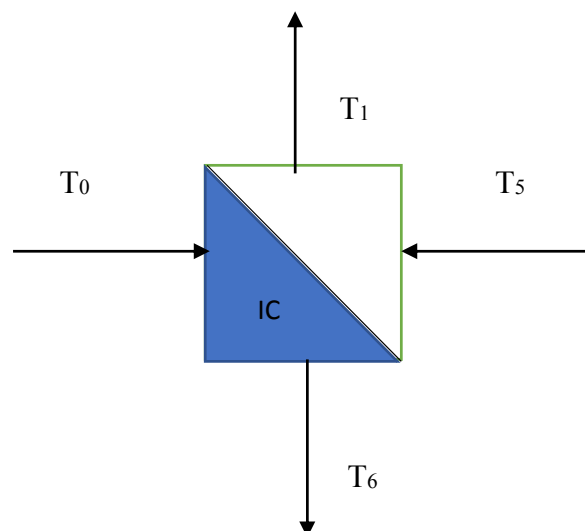
Donde,

- $T_0$  es la temperatura del agua procedente de la fuente termal o balneario que entra en el intercambiador de calor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_1$  es la temperatura de salida del agua del intercambiador de calor y la temperatura de entrada a la caldera de biomasa ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_2$  es la temperatura de salida de la caldera de biomasa ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_3$  es la temperatura de entrada a las viviendas o edificios ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_4$  es la temperatura de salida de las viviendas o edificios ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_5$  es la temperatura de retorno de red después de haber calentado la/s vivienda/s que vuelve al intercambiador de calor ( $^{\circ}\text{C}$ ).
- $T_6$  es la temperatura de salida del agua del intercambiador de calor y que retorna a la fuente termal ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Por último, al no tener que realizar prospecciones geotérmicas tan solo hay que utilizar tuberías enterradas a menos de un metro bajo tierra que desplazan el agua termal desde la fuente hasta la instalación centralizada en poblaciones o ciudades próximas a la fuente. Los conductos están formados por dos tuberías, una de impulsión y una de retorno. La extensión del sistema y el número de ramificaciones dependen de la situación de la planta de producción de energía, del número de usuarios, de la distribución de los usuarios y de las pérdidas de energía en la red. Una característica importante de las tuberías es el aislamiento, ya que deben reducirse al máximo posible las pérdidas de calor por distribución. Normalmente se utilizan tuberías pre aisladas de polietileno reticulado que evitan problemas de no aislamiento.

### Esquema de intercambiador de calor

El esquema de un intercambiador de calor se indica a continuación en la figura 49.



**Figura 49: Esquema de intercambiador de calor.**  
Fuente: Elaboración propia

El calor fluye desde la corriente del fluido de alta temperatura a la corriente de fluido de baja temperatura. Los cambios de temperatura que ocurren en las corrientes de fluido dependen tanto de la cantidad de flujo como de la eficiencia del intercambiador de calor. La demanda energética proviene de una serie de viviendas y edificios conectados entre sí a través de una red colectiva de calefacción y/o ACS que requieren agua a una temperatura de entrada de red  $T_3$  con distintas demandas de los mismos. El circuito primario del sistema indicado intercambia energía con cada circuito individual de cada vivienda o edificio a través de un intercambiador de calor secundario colocado en cada vivienda. Al pasar a través de los elementos de calefacción en los edificios, los fluidos se enfrían a una temperatura de salida de red  $T_4$  y se devuelven al intercambiador de calor secundario. La temperatura de suministro geotérmico se fija por las condiciones de la fuente y donde la temperatura de retorno a la misma dependerá de las decisiones de diseño y regulación. La tasa de suministro de energía geotérmica depende fuertemente de la temperatura de retorno, por lo que, a menor valor de la temperatura de retorno, mayor será la transferencia de calor en el intercambiador primario y por tanto mayor será el aprovechamiento térmico de la fuente. La temperatura de suministro de la red debe adaptarse, es decir, aumentarse o reducirse, hasta valores que satisfagan las necesidades de los usuarios. Para el sistema de energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección utilizando caldera de biomasa se utilizaría un tipo de red simple, donde las viviendas y edificios se suministran en paralelo y el fluido utilizado retorna a la planta donde se vuelve a calentar. La regulación la realizará el usuario y la red satisfaría las demandas de agua. Se utilizaría un único conjunto de líneas o tuberías de impulsión y de retorno para la conexión



entre la instalación centralizada y el grupo de viviendas y edificios que estarán conectados en paralelo entre las dos tuberías principales. La temperatura de suministro o impulsión del primario se regula para hacerla coincidir con la temperatura de entrada requerida de los calentadores de los usuarios y la temperatura de retorno del primario sigue la respuesta del calentador.

Por lo tanto, el flujo total en la red es directamente la suma de los flujos en cada rama y esto es igual a la suma de los flujos requeridos por cada grupo de usuarios. Se necesita una caldera de respaldo con el fin de suministrar calor extra para aumentar la temperatura del fluido de la red. En este caso, en el que el agua suministrada procede directamente de una fuente termal de más de 45 °C sería necesaria una caldera de biomasa de astillas, del tipo de respaldo central. La caldera de biomasa se ubica en la tubería de impulsión del primario y regula la temperatura de la red para abastecer a las viviendas y edificios individuales.

### **Funcionamiento de la caldera de biomasa**

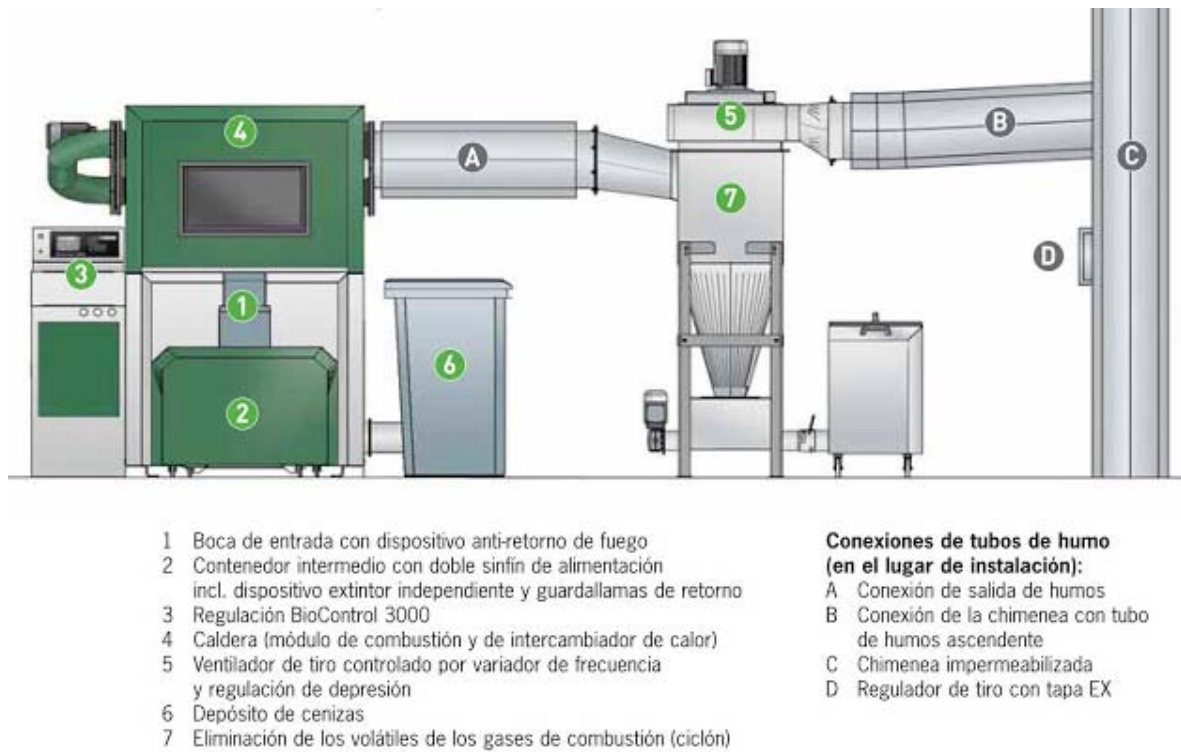
Las calderas de biomasa utilizan combustible sólido, en su mayoría reciclado, por esta razón existen diferentes tipos de caldera de biomasa según el tipo de combustible empleado, como son pellets<sup>164</sup>, leña, astillas de madera, grano de cereales, huesos aceituna, orujillo<sup>165</sup> y cáscaras de diversos frutos secos como almendras, avellanas y/o cacahuetes. Las ventajas que presentan este tipo de

---

<sup>164</sup> Los pellets o pellas de madera son un combustible de biomasa granulado alargado a base de madera. Estos se fabrican mediante prensado de serrín donde la propia lignina hace de aglomerante. La procedencia de su materia prima es principalmente de industrias de 1ª y 2ª transformación de la madera que generan serrines y partes desaprovechadas de los troncos. Otro origen es a partir de la madera destinada a trituración de claras y clareos de los montes de árboles no aptos para aserraderos.

<sup>165</sup> Materia compuesta de la pulpa, el pellejo y algunas partículas de hueso de aceituna, procedente de las orujeras, de donde se extrae el aceite de orujo.

calderas son, además de ser una energía renovable, utiliza material reciclado, no emite CO<sub>2</sub> y ahorra gastos de combustible. La configuración de una caldera de biomasa se describe en la figura 50.



**Figura 50: Configuración de un equipo de caldera de biomasa BioFire.**

Fuente: *Energy Style System*

Existen una gran variedad de tipos y precios según la potencia a utilizar.

## Tuberías

El calor producido en la planta de calor centralizado se envía a los usuarios para su consumo mediante una red de tuberías dobles pre aisladas de polietileno reticulado (PEX), una de impulsión y otra de retorno, procurando el mayor aislamiento posible, para reducir las pérdidas por fricción, estando enterradas hasta la población o ciudad cercana a la fuente termal.

## Funcionamiento central

En cuanto a la regulación de la temperatura y flujo de red según demanda hay tres aspectos:

**Cambios en la climatología:** La demanda cambiará según sea mayor o menor la temperatura ambiente. Entonces se cambia la temperatura de suministro de la red.

**Cierre de los sistemas de calefacción por parte de los usuarios:** Entonces se reduce el flujo de la red.

**Rechazo por parte de los usuarios de sus sistemas de calefacción:** Se producen cambios en la temperatura ambiente y se reduce el flujo de red. Así, a medida que disminuye la intensidad de la demanda, las temperaturas de retorno del calentador también disminuirán.

Cuando los usuarios apagen sus sistemas de calefacción se utilizará la estrategia de flujo variable, en la que los usuarios no están equipados con conexiones de derivación y cuando los usuarios apagan los sistemas de calefacción, el flujo de red se reduce. Otra opción es el uso de agua caliente sanitaria, que se utiliza durante todo el año.

Si el flujo de red se reduce, este no debe estar por debajo del flujo de la fuente térmica, y se tendría que realizar un pequeño ajuste en la efectividad del intercambiador de calor. Por ello, el calor de la fuente térmica que no se suministra a los usuarios que apagen sus sistemas de calefacción se transfiere a los usuarios conectados. Esta estrategia de flujo variable da lugar a temperaturas de retorno más bajas en el intercambiador de calor y es la más compatible con las fuentes termales. Si el flujo de red cae por debajo del flujo

de la fuente térmica, se debe reducir el flujo de la fuente térmica o almacenar los fluidos.

Esto último se podría utilizar en el caso de que un gran número de usuarios cerraran sus sistemas de calefacción, bien en verano o bien por la noche. Teniendo en cuenta lo anterior, hay una temperatura crítica,  $T_6$ , por debajo de la cual la temperatura de suministro de la red no debe caer, pues de lo contrario las necesidades de calentamiento de agua no se podrían cumplir. Cuando la temperatura de suministro de usuario,  $T_5$ , es mayor que la temperatura crítica,  $T_6$ , la temperatura de suministro de la red se regula en línea con la temperatura externa, mediante *bypass*, con conexiones de derivación, válvulas de tres vías y sensor de temperatura, reduciendo la temperatura del fluido suministrado a los calentadores por debajo de la temperatura de alimentación principal de la red. Cuando la temperatura de suministro de usuario es menor que la temperatura crítica, la temperatura de suministro de red se ha de mantener a la temperatura crítica y la compatibilidad con los calentadores se obtiene por retroalimentación y mezcla de fluidos de retorno. Esto reduce el flujo de red del primario, requerido para el calentamiento del espacio, y a medida que disminuye la temperatura de suministro del usuario, el flujo total de la red disminuye rápidamente.

Por lo tanto, hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

Los usuarios no deben estar sobreabastecidos ni deben exceder los niveles de diseño de demanda.

Los calentadores se han de regular linealmente con la intensidad de la demanda, mientras que las temperaturas de impulsión y de retorno del calentador han de ser lo más bajas posible.

La temperatura de retorno al intercambiador de calor debe ser lo más baja posible y para ello la red debe estar regulada en temperatura y flujo.

## **12. SISTEMA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA PROCEDENTE DE UNA FUENTE TERMAL O BALNEARIO, SIN PROSPECCIÓN, UTILIZANDO BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.**

Se trata de utilizar energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin realizar prospecciones, utilizando la repartición del calor de manera centralizada desde el núcleo urbano, es decir, mediante calor centralizado por distritos utilizando bomba de calor geotérmica con el fin de aumentar la temperatura del agua en caso necesario.

Este sistema tiene el mismo funcionamiento que el citado en el apartado anterior, con la única diferencia de que en lugar de utilizar una caldera de biomasa se utiliza a los mismos efectos una bomba de calor geotérmica que funciona con electricidad.

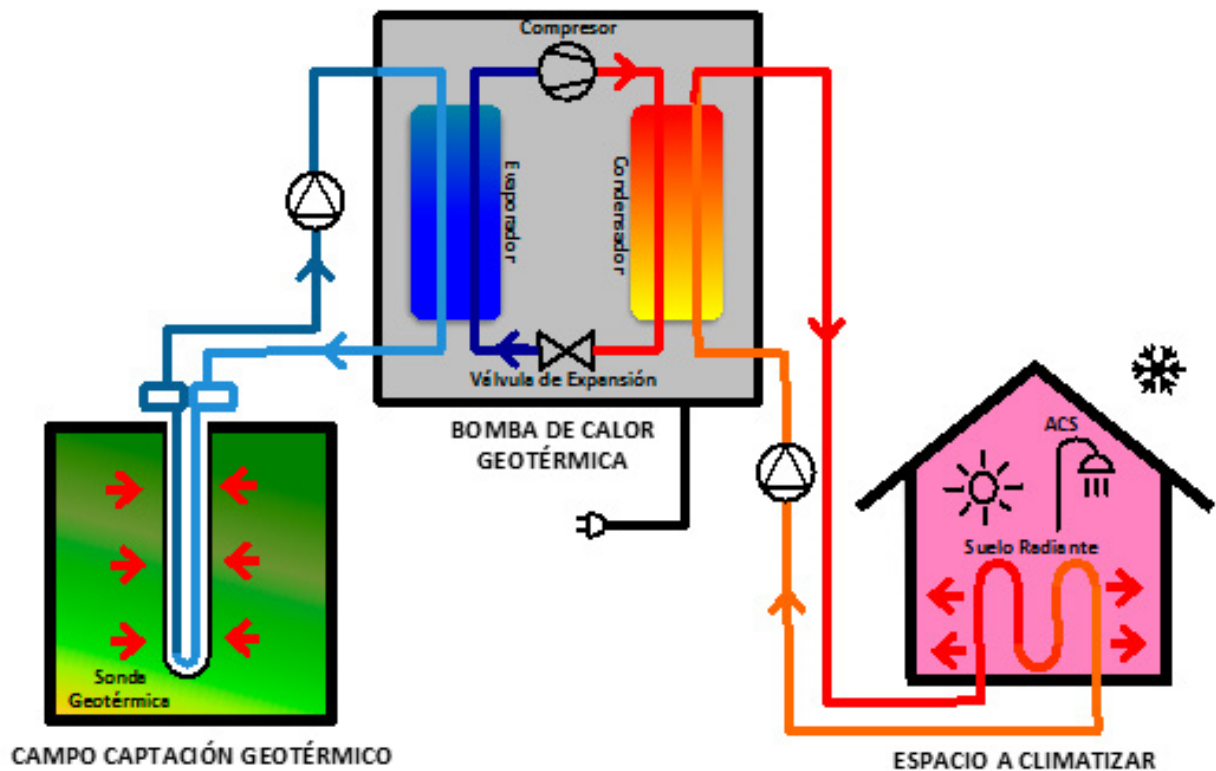
El hecho de haber propuesto este sistema es que se puede utilizar cualquier tipo de energía de apoyo para aumentar la temperatura en caso necesario.

### **Funcionamiento de la bomba de calor geotérmica**

Las bombas de calor son los equipos más importantes en las instalaciones geotérmicas, mejorando la eficiencia de las instalaciones. La bomba de calor geotérmica genera calor o frío según demandas de los edificios y/o viviendas, por lo que es requerido para su funcionamiento de un intercambio de temperatura con el medio externo y la fuente termal.

### Modo calefacción

El evaporador capta calor del foco frío, que en este caso es el campo de captación geotérmico o fuente termal. El condensador cede calor al foco caliente, que es el espacio a climatizar para lo que se dispone otro circuito cerrado por el que circula agua, según el esquema reflejado en la figura 51.



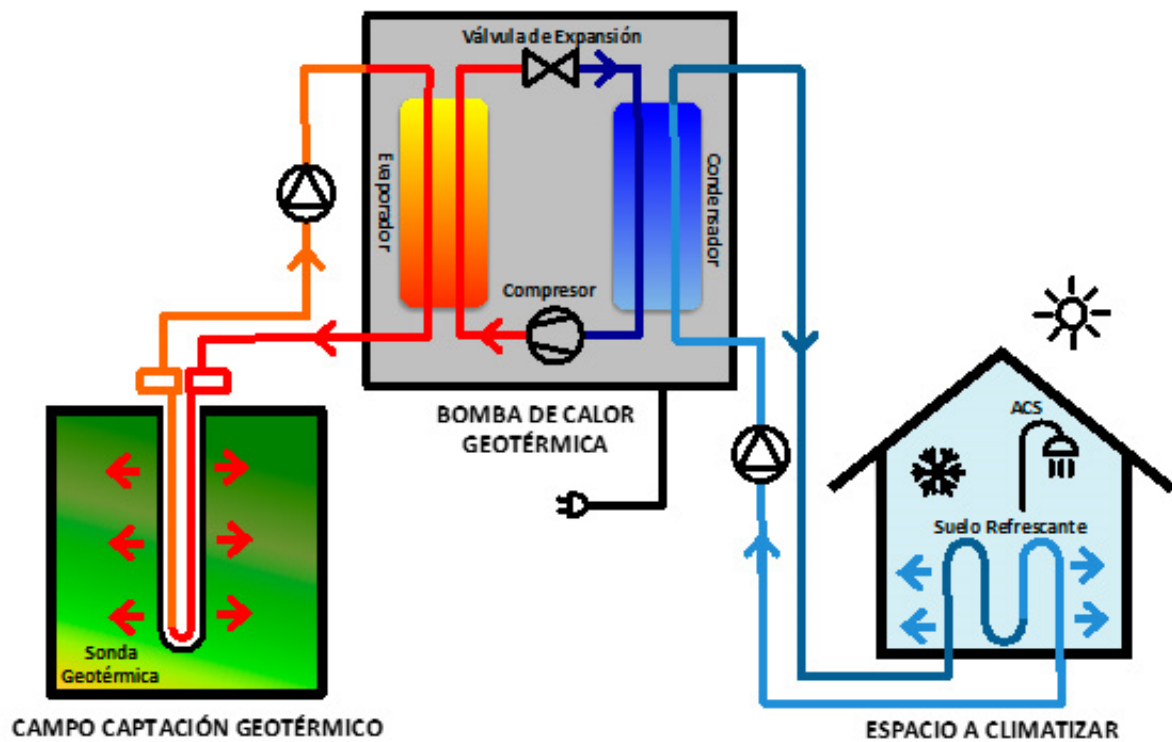
**Figura 51: Esquema funcionamiento de una bomba de calor geotérmica en modo calefacción.**

Fuente: [www.geotermiavertical.es](http://www.geotermiavertical.es).

### Modo refrigeración

Cuando la bomba de calor geotérmica está produciendo frío se invierte su funcionamiento, de modo que el evaporador realiza el intercambio con el foco frío que en este caso son los circuitos de distribución interior y el condensador realiza el intercambio con el foco caliente, que en este caso es el terreno, según

el esquema contenido en la figura 52.



**Figura 52: Esquema funcionamiento de una bomba de calor geotérmica modo refrigeración.**

Fuente: [www.geotermiavertical.es](http://www.geotermiavertical.es).

En definitiva, la bomba de calor geotérmica es una máquina que funciona con electricidad, que transmite el calor de un foco frío a un foco caliente incrementando su nivel de temperatura mediante el funcionamiento de un compresor en un ciclo de compresión de vapor. Los esquemas y funcionamiento de este sistema son iguales al apartado anterior.

### **13. SISTEMA CON ENERGÍA GEOTÉRMICA PROCEDENTE DE UNA FUENTE TERMAL O BALNEARIO, CON PROSPECCIÓN, UTILIZANDO BOMBA DE CALOR GEOTÉRMICA.**

Energía geotérmica con prospección, utilizando calor centralizado o urbano con

apoyo de bomba de calor geotérmica para aumentar la temperatura del agua en caso necesario.

Este sistema tiene el mismo funcionamiento que el apartado 5.3.2, con la única diferencia de que en lugar de utilizar una caldera de biomasa se utiliza a los mismos efectos una bomba de calor geotérmica y, además, se realizan prospecciones en zonas termales que quizás, no hayan sido explotadas.

### **Prospección geotérmica**

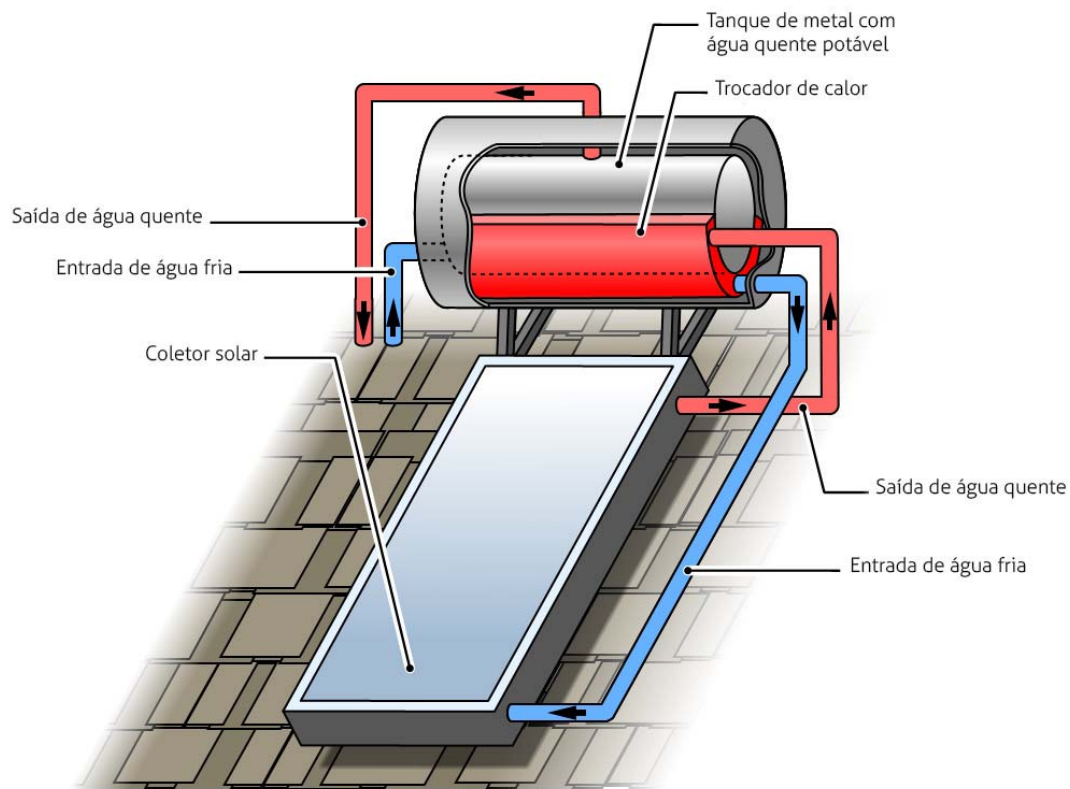
Debido a las perforaciones o prospecciones que hay que realizar para colocar las sondas de captación geotérmica, se hace necesario un estudio previo. Estas perforaciones, junto con el estudio técnico, hace que el proyecto se encarezca prácticamente el triple que lo que costaría la instalación de un sistema de calefacción y ACS convencional. Los esquemas y funcionamiento de este sistema son iguales al anterior.

## **14. SISTEMA CON PANELES SOLARES TÉRMICOS Y GAS NATURAL**

Es el único sistema no geotérmico de entre los propuestos en este capítulo para abastecer de calefacción y agua caliente sanitaria. Se trata de un sistema de paneles solares térmicos (ver figura 53) utilizando como apoyo gas natural, que es el uso de energía renovable junto con gas natural, siendo ésta la fuente fósil más utilizada ya que en la actualidad sólo energías fósiles no pueden utilizarse para el reparto de energía calorífica en viviendas.

Se puede utilizar la energía eólica u otras energías renovables alternativas, pero la energía solar térmica es la más económica hasta el momento, en líneas generales, por lo que hay que tenerla en cuenta.





**Figura 53: Esquema panel solar térmico.**

Fuente: [www.solarmig.com](http://www.solarmig.com)

El sistema de calentamiento con paneles solares térmicos es un conjunto formado esencialmente por paneles solares térmicos y el depósito térmico, que puede ser una caldera de gas, una caldera eléctrica o una caldera de biomasa (ver figura 54).

La caldera o depósito térmico se utiliza para almacenar el agua calentada para su consumo. Se fabrican con aislamiento térmico para reducir la pérdida de calor al medio ambiente, lo que hace al sistema más eficiente.



Figura 54: Esquema paneles solares térmicos y calentador de gas natural.

Fuente: [www.i.pinimg.com](http://www.i.pinimg.com)

### Funcionamiento

El agua fría o agua de red pasa a través de los colectores solares térmicos, donde se calienta el agua y a través de tuberías y a una temperatura adecuada se dirige hacia la vivienda directamente para calefacción y ACS, o en el caso de que la temperatura de agua caliente no fuera la adecuada, pasaría al calentador de gas natural para aumentar su temperatura a los niveles deseados en la vivienda. Para conocer el volumen necesario del tanque de acumulación de agua, siempre que sea conocido el consumo diario de agua caliente por persona, se utilizaría este mismo valor conocido. En caso de no conocerlo, el Código Técnico de la Edificación establece 28 litros por persona y día. A partir de la cantidad de litros que posea el tanque de acumulación, se puede conocer el número de metros cuadrados de superficie de colectores necesarios,

suponiendo por cada 75 litros de volumen del tanque de acumulación, una base de 1 m<sup>2</sup>. Empleándose la fórmula:

$$A_c = \frac{V_T}{75} \quad (35)$$

Así, si se dispone de un tanque de acumulación de 450 litros de volumen  $V_T$ , la superficie de colectores solares térmicos  $A_c$ , sería:

$$A_c = \frac{450}{75} = 6 \text{ m}^2$$

Esta ratio puede cambiar según la radiación solar disponible, la eficiencia del sistema y el tiempo transcurrido entre generación y uso. Teniendo en cuenta que las necesidades de agua caliente suelen ser mayores en invierno, cuando la energía solar disponible es menor, se tendería a sobredimensionarlo de cara al verano, encareciendo la instalación del sistema y llegando a ser ineficiente. Por lo que la instalación debe contar con un sistema de apoyo para asegurar la cobertura de las necesidades en cada estación del año y en cada momento.

El sistema de apoyo más interesante que optimiza una instalación con paneles solares térmicos sería una caldera de gas natural termostática para agua caliente, que consiste en conectar directamente el acumulador solar a la toma de agua fría de la caldera, o bien utilizar un segundo acumulador de agua caliente en el que apoyaríamos la caldera, y al que entraría el agua caliente precalentada del acumulador solar.

## 15. REFLEXIONES FINALES

Tras analizar en el capítulo anterior los diferentes tipos de energías renovables y no renovables, y siendo necesario seleccionar para este estudio una energía renovable por las ventajas que incorporan, entre otras, el ahorro de los costes iniciales de instalación, la disminución de las emisiones a la atmósfera, el bienestar de los usuarios, para el uso en calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas, edificios e instalaciones, se ha optado en esta Tesis por la energía geotérmica, aprovechando aquellas fuentes termales o balnearios cercanos a núcleos de población para estos fines. Se optó por instalar una red de distribución que fuera sencilla y cómoda como la calefacción centralizada urbana por distritos, llamado *District Heating* (DH), donde el agua proveniente de la fuente termal a cierta temperatura pasa por la central, donde se eleva la temperatura si es necesario, enviando agua caliente a las viviendas, edificios e instalaciones para su uso.

Las ventajas que presenta esta instalación en cuanto al ahorro de la tarifa en calefacción y agua caliente sanitaria, reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, menores costes de mantenimiento, facilidad en el transporte y en el suministro del agua caliente a través de las tuberías a las viviendas y edificios, ausencia de combustible, seguridad y ausencia de ruidos, entre otras ventajas, hacen del DH un tipo de instalación muy atractiva y competitiva para contribuir al bienestar de las personas.

Además de la energía geotérmica se ha seleccionado como energía de apoyo para el aumento de temperatura de las aguas termales la biomasa. Se utilizará una caldera de biomasa porque presenta las ventajas de ser una energía barata,

cuyas emisiones de dióxido de carbono se consideran nulas, debido a que el CO<sub>2</sub> que se genera utilizando esta energía se vuelve a integrar en la naturaleza, es decir, las emisiones que emanan de la quema son reabsorbidas de nuevo mediante la fotosíntesis de plantas y árboles.

Se han analizado las zonas volcánicas y sísmicas responsables, en su mayoría, de la formación de aguas termales, así como las fuentes existentes de estas aguas de nueve países, cinco países pertenecientes a la Unión Europea, dos países europeos extracomunitarios, considerando que uno de ellos acaba de salir de la UE, un país fronterizo con Europa, situado en el norte de África y otro país extraeuropeo al otro lado del océano. Estos países son: Alemania, España, Francia, Irlanda, Portugal, Islandia, Reino Unido, Marruecos y Estados Unidos.

Por último, se han propuesto cuatro sistemas energéticos con el fin de conocer cuál sería para cada país el sistema óptimo en cuanto a la contribución aportada al usuario, la reducción de costes y de gastos al consumidor, las bajas emisiones de gases contaminantes, el aprovechamiento de los recursos existentes y la posibilidad de disminuir la pobreza energética. Los sistemas que se van a considerar para hacer esta comparación son: i) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando caldera de biomasa, ii) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando bomba de calor geotérmica, iii) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, con prospección, utilizando bomba de calor geotérmica y iv) sistema con paneles solares térmicos y gas natural. La comparación de estos cuatro sistemas en cuanto a los beneficios económicos y grado de bienestar reportados al consumidor, y también a las empresas, se lleva a cabo en el capítulo siguiente.



## **CAPÍTULO 6**

### **RENTABILIDAD SOCIAL Y ECONÓMICA DEL CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGÍA PARA CALEFACCIÓN Y ACS**

#### **Resumen**

De los cuatro sistemas energéticos propuestos en el capítulo anterior susceptibles de ser utilizados para calefacción y agua caliente sanitaria, dos de ellos son inéditos y están basados en la utilización de fuentes termales de alta temperatura con suficiente caudal. En este capítulo se van a contrastar los cuatro sistemas propuestos para verificar si son rentables social y económicamente, tanto para el consumidor como para el suministrador de energía. El contraste de estos cuatro proyectos energéticos se llevará a cabo en nueve países a lo largo de un ciclo vital de 25 años a partir de 2018. Para la evaluación de la rentabilidad social se han utilizado las técnicas del análisis coste-beneficio, haciendo especial hincapié en el efecto de las externalidades negativas causadas por las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo energético de cada uno de los cuatro sistemas. Bajo ciertas hipótesis microeconómicas se ha estimado la variación del bienestar de consumidores y productores mediante el cálculo de los respectivos excedentes netos, encontrando variaciones positivas y diversos grados de rentabilidad social en todos los países de la muestra para los cuatro sistemas propuestos. Finalmente se concluye el capítulo con un análisis económico-financiero sobre los cuatro sistemas energéticos, con razonables resultados en cuanto a su rentabilidad económica.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Una gran parte del consumo doméstico de energía se utiliza en calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria. En este capítulo se trata de evaluar si la demanda potencial de energía justifica el coste social que supone el establecimiento de estas nuevas fuentes de energía para el suministro de calefacción y agua caliente sanitaria en edificios dedicados básicamente a viviendas. Es decir, si el proyecto de poner en funcionamiento algunas fuentes de energía alternativas resulta o no ser socialmente rentable. Para ello en este trabajo se desarrolla y aplica con datos de la International Energy Agency (2019) un Análisis Coste-Beneficio (ACB) con algunas hipótesis simplificadoras. A la hora de efectuar este Análisis Coste-Beneficio, no se va a utilizar en el presente trabajo el método de computar los cambios de recursos reales ignorando las transferencias entre agentes, sino que se utilizará el procedimiento equivalente de calcular y sumar los excedentes de consumidores y productores, para posteriormente valorar la variación de los excedentes de los agentes que intervienen en el proceso. Si la variación de estos excedentes es positiva habrá aumentado el bienestar de consumidores y empresas respectivamente y, en caso contrario, disminuirá su bienestar. Después se analizará si, aun en el caso de variaciones positivas de los excedentes, los proyectos seleccionados de suministro de energía para calefacción y agua caliente sanitaria resultan o no ser socialmente rentables. A la hora de evaluar los excedentes se centrará el análisis en el excedente del consumidor por hogar y en el excedente del productor por cada hogar, no en términos agregados a nivel de mercado. Es evidente que éstos últimos se pueden conseguir multiplicando los excedentes por hogar, por el número de hogares de la economía. En este capítulo se lleva a cabo un análisis



comparativo de la rentabilidad social a lo largo de un período de 25 años a partir de 2018 entre cuatro sistemas de suministro energético para calefacción y agua caliente sanitaria que potencialmente pudieran ser aplicados en nueve de los veinte países de la muestra. Cinco países pertenecen actualmente a la Unión Europea: Alemania, Francia, Portugal, Irlanda y España; otros dos países son europeos pero extracomunitarios: Islandia y Reino Unido; además también se considera un país con el que la Unión Europea mantiene una política de vecindad: Marruecos; y por último también se analizará la posible rentabilidad de estos sistemas en Estados Unidos, como país de referencia.

## **2. BENEFICIOS SOCIALES EN EL CONSUMO DOMÉSTICO DE ENERGÍA**

Como se ha mencionado anteriormente, los sistemas energéticos seleccionados para comparar su posible rentabilidad social son cuatro: 1) Uso directo de aguas termales sin prospección, con temperatura incrementada mediante una bomba de calor eléctrica. 2) Energía geotérmica con prospección y temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica. 3) Uso directo de aguas termales sin prospección, con temperatura incrementada mediante caldera de biomasa y 4) Uso de gas natural incrementando la temperatura del agua mediante paneles solares térmicos. Por último, es relevante señalar que en este trabajo suponemos que la variación de los excedentes de consumidores y productores se debe exclusivamente a desplazamientos de la función de demanda de energía, causados por variaciones en la renta monetaria disponible del consumidor, esto es, causados por variaciones en niveles de precios, población y producción real de los países. Diversos organismos han llevado a cabo proyecciones de estas variables a muy largo plazo, hasta 2050, lo que nos

permite calcular su variación anual. Por el contrario, no podemos predecir con precisión las variables que subyacen a los desplazamientos de la oferta de energía, por lo que en este trabajo sólo nos limitaremos a examinar las consecuencias de los desplazamientos de la demanda, en general debidos a variaciones en la renta nominal per cápita. Bajo estos supuestos pasamos a analizar el grado de rentabilidad social de los cuatro sistemas energéticos mencionados en los nueve países de la submuestra a lo largo del período de 25 años 2018-2043.

Según Brealey y Myers (1996) y De Rus (2004), un proyecto será socialmente rentable cuando su valor social presente descontado o valor actualizado neto social (VANs) sea positivo. Considerando los beneficios (*BS*) y costes (*CS*) sociales, más el coste de la inversión inicial del proyecto, valorado todo ello al coste social de oportunidad, el VAN social de un proyecto se expresa como:

$$VAN_s = -I_0 + \sum_{t=1}^T \frac{BS_t - CS_t}{(1+r)^t} \quad (36)$$

Donde *t* es el orden de anualidad y *T* el número de años de vida útil del proyecto que, en el caso de las instalaciones energéticas, la Comisión Europea establece en 25 años (en nuestro caso, el período 2018-2043); *r* es la tasas social de descuento<sup>166</sup> que, en este trabajo, se obtiene a partir de Florio et al (2008), *European Commission* (2008), Azar (2009), *African Development Bank* (2016) y

---

<sup>166</sup> La tasa social de descuento refleja la preferencia social temporal y el coste de oportunidad del capital.

Addicott et al. (2020);  $I_0$  es el coste de la inversión inicial a realizar,  $BS_t$  son los beneficios sociales en el período  $t$ , que contienen los beneficios privados más las variaciones causadas en el bienestar de consumidores y productores y  $CS_t$  son los costes sociales en el período  $t$ . El valor de la variación del bienestar de los consumidores está comprendido entre la llamada variación equivalente y la variación compensatoria, siendo su valor equivalente al área contenida bajo la curva de demanda hicksiana o compensada. Dado que el error cometido al asimilar el valor de este área al área bajo la curva de demanda-precio o curva de demanda marshalliana, es muy pequeño, habitualmente la variación del bienestar de los consumidores se mide por la variación de su excedente neto, e igualmente, la variación del bienestar de los productores se mide por la variación del excedente neto del productor, que equivale al área situada entre la curva de oferta y el eje de ordenadas, siempre que el mercado posea funciones de oferta y demanda explícitas, medición que en el caso general y siguiendo a Varian (2010), coincide con la diferencia entre los ingresos y los costes variables, o también, con el área comprendida entre los costes marginales y los ingresos medios. Se define el beneficio social o excedente social ( $BS_t$ ) como la suma de los excedentes de los consumidores y de los productores a los que se agregan o sustraen los efectos externos:  $BS_t = EC_t + EP_t - efn$  (efectos externos negativos) aplicado en nuestro caso a un mercado donde  $e$  es la energía doméstica consumida en calefacción y agua caliente sanitaria medida en Kwh, siendo  $p$  el precio unitario o tarifa de la energía. Los precios, así como los costes de inversión y de mantenimiento se deben valorar al coste social de oportunidad, para lo cual se debieran calcular los precios sombra que reflejen el valor de los costes marginales, aunque en competencia imperfecta el precio resulta mayor

que el coste de oportunidad. Con el objeto de simplificar el cálculo de los excedentes de consumidores y productores, se va a suponer que la oferta y la demanda de mercado se pueden ajustar linealmente.

**Función de demanda de energía doméstica para calefacción y ACS:** No es trivial poder formalizar funciones de demanda que sean totalmente consistentes con la Teoría Microeconómica y que por tanto garanticen el cumplimiento de las propiedades que aseguren que la función de demanda proceda de una función de utilidad concreta, al tiempo que la función de demanda pueda ser fácilmente estimada a partir de datos. Algunos intentos se han llevado a cabo mediante la obtención de sistemas completos de demanda, como en el modelo de Rotterdam (Theil, 1965: 67-87), el modelo Translog (Christensen et al, 1975: 367-383), o el modelo AIDS (Deaton & Muellbauer, 1980: 312-326) y otros sistemas completos e incompletos de demanda. Dado que la idea subyacente de este trabajo es la determinación de los excedentes netos del productor y consumidor, resulta inconveniente en este trabajo el uso de estos modelos mencionados porque sus variables figuran en logaritmos y por tanto sus coeficientes a estimar no reflejan pendientes sino elasticidades.

En el presente capítulo supondremos por simplicidad funciones de demanda, no derivadas de la función de utilidad (2) sino lineales, derivadas en general de preferencias cuasi-lineales, lo que implica que el valor del excedente del consumidor coincida con el valor de la variación compensatoria y con el valor de la variación equivalente; significando esto que la variación del excedente del consumidor resulte en este caso ser una medida fiable de la variación del bienestar de los consumidores. Un trabajo pionero respecto a la obtención de

funciones de demanda lineales fue llevado a cabo por (Stone, 1954: 511-527) en base a la utilización de funciones de utilidad del tipo Stone-Geary en su modelo LES<sup>167</sup>. La demanda de energía doméstica para calefacción y agua caliente sanitaria se obtiene a partir de la maximización condicionada de la utilidad de los consumidores cuando eligen entre cantidades de un bien compuesto de consumo  $C$  y cantidades de energía  $e$ , considerando por tanto la energía como un bien. Asumimos que la función de utilidad del consumidor de energía doméstica para calefacción y ACS es de tipo cuasi-lineal:

$$U = C - \frac{b}{2} \left( \frac{a}{b} - e \right)^2 \quad (37)$$

donde  $a$  y  $b$  son dos parámetros positivos. Suponiendo que el precio del bien compuesto de consumo  $C$  es unitario y que el precio por unidad de  $e$  es  $p$ , la maximización de la utilidad  $U$  por parte del consumidor está condicionada a la restricción presupuestaria siguiente:  $m = C + pe$ , donde  $m$  es la renta nominal del consumidor. Ello implica que  $U'_e / U'_C = p/1 = a - be$ , por lo que la función inversa demanda-precio individual del consumidor de energía para calefacción y ACS será:

$$p = a - be \quad (38)$$

Función inversa de demanda-precio, que es lineal. El hecho de haber supuesto una función de utilidad cuasi-lineal tiene el efecto secundario de eliminar el efecto renta, por lo que en la función de demanda generalizada de energía no aparece

---

<sup>167</sup> *Linear Expenditure System* (Sistema Lineal de Gasto)

la renta monetaria disponible del consumidor ( $m$ ), aunque debemos suponer en esta investigación que el parámetro ( $a$ ) tenga que estar relacionado con ( $m$ ) ya que la renta nominal disponible es una variable capaz de desplazar la función inversa demanda-precio. Suponiendo que  $a = a(m)$  siendo  $b$  independiente de la renta monetaria disponible ( $m$ ), el desplazamiento causado a la demanda por oscilaciones de la renta es paralelo porque siendo lineal la función, la pendiente es constante ( $-b$ ), luego en este caso la pendiente sería independiente de la renta monetaria disponible ( $m$ ).

**Excedente del consumidor:** Siendo  $\bar{p}$  el precio concreto por unidad de energía y  $\bar{e}$  el consumo de energía para uso de agua caliente sanitaria y calefacción, por hogar, dada una función inversa demanda-precio lineal, el excedente neto del consumidor ( $EC$ ) por hogar será:  $EC = \frac{1}{2}(a - \bar{p}) \cdot \bar{e}$ , pero, a su vez el inverso de la elasticidad-precio de la demanda en el punto  $(\bar{p}, \bar{e})$  es:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{dp}{de} \cdot \frac{\bar{e}}{\bar{p}} = \frac{a - \bar{p}}{\bar{p}} \quad (39)$$

donde  $\eta$  es la elasticidad-precio de la demanda en el equilibrio del mercado de energía para calefacción y ACS, que supondremos idéntica a la elasticidad-precio de la demanda de energía en el equilibrio del mercado de energía. En la realidad las empresas suministradoras de energía no suelen funcionar en régimen de competencia perfecta sino, por el contrario, suelen ser monopolios u oligopolios que se reparten el espacio y a veces discriminan precios, sobre todo en los casos de empresas suministradoras de electricidad o gas natural. Galitovic et al. (2010), U.S. Energy Information Administration (2014), Atalia et al. (2016),

y Labandeira et al. (2017a) han sintetizado los coeficientes de elasticidad  $\varepsilon$  de la función de demanda de energía a la altura de los costes marginales ( $C'_e$ ) de la energía, para varios países del mundo (Tabla 9). Supondremos, sólo por simplicidad, que estos coeficientes  $\varepsilon$  son constantes para cada país a lo largo del tiempo e idénticos a los coeficientes de elasticidad-precio de la demanda de energía para calefacción y ACS a la altura de los costes marginales  $C'_e$ . Las empresas suministradoras de energía maximizan sus beneficios donde el coste marginal iguala al ingreso marginal ( $C'_e = I'_e$ ). Dado que la demanda es lineal, la función de ingresos marginales también será lineal. Si además suponemos constantes los costes marginales, al equilibrio ( $C'_e = I'_e$ ) corresponderá un punto de oferta justamente en el precio medio entre el precio de reserva y el corte con el coste marginal, donde la elasticidad-precio de la demanda era  $\varepsilon$  (ver Figura 4). Esto causa que la elasticidad-precio de la demanda a la altura del punto de Cournot (es decir, en el equilibrio) sea  $\eta = 1 + 2\varepsilon$ . Por tanto, sustituyendo  $\eta$  por su valor en (39) tenemos que para el consumidor medio:  $EC = \frac{\bar{p} \cdot \bar{e}}{2\eta} = \frac{\bar{p} \cdot \bar{e}}{2(1 + 2\varepsilon)}$ .

Por otra parte, el gasto por hogar en calefacción y agua caliente sanitaria tiende a ser para cada país una proporción constante ( $\lambda$ ) de la renta monetaria del hogar, es decir:

$$\bar{p} \cdot \bar{e} = \lambda \cdot H \cdot m \quad (40)$$

donde  $H$  es el número de miembros del hogar en cada país, que por simplicidad suponemos constante a lo largo del tiempo;  $\lambda$  el porcentaje de gasto en calefacción y agua caliente sanitaria por hogar, que también suponemos constante, y  $m$  la renta nominal individual. El valor de estos coeficientes  $\lambda$  para

cada país figura en la Tabla 9.

**Tabla 9: Datos por país (2018)**

Country	$\lambda$	H	$m_1$ (€2018) percapita	r	$\mu =$ 1+dm/m	dm (€)	$\varepsilon$	Elect Pric€ /kWh	NGas Pric€ /kWh
Germany	0,01028	2,0	44289,34	0,030	1,04668	2067,34	0,236	0,312	0,061
Iceland	0,00533	2,6	68886,64	0,035	1,04551	3135,04	0,265	0,196	0,065
Ireland	0,00646	2,6	68424,99	0,040	1,01807	1237,60	0,285	0,237	0,067
Portugal	0,01969	2,5	21089,98	0,050	1,03117	657,38	0,310	0,241	0,075
Spain	0,01364	2,6	28264,15	0,060	1,03646	1030,48	0,203	0,224	0,078
U.K.	0,00743	2,3	38457,42	0,035	1,02854	1097,64	0,200	0,203	0,049
France	0,00846	2,2	39067,03	0,040	1,02152	840,57	0,510	0,179	0,064
Morocco	0,05811	4,6	3053,41	0,080	1,03252	191,00	0,265	0,110	0,066
USA	0,00630	2,3	57110,69	0,030	1,05739	3277,79	0,250	0,199	0,041

Fuente: Elaboración propia a partir de Eurostat Statistics-explained (2019).

Considerando la ecuación (40), en ausencia de externalidades, el excedente del consumidor medio referido a cada hogar y en un momento  $t$ , en principio se puede expresar en función de la renta nominal del consumidor, como:

$$EC = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda \cdot H \cdot m_t}{(1 + 2\varepsilon)},$$

de forma que una variación de  $m$  causa una variación en el

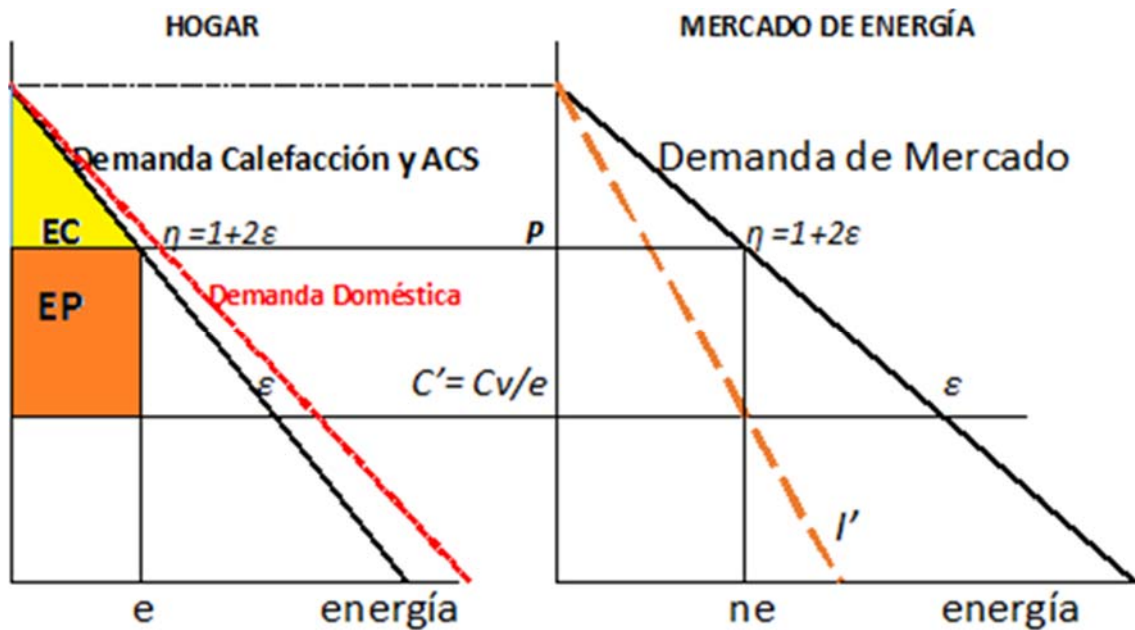
mismo sentido en  $EC$ , ya que se desplaza paralelamente la función demanda-precio a causa de la variación de  $m$ . Ahora bien, en esta investigación suponemos dos cuestiones con respecto a la elasticidad-precio de la demanda de energía: 1) Que la elasticidad-precio de la demanda individual de energía en el equilibrio es idéntica a la elasticidad-precio de la demanda de mercado en el equilibrio. Para ello debemos suponer que las demandas individuales son lineales y que tienen el mismo precio de reserva que la demanda de mercado (Ver Figura 55). 2) Que la elasticidad-precio de la función de demanda individual de energía es constante, no a lo largo de ella, sino en el punto de equilibrio, cualquiera que sea el posible desplazamiento de la demanda causado por



alteraciones en la renta per cápita nominal  $m$ . Para que eso pueda ser posible y se conserve la elasticidad ante cualquier desplazamiento paralelo de la demanda se debe cumplir una relación lineal de puntos de oferta entre  $\bar{p}$  y  $\bar{e}$ , que pase por el origen. Es decir, supondremos que se cumple:

$$\bar{p} = \beta \cdot \bar{e} \quad (41)$$

Donde asumimos como constante el parámetro  $\beta$ , cuyo valor medio a partir de los datos resulta ser de 0,00002633025639, que es el cociente entre el precio medio ponderado del kWh en los nueve países ( $\bar{p} = 0,11\text{€}$ ) y el consumo medio anual por hogar de energía dedicada a calefacción y agua caliente sanitaria ( $\bar{e} = 4236,8 \text{ kWh}$ ), una vez considerados los coeficientes de rendimiento de cada sistema energético.



**Figura 55: Excedentes del consumidor y del productor por hogar.**

Fuente: Elaboración propia. Nota: Excedente del consumidor (EC) y del productor (EP).

**Excedente del productor:** La producción y abastecimiento de energía tiene un coste marginal  $C'_e$  que hemos supuesto constante. Si se supone el coste marginal constante ( $k$ ), entonces:  $k = C'_e = \frac{dC_v}{de}$ , donde  $C_v$  es el coste variable.

Es decir:  $\int dC_v = k \int de$ , de donde  $C_v = k \cdot e + c$ , donde  $c$  es la constante de integración. Pero el coste variable sólo debe depender de  $e$ , luego:  $c = 0$ . Eso implica que  $C_v = k \cdot e$ , por lo que el coste variable medio ( $C_v^*$ ) en este caso será:

$\frac{C_v}{e} = k = C'_e$ . Desarrollando la ecuación de equilibrio de mercado ( $C'_e = I'_e$ ),

considerando la elasticidad media demanda-precio  $\bar{\eta}$ , podemos conocer el valor

del coste marginal de cada sistema energético:  $C'_e = \left(1 - \frac{1}{\eta}\right) p_j$  donde  $p_j$  es el

precio medio del kWh de cada tipo de energía. Dado que hemos supuesto costes

marginales constantes, estos coinciden con los costes variables medios ( $C_v^*$ ),

cuyo valor estimado para cada sistema figura en la segunda columna de la Tabla

9.

Se define el excedente del productor como la diferencia entre los ingresos y los

costes variables:  $EP = \bar{p} \cdot \bar{e} - C_v = \bar{p} \cdot \bar{e} - \left(\frac{C_v}{\bar{e}}\right) \bar{e}$ ; es decir:  $EP = \bar{p} \cdot \bar{e} - C_v^* \cdot \bar{e}$ . Pero

por (40), tenemos que:

$$EP = \lambda \cdot H \cdot m - C_v^* \cdot \bar{e} \quad (42)$$

Al mismo tiempo, por las ecuaciones (40) y (41) tenemos que:  $\bar{e} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m}{\beta}}$ ; y

sustituyéndolo en (42) suministra el valor instantáneo del excedente del

productor en el período  $t$ , en función de la renta nominal del consumidor:

$$EP = \lambda \cdot H \cdot m_t - C_v^* \cdot \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m_t}{\beta}} \quad (43)$$

**Beneficios Sociales:** Se define el beneficio social como:  $BS_t = EC_t + EP_t - efn$ ,

donde  $efn$  son los efectos externos negativos. Estos efectos externos negativos están en función de la cantidad consumida de energía; es decir:  $efn = \rho \cdot \bar{e} =$

$\rho \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m}{\beta}}$ , donde  $\rho$  es un parámetro positivo que expresa el valor monetario

de las emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh producido. Los costes sociales ( $CS_t$ ) son básicamente costes de mantenimiento y operación ( $cmo$ ). Estos costes sociales en mantenimiento y operación ( $cmo$ ) se considerarán constantes en esta investigación y están recogidos para cada sistema energético, junto con los parámetros  $\rho$ , en la Tabla 9. También están recogidas en esta tabla las inversiones iniciales ( $I_0$ ) a que debe hacer frente el consumidor según el sistema energético que desee instalar, así como los coeficientes de rendimiento de cada sistema energético (COP), que indican la necesidad de utilizar más o menos kWh para cumplimentar las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria por hogar. A mayor COP, mayor rendimiento energético y por tanto menor necesidad de kWh, lo que se refleja en la columna sexta de la Tabla 10.

**Tabla 10: Datos de los sistemas energéticos**

SISTEMAS ENERGÉTICOS	Cv* (€/Kwh)	ρ emiss €/Kwh	Io (€)	cmo medio €/año	Kwh/ año- hogar	COP
1) Termal+Bomba de Calor (Electrica)	0,07461	0,0629	5294,50	404,65	1406,98	5,01
2) Geotérmica+Bomba de Calor (Eléctrica)	0,07461	0,0629	10584,50	404,65	1406,98	5,01
3) Termal+Biomasa (Biomasa)	0,00917	0,0188	7004,00	302,73	7420,00	0,95
4) Gas Natural+Pan. Solares Térmicos (Gas Natural)	0,02383	0,0337	3744,24	556,40	6713,33	1,05

Fuente: Elaboración propia.

Por tanto, el término  $(BS_t - CS_t)$  que figura en el VANs se puede expresar en función de la renta per cápita  $m_t$  correspondiente al período  $t$ , como sigue:

$$BS_t - CS_t = \lambda \cdot H \cdot m_t \left(1 + \frac{1}{2\varepsilon}\right) - (C_v^* + \rho) \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m_t}{\beta}} - cmo \quad (44)$$

donde suponemos que todos los parámetros son independientes de la renta monetaria individual  $m_t$  del período correspondiente.

Si asumimos que las externalidades negativas debidas a la contaminación producida en el proceso de consumo de energía para calefacción y refrigeración más agua caliente sanitaria se repercuten básicamente en el consumidor, podemos expresar con más precisión el excedente inicial del consumidor medio por hogar  $(EC_1)$  en función de  $m$ , como:

$$EC_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda \cdot H \cdot m_1}{(1 + 2\varepsilon)} - \rho \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m_1}{\beta}} \quad (45)$$

Donde  $EC_1$  es el excedente inicial y  $m_1$  la renta per cápita individual inicial. El excedente inicial del hogar consumidor también lo podemos expresar en función del precio y la cantidad de energía demandada considerando (39), de la siguiente forma:

$$EC_1 = e \left( \frac{p}{2(1+2\varepsilon)} - \rho \right) \quad (46)$$

Las formulaciones (45) y (46) suministran los valores de los excedentes iniciales del consumidor para el hogar medio de cada uno de los nueve países tratados en esta investigación, lo que se refleja en la segunda columna de la Tabla 11. Por otra parte, la función de demanda energía, que hemos supuesto lineal, se traslada por efecto de variaciones en la renta nominal del consumidor y en este trabajo la variación de los excedentes del consumidor y productor se deben exclusivamente a este motivo.

Por lo tanto, el excedente del consumidor variará a lo largo del tiempo con la renta nominal. Conociendo  $m_1$  y  $m_t$ , respectivamente las rentas per cápita nominales en el período inicial y en el período  $t$  a partir de las proyecciones para muy largo plazo de los niveles de precios, rentas reales per cápita y población, es decir, las proyecciones hasta el año 2050 del GDP nominal per cápita llevadas a cabo por *The Economist Intelligence Unit* (2015), Hawksworth et al. (2015) y *OECD Economic Outlook* (2018), podemos calcular para cada país una tasa de crecimiento de la renta nominal per capita, de forma que llamando  $\mu_i = 1 + (dm/m)_i$  podemos expresar para cada país, que:  $m_t = \mu m_{t-1} = \mu^{t-1} m_1$ , es decir que:

$$m_t = \left( \frac{m_1}{\mu} \right) \mu^t, \text{ así como también: } \sqrt{m_t} = \sqrt{\frac{m_1}{\mu}} \cdot \sqrt{\mu^t} \quad (47)$$

El valor del coeficiente  $\mu$  para cada país de la muestra se encuentra calculado en la Tabla 8. La aplicación de los resultados (47) nos permite calcular en términos de valor presente descontado las variaciones totales sufridas por los excedentes ( $EC$ ) de consumidores y productores ( $EP$ ), por hogar:

$$\sum_{t=1}^{25} \Delta(EC) = \frac{\lambda \cdot H}{2(1+2 \cdot \varepsilon)} (dm) \cdot \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{(1+r)^t} - \frac{\rho \cdot (dm)}{2} \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot \mu}{\beta \cdot m_1}} \cdot \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{[(1+r)\sqrt{\mu}]^t} \quad (48)$$

$$\sum_{t=1}^{25} \Delta(EP) = \lambda \cdot H (dm) \cdot \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{(1+r)^t} - \frac{C_V^* \cdot (dm)}{2} \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot \mu}{\beta \cdot m_1}} \cdot \sum_{t=1}^{25} \frac{1}{[(1+r)\sqrt{\mu}]^t} \quad (49)$$

Donde a partir de las proyecciones a largo plazo mencionadas, suponemos para cada país que el incremento anual de la renta nominal per cápita ( $dm$ ) es constante. Los resultados para los nueve países de la muestra se encuentran respectivamente en las columnas 4 y 7 de la Tabla 11.

**Tabla 11: Variación de los excedentes por hogar (2018-43)**

COUNTRIES	EXCEDENTE DEL CONSUMIDOR			EXCEDENTE DEL PRODUCTOR		
	Initial	Final	Variation	Initial	Final	Variation
<b>GERMANY</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	57,17	188,72	<b>131,55</b>	334,56	932,67	<b>598,11</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	57,17	188,72	<b>131,55</b>	334,56	932,67	<b>598,11</b>
<i>Term+Biomasa</i>	198,83	414,47	<b>215,64</b>	120,18	843,07	<b>722,89</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	111,19	298,42	<b>187,23</b>	281,08	976,74	<b>694,94</b>
<b>ICELAND</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	6,16	125,55	<b>119,39</b>	100,29	680,14	<b>579,85</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	6,16	125,55	<b>119,39</b>	100,29	680,14	<b>579,85</b>
<i>Term+Biomasa</i>	198,62	398,27	<b>199,65</b>	126,06	825,01	<b>698,95</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	108,93	281,47	<b>172,54</b>	281,42	953,69	<b>672,27</b>
<b>IRELAND</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	18,01	67,68	<b>49,67</b>	229,46	490,55	<b>261,09</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	18,01	67,68	<b>49,67</b>	229,46	490,55	<b>261,09</b>
<i>Term+Biomasa</i>	241,98	329,37	<b>87,39</b>	152,77	468,85	<b>317,08</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	143,52	218,17	<b>74,65</b>	292,49	597,03	<b>304,54</b>
<b>PORTUGAL</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	16,37	81,76	<b>65,39</b>	234,81	601,52	<b>366,71</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	16,37	81,76	<b>65,39</b>	234,81	601,52	<b>366,71</b>
<i>Term+Biomasa</i>	202,40	320,65	<b>118,25</b>	137,53	582,67	<b>445,14</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	108,83	209,22	<b>100,39</b>	342,84	770,41	<b>427,57</b>
<b>SPAIN</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	20,43	109,14	<b>88,71</b>	209,90	585,29	<b>375,39</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	20,43	109,14	<b>88,71</b>	209,90	585,29	<b>375,39</b>
<i>Term+Biomasa</i>	240,52	383,54	<b>143,02</b>	132,66	588,63	<b>455,97</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	148,58	273,25	<b>124,67</b>	364,99	802,91	<b>437,92</b>
<b>UK</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	13,41	59,55	<b>46,14</b>	180,36	413,38	<b>233,02</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	13,41	59,55	<b>46,14</b>	180,36	413,38	<b>233,02</b>
<i>Term+Biomasa</i>	140,90	232,15	<b>91,25</b>	85,79	385,75	<b>299,96</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	66,44	142,45	<b>76,01</b>	168,29	453,26	<b>284,97</b>
<b>FRANCE</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	17,65	28,06	<b>10,41</b>	138,15	323,14	<b>184,99</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	17,65	28,06	<b>10,41</b>	138,15	323,14	<b>184,99</b>
<i>Term+Biomasa</i>	81,19	126,72	<b>45,53</b>	95,21	332,31	<b>237,10</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	2,89	36,55	<b>33,66</b>	274,37	499,80	<b>225,43</b>
<b>MOROCCO</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	6,15	46,77	<b>40,62</b>	49,79	274,46	<b>224,67</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	6,15	46,77	<b>40,62</b>	49,79	274,46	<b>224,67</b>
<i>Term+Biomasa</i>	162,06	258,06	<b>78,18</b>	107,30	387,71	<b>280,41</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	79,10	144,59	<b>65,49</b>	281,42	549,35	<b>267,93</b>
<b>USA</b>						
<i>Termal+Bomb</i>	5,02	131,89	<b>126,87</b>	292,48	916,37	<b>623,89</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	5,02	131,89	<b>126,87</b>	292,48	916,37	<b>623,89</b>
<i>Term+Biomasa</i>	170,51	391,42	<b>220,91</b>	681,38	1444,82	<b>763,44</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	86,96	276,10	<b>189,14</b>	694,13	1426,31	<b>732,18</b>

Fuente: Elaboración propia.

La medida de los aumentos en el bienestar de consumidores y productores viene dada por la suma total de los excedentes a lo largo de los 25 años sometidos a evaluación (2018-2043). Utilizando las ecuaciones (47), el valor presente descontado de la suma o acumulación de todos los excedentes del consumidor viene dada por la siguiente expresión:

$$\sum_{t=1}^{25} EC_t = \frac{\lambda H m_1}{2\mu(1+2\varepsilon)} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\mu}{1+r} \right)^t - \rho \sqrt{\frac{\lambda H m_1}{\beta \cdot \mu}} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1+r} \right)^t \quad (50)$$

Cuya aplicación suministra los resultados recogidos en la columna 7 de la Tabla 12. De la misma forma, la suma o acumulación de todos los excedentes del productor viene dada por la expresión:

$$\sum_{t=1}^{25} EP_t = \frac{\lambda H m_1}{\mu} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\mu}{1+r} \right)^t - C_v^* \sqrt{\frac{\lambda H m_1}{\beta \cdot \mu}} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1+r} \right)^t \quad (51)$$

Los resultados se encuentran en la columna 8 de la Tabla 12. Una vez comprobado qué variaciones de los excedentes de consumidores y productores son positivas, hace falta saber si aun así los proyectos son socialmente rentables. Para ello se debe calcular cada VAN social en términos de valor presente descontado. Utilizando las ecuaciones (47), el cálculo del VAN social arroja la siguiente expresión:

$$VAN_s = -I_0 + \lambda H \left( 1 + \frac{1}{2(1+2 \cdot \varepsilon)} \right) \frac{m_1}{\mu} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\mu}{1+r} \right)^t - (\rho + C_v^*) \sqrt{\frac{\lambda H m_1}{\beta \cdot \mu}} \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{\sqrt{\mu}}{1+r} \right)^t - cmo \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{1}{1+r} \right)^t$$



(52)

El valor de esta expresión debe ser positivo para poder afirmar que el proyecto puede ser aceptado por ser socialmente rentable. Los resultados de esta aplicación para los países de la muestra y los cuatro sistemas energéticos se encuentran en la segunda columna de la Tabla 12, en cuya quinta columna se ha incluido también el ratio Beneficio/Coste (*BCR*). Otro criterio para verificar si se acepta o rechaza el proyecto se basa en el cálculo de la tasa interna de retorno (*TIR*) del proyecto.

La *TIR*<sup>168</sup> es la tasa de descuento *r* que resulta de igualar a cero la ecuación genérica (36) o la (52):

$$0 = -I_0 + \lambda H \left(1 + \frac{1}{2(1+2 \cdot \varepsilon)}\right) \frac{m_1}{\mu} \sum_{t=1}^{25} \left(\frac{\mu}{1+r}\right)^t - (\rho + C_v^*) \sqrt{\frac{\lambda H m_1}{\beta \cdot \mu}} \sum_{t=1}^{25} \left(\frac{\sqrt{\mu}}{1+r}\right)^t - cmo \sum_{t=1}^{25} \left(\frac{1}{1+r}\right)^t$$

(53)

Los resultados de la *TIR* para los países de la muestra y los cuatro sistemas energéticos se encuentran en la columna 3 de la Tabla 11, en cuya última columna se ha incluido el índice de Lerner  $\left(L = \frac{p - C_e'}{p}\right)$ , que refleja el poder de mercado de las empresas suministradoras de energía, correspondientes.

Para que se pueda aceptar un proyecto como socialmente rentable la *TIR* resultante debe ser mayor o igual que la tasa social de descuento correspondiente. Por lo tanto, los criterios a seguir para ver si se acepta o no un

<sup>168</sup> Si *t* es suficientemente elevado se puede aproximar la *TIR* por medio de la siguiente expresión:

$$TIR \cong \frac{\lambda \cdot H \cdot m_1}{I_0} \left(1 + \frac{1}{2(1+2 \cdot \varepsilon)}\right) - \frac{(\rho + C_v^*)}{I_0} \sqrt{\frac{\lambda \cdot H \cdot m_1}{\beta}} - \frac{cmo}{I_0}$$

proyecto son: 1)  $VANs > 0$ , junto con 2)  $TIR > r$ . Si hay contradicción entre los dos criterios prima el criterio  $VANs > 0$  para que el proyecto sea aceptado por ser socialmente rentable.

Este trabajo no incluye un análisis de sensibilidad de los parámetros. Los resultados del VAN social y el valor de los excedentes de los sistemas energéticos socialmente rentables por países, se encuentran en la Tabla 12 ordenados por orden de magnitud.

### **3. RESULTADOS DEL ANÁLISIS COSTE-BENEFICIO**

Los resultados recogidos en la Tabla 9 indican que las variaciones de los excedentes individuales de consumidores y productores resultan positivas en todos los casos. Esto implica que, a lo largo de 25 años proyectados, entre 2018 y 2043, se prevén aumentos en el bienestar de consumidores y productores en todos los países de la muestra sea cual sea el sistema energético, de entre los cuatro considerados, que se decida implantar.

Para todos los sistemas energéticos considerados, las variaciones positivas más elevadas en ambos excedentes tienen lugar en Estados Unidos, Alemania e Islandia, teniendo lugar las menores variaciones en Francia. Exactamente ocurre lo mismo en cuanto a la suma de los excedentes del consumidor, según muestran las Tablas 12 y 13.

**Tabla 12: Resultados del análisis coste-beneficio**

	<b>VAN (€)</b>	<b>TIR</b>	Tasa Social de descuento	<b>BCR</b>	Excedente del Consum (€) Accumulado	Excedente del Productor (€) Accumulado	Índice de Lerner
<b>GERMANY</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>5689,99</b>	<b>0,07652&gt;</b>	0,03	<b>1,19</b>	<b>1127,06</b>	<b>9923,51</b>	0,755
<i>Geoter+Bomb</i>	<b>399,99</b>	<b>0,03221&gt;</b>	0,03	<b>1,01</b>	<b>1127,06</b>	<b>9923,51</b>	0,755
<i>Term+Biomasa</i>	<b>20194,52</b>	<b>0,15885&gt;</b>	0,03	<b>2,27</b>	<b>6689,46</b>	<b>7330,00</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>15140,49</b>	<b>0,17355&gt;</b>	0,03	<b>1,72</b>	<b>4725,46</b>	<b>10096,94</b>	0,605
<b>ICELAND</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>5297,48</b>	<b>0,08072&gt;</b>	0,035	<b>1,18</b>	<b>589,21</b>	<b>5249,73</b>	0,508
<i>Geoter+Bomb</i>	<b>7,48</b>	<b>0,03504&gt;</b>	0,035	<b>1,01</b>	<b>589,21</b>	<b>5249,73</b>	0,508
<i>Term+Biomasa</i>	<b>19087,75</b>	<b>0,16404&gt;</b>	0,035	<b>2,23</b>	<b>6152,79</b>	<b>7012,37</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>14437,18</b>	<b>0,18111&gt;</b>	0,035	<b>1,71</b>	<b>4273,03</b>	<b>10339,98</b>	0,639
<b>IRELAND</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>1384,36</b>	<b>0,05820&gt;</b>	0,04	<b>1,06</b>	<b>331,02</b>	<b>6832,38</b>	0,689
<i>Geoter+Bomb</i>	-3905,64	0,00768<	0,04	0,88	331,02	6832,38	0,689
<i>Term+Biomasa</i>	<b>13660,12</b>	<b>0,16531&gt;</b>	0,04	<b>1,92</b>	<b>4771,09</b>	<b>6209,51</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>9612,62</b>	<b>0,18719&gt;</b>	0,04	<b>1,51</b>	<b>3085,41</b>	<b>9308,61</b>	0,646
<b>PORTUGAL</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>1093,56</b>	<b>0,06332&gt;</b>	0,05	<b>1,04</b>	<b>296,11</b>	<b>2000,62</b>	0,691
<i>Geoter+Bomb</i>	-4196,44	0,01705<	0,05	0,86	296,11	2000,62	0,691
<i>Term+Biomasa</i>	<b>12106,49</b>	<b>0,15936&gt;</b>	0,05	<b>1,86</b>	<b>4256,20</b>	<b>5672,46</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>8745,39</b>	<b>0,17549&gt;</b>	0,05	<b>1,49</b>	<b>2721,11</b>	<b>9224,62</b>	0,682
<b>SPAIN</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>1478,07</b>	<b>0,07812&gt;</b>	0,06	<b>1,06</b>	<b>625,17</b>	<b>5511,32</b>	0,666
<i>Geoter+Bomb</i>	-3811,93	0,02995<	0,06	0,87	625,17	5511,32	0,666
<i>Term+Biomasa</i>	<b>11314,75</b>	<b>0,16648&gt;</b>	0,06	<b>1,84</b>	<b>4748,87</b>	<b>5165,49</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>8567,49</b>	<b>0,18657&gt;</b>	0,06	<b>1,53</b>	<b>3355,60</b>	<b>8658,82</b>	0,695
<b>UK</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	-5092,73	-0,044<	0,035	0,79	267,16	4430,56	0,661
<i>Geoter+Bomb</i>	-10382,73	-0,070<	0,035	0,66	267,16	4430,56	0,661
<i>Term+Biomasa</i>	<b>5349,96</b>	<b>0,08416&gt;</b>	0,035	<b>1,36</b>	<b>3470,43</b>	<b>5231,21</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>1602,74</b>	<b>0,05920&gt;</b>	0,035	<b>1,09</b>	<b>2045,99</b>	<b>5881,56</b>	0,523
<b>FRANCE</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	-6476,75	-0,101<	0,04	0,73	286,14	3236,26	0,575
<i>Geoter+Bomb</i>	-11766,75	-0,120<	0,04	0,60	286,14	3236,26	0,575
<i>Term+Biomasa</i>	<b>3436,54</b>	<b>0,07569&gt;</b>	0,04	<b>1,24</b>	<b>1796,58</b>	<b>5000,42</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>26,56</b>	<b>0,04048&gt;</b>	0,04	<b>1,01</b>	<b>432,24</b>	<b>7180,94</b>	0,657
<b>MOROCCO</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	-3669,95	0,01706<	0,08	0,81	107,41	1787,91	0,322
<i>Geoter+Bomb</i>	-8959,95	-0,018<	0,08	0,63	107,41	1787,91	0,322
<i>Term+Biomasa</i>	<b>3196,24</b>	<b>0,12020&gt;</b>	0,08	<b>1,26</b>	<b>2510,09</b>	<b>3777,52</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>1685,45</b>	<b>0,11554&gt;</b>	0,08	<b>1,12</b>	<b>1494,20</b>	<b>5463,55</b>	0,638
<b>USA</b>							
<i>Termal+Bomb</i>	<b>7055,66</b>	<b>0,07878&gt;</b>	0,03	<b>1,23</b>	<b>949,44</b>	<b>7231,08</b>	0,626
<i>Geoter+Bomb</i>	<b>1765,66</b>	<b>0,03701&gt;</b>	0,03	<b>1,05</b>	<b>949,44</b>	<b>7231,08</b>	0,626
<i>Term+Biomasa</i>	<b>21641,67</b>	<b>0,15482&gt;</b>	0,03	<b>2,37</b>	<b>6833,37</b>	<b>16466,95</b>	0,637
<i>Gas Nat+Solar</i>	<b>16776,36</b>	<b>0,16644&gt;</b>	0,03	<b>1,81</b>	<b>4846,38</b>	<b>6809,84</b>	0,422

Fuente: Elaboración propia.

En relación con las sumas de los excedentes del productor, también resultan más elevadas en Estados Unidos, Alemania e Islandia, pero las menos elevadas se obtienen en Marruecos. La variación de los excedentes de consumidores y productores con el sistema de uso directo de aguas termales sin prospección y temperatura incrementada mediante caldera de biomasa es siempre la mayor de entre los sistemas energéticos considerados en esta investigación, seguida del uso del gas natural. Sin embargo, los dos sistemas que utilizan electricidad, es decir, los que utilizan bombas de calor, ofrecen menores variaciones en ambos excedentes.

**Tabla 13: Sistemas socialmente rentables: VAN y excedentes por magnitud.**

VAN SOCIAL (€)		Excedente del Consumidor (€) acumulado por hogar		Excedente del Productor (€) Acumulado por hogar	
<i>US-Term+Biomasa</i>	<b>21641,67</b>	<i>US-Term+Biomasa</i>	<b>6833,37</b>	<i>US-Term+Biomasa</i>	<b>16466,95</b>
<i>GE-Term+Biomasa</i>	<b>20194,52</b>	<i>GE-Term+Biomasa</i>	<b>6689,46</b>	<i>IC-Gas Nat+Solar</i>	<b>10339,98</b>
<i>IC-Term+Biomasa</i>	<b>19087,75</b>	<i>IC-Term+Biomasa</i>	<b>6152,79</b>	<i>GE-Gas Nat+Solar</i>	<b>10096,94</b>
<i>US-Gas Nt+Solar</i>	<b>16776,36</b>	<i>US-Gas Nt+Solar</i>	<b>4846,38</b>	<i>GE-Termal+Bomb</i>	<b>9923,51</b>
<i>GE-Gas Nt+Solar</i>	<b>15140,49</b>	<i>IR-Term+Biomasa</i>	<b>4771,09</b>	<i>GE-Geoter+Bomb</i>	<b>9923,51</b>
<i>IC-Gas Nt+Solar</i>	<b>14437,18</b>	<i>SP-Term+Biomasa</i>	<b>4748,87</b>	<i>IR-Gas Nat+Solar</i>	<b>9308,61</b>
<i>IR-Term+Biomasa</i>	<b>13660,12</b>	<i>GE-Gas Nt+Solar</i>	<b>4725,46</b>	<i>PT-Gas Nat+Solar</i>	<b>9224,62</b>
<i>PT-Term+Biomasa</i>	<b>12106,49</b>	<i>IC-Gas Nt+Solar</i>	<b>4273,03</b>	<i>SP-Gas Nat+Solar</i>	<b>8658,82</b>
<i>SP-Term+Biomasa</i>	<b>11314,75</b>	<i>PT-Term+Biomasa</i>	<b>4256,20</b>	<i>GE-Term+Biomasa</i>	<b>7330,00</b>
<i>IR-Gas Nt+Solar</i>	<b>9612,62</b>	<i>UK-Term+Biomasa</i>	<b>3470,43</b>	<i>US-Termal+Bomb</i>	<b>7231,08</b>
<i>PT-Gas Nt+Solar</i>	<b>8745,39</b>	<i>SP-Gas Nt+Solar</i>	<b>3355,60</b>	<i>US-Geoter+Bomb</i>	<b>7231,08</b>
<i>SP-Gas Nt+Solar</i>	<b>8567,49</b>	<i>IR-Gas Nt+Solar</i>	<b>3085,41</b>	<i>FR-Gas Nat+Solar</i>	<b>7180,94</b>
<i>US-Term+Bomb</i>	<b>7055,66</b>	<i>PT-Gas Nt+Solar</i>	<b>2721,11</b>	<i>IC-Term+Biomasa</i>	<b>7012,37</b>
<i>GE-Term+Bomb</i>	<b>5689,99</b>	<i>MO-Term+Biomasa</i>	<b>2510,09</b>	<i>IR-Termal+Bomb</i>	<b>6832,38</b>
<i>UK-Term+Biomasa</i>	<b>5349,96</b>	<i>UK-Gas Nt+Solar</i>	<b>2045,99</b>	<i>USGasNat+Solar</i>	<b>6809,84</b>
<i>IC-Termal+Bomb</i>	<b>5297,48</b>	<i>FR-Term+Biomasa</i>	<b>1796,58</b>	<i>IR-Term+Biomasa</i>	<b>6209,51</b>
<i>FR-Term+Biomasa</i>	<b>3436,54</b>	<i>MO-Gas Nt+Solar</i>	<b>1494,20</b>	<i>UKGasNat+Solar</i>	<b>5881,56</b>
<i>MO-Term+Biomasa</i>	<b>3196,24</b>	<i>GE-Termal+Bomb</i>	<b>1127,06</b>	<i>PT-Term+Biomasa</i>	<b>5672,46</b>
<i>US-Geoter+Bomb</i>	<b>1765,66</b>	<i>GE-Geoter+Bomb</i>	<b>1127,06</b>	<i>SP-Termal+Bomb</i>	<b>5511,32</b>
<i>MO-Gas Nt+Solar</i>	<b>1685,45</b>	<i>US-Termal+Bomb</i>	<b>949,44</b>	<i>MOGas Nat+Solar</i>	<b>5463,55</b>
<i>UK-Gas Nt+Solar</i>	<b>1602,74</b>	<i>US-Geoter+Bomb</i>	<b>949,44</b>	<i>IC-Termal+Bomb</i>	<b>5249,73</b>
<i>SP-Termal+Bomb</i>	<b>1478,07</b>	<i>SP-Termal+Bomb</i>	<b>625,17</b>	<i>IC-Geoter+Bomb</i>	<b>5249,73</b>
<i>IR-Termal+Bomb</i>	<b>1384,36</b>	<i>IC-Termal+Bomb</i>	<b>589,21</b>	<i>UK-Term+Biomasa</i>	<b>5231,21</b>
<i>PT-Termal+Bomb</i>	<b>1093,56</b>	<i>IC-Geoter+Bomb</i>	<b>589,21</b>	<i>SP-Term+Biomasa</i>	<b>5165,49</b>
<i>GE-Geoter+Bomb</i>	<b>399,99</b>	<i>FR-Gas Nt+Solar</i>	<b>432,24</b>	<i>FR-Term+Biomasa</i>	<b>5000,42</b>
<i>FR-Gas Nt+Solar</i>	<b>26,56</b>	<i>IR-Termal+Bomb</i>	<b>331,02</b>	<i>MO-Term+Biomasa</i>	<b>3777,52</b>
<i>IC-Geoter+Bomb</i>	<b>7,48</b>	<i>PT-Termal+Bomb</i>	<b>296,11</b>	<i>PT-Termal+Bomb</i>	<b>2000,62</b>

Fuente: Elaboración propia. Azul: Termal con biomasa. Blanco: Gas Natural gas. Amarillo: Eléctrico

Es de notar que en todos los casos siempre resulta más grande la variación del excedente del productor que la del excedente del consumidor. Lo mismo ocurre con la proporción entre la suma de los excedentes de productores y consumidores. En este caso la proporción menor es de 1,09 y tendría lugar en España para el caso del uso directo de aguas termales sin prospección con temperatura incrementada mediante caldera de biomasa. En el resto de los casos esta proporción es mayor.

Aunque para los cuatro sistemas energéticos considerados y en los nueve países de la submuestra los excedentes y sus variaciones resulten positivas en todas las situaciones, existiendo por tanto potenciales incrementos en el bienestar de consumidores y productores en todos los casos, no todos los sistemas energéticos considerados son socialmente rentables en todos los países de la muestra, porque requieren diferentes inversiones iniciales, tienen diferentes beneficios, distintos costes de operación y también producen emisiones de diferente magnitud. La valoración de la rentabilidad social ante esta casuística se lleva a cabo mediante los cálculos del VAN social, la TIR y el ratio Beneficio / Coste (BCR), el cual debe ser mayor que la unidad, para diagnosticar rentabilidad social.

Los cuatro sistemas energéticos seleccionados son socialmente rentables en Alemania, Estados Unidos e Islandia porque alcanzan un VAN positivo, una BCR mayor que la unidad y una TIR superior a la respectiva tasa social de descuento. En Irlanda, Portugal y España el uso de energía geotérmica con prospección, con temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica no resulta socialmente rentable por cuanto su VAN es negativo, la BCR es menor

que la unidad y la *TIR* es menor que la tasa social de descuento correspondiente. En estos tres países el resto de los sistemas energéticos resultan rentables en el período considerado. En el Reino Unido, Francia y Marruecos no resultan socialmente rentables los sistemas que utilizan bombas de calor, es decir, los que usan electricidad: el uso directo de aguas termales sin prospección, con temperatura incrementada mediante una bomba de calor eléctrica y el uso de energía geotérmica con prospección, con temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica. Los dos sistemas restantes resultan socialmente rentables en estos tres países. Para todos los sistemas, los ratios *BCR* más elevados se encuentran en Estados Unidos, Alemania e Islandia; y los menos elevados se encuentran en Francia.

Otra cuestión relevante es la estructura de mercado de las empresas suministradoras de energía, lo que indicaría su poder de mercado. De acuerdo con los resultados del índice de Lerner, mostrados en la octava columna de la Tabla 11, las empresas suministradoras de energía eléctrica de Alemania, Portugal, Irlanda y España tienen un fuerte poder de mercado. Por el contrario, el menor poder de mercado de estas empresas parece encontrarse en Marruecos. Con respecto a las empresas suministradoras de gas natural el mayor poder de mercado se encuentra en España, Portugal y Francia. El menor poder de mercado parece encontrarse en las empresas suministradoras de gas natural de Reino Unido y Estados Unidos.

La observación de la Tabla 13 permite deducir la superior rentabilidad social, tanto en cuanto a la variación del excedente del consumidor como al valor del *VAN* social, del sistema de uso directo de aguas termales sin prospección con

temperatura incrementada mediante caldera de biomasa, allí donde se pueda aplicar, sobre todos los demás sistemas energéticos, especialmente en Estados Unidos, Alemania, Islandia, Irlanda, Portugal y España, seguido del uso del gas natural en esos mismos países. Por el contrario, los sistemas basados en bombas de calor eléctricas muestran una menor rentabilidad social.

#### **4. ANÁLISIS FINANCIERO DE SISTEMAS PARA CALEFACCIÓN Y A.C.S.**

En este apartado se va a evaluar la rentabilidad económica para el hogar, potencial consumidor de los cuatro sistemas comparados. Se va a considerar que el agente consumidor realiza una inversión en calefacción y agua caliente sanitaria en su hogar con el objeto de tratar de obtener un nivel de confort tal que le permita alcanzar un determinado nivel de renta. Este consumidor-inversor representativo va a evaluar la rentabilidad de cada uno de los cuatro sistemas de energía para calefacción y agua caliente sanitaria, ya propuestos en el epígrafe anterior, es decir: 1) Uso directo de aguas termales sin prospección, con temperatura incrementada mediante una bomba de calor eléctrica. 2) Energía geotérmica con prospección y temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica. 3) Uso directo de aguas termales sin prospección, con temperatura incrementada mediante caldera de biomasa y 4) Uso de gas natural incrementando la temperatura del agua mediante paneles solares térmicos. Supongamos que habitando en un hogar suficientemente confortable el consumidor alcanza anualmente un incremento en su renta monetaria equivalente al aumento medio anual de la renta nominal per cápita ( $dm$ ) del país donde habita. Los valores de  $dm$  para cada país se encuentran estimados en la Tabla 8. Suponemos que el incremento anual de renta individual  $dm$  está

relacionado con el aumento del confort causado por el consumo doméstico individual de energía. Pero el consumo de energía en calefacción y agua caliente sanitaria por hogar es un porcentaje del consumo doméstico de energía, que en el caso de los países de la Unión Europea es en promedio 78,9 %. Según este punto de vista, los ingresos anuales ( $I$ ) que obtiene el hogar como consecuencia del consumo energético para calefacción y agua caliente sanitaria se podrían expresar de la siguiente forma:

$$I = 0,789 H (dm) \quad (54)$$

donde  $H$  es el número de componentes del hogar en el país de residencia del consumidor-inversor. Los costes variables anuales correspondientes a esta inversión son costes de operación que vienen dados fundamentalmente por el gasto en combustible y se estima que los costes de mantenimiento son fijos y en promedio ascienden a 115 euros anuales cualquiera que sea el sistema energético utilizado para calefacción y agua caliente sanitaria. En estas condiciones, los costes ( $C$ ) de la inversión, en euros anuales, descontando la inversión inicial, serán:

$$C = p_e e + 115 \quad (55)$$

donde  $e$  es la cantidad de energía en Kwh consumida al año por el sistema de calefacción y agua caliente sanitaria y  $p_e$  el precio en euros del Kwh. El flujo de caja anual del hogar del consumidor-inversor ( $I-C$ ), será entonces:



$$I-C = 0,789 H (dm) - p_{e,e} - 115 \quad (56)$$

Supondremos por simplicidad que el flujo de caja es constante a lo largo de los 25 períodos anuales que la Unión Europea estipula como ciclo de vida de los proyectos relacionados con la energía. La evaluación económico-financiera de un proyecto de inversión en un sistema de calefacción y agua caliente sanitaria para el hogar del consumidor-inversor se lleva a cabo en primer lugar mediante el cálculo del VAN financiero, cuya expresión es:

$$VAN_F = -I_0 + \sum_{t=1}^{25} \left( \frac{I-C}{1+i} \right)^t \quad (57)$$

donde como se ha mencionado, suponemos constante a lo largo del tiempo el flujo de caja  $I-C$ . La inversión inicial es  $I_0$  e  $i$  el tipo de interés nominal efectivo. Las entidades de crédito tienen libertad para decidir sus tipos de interés nominales, pero tienen la obligación de informar a los Bancos Centrales sobre los tipos de interés que se aplican a diversos tipos de operaciones. La diferencia entre el tipo de interés nominal efectivo o  $TIN$  y la tasa anual equivalente o  $TAE$ , es que el  $TIN$  es el precio que la entidad cobra por prestar o paga por depositar, mientras que la  $TAE$  incluye además del  $TIN$ , los gastos y comisiones asociadas al préstamo o crédito y su cálculo está basado en el tipo de interés compuesto y en la hipótesis de que los intereses obtenidos se vuelven a invertir al mismo tipo de interés. Por lo tanto, la  $TAE$  refleja mucho más exactamente el interés que se va a pagar que el tipo de interés nominal efectivo. Bajo el supuesto de que el consumidor-inversor pide créditos al consumo para pagar al menos la inversión inicial, el tipo de interés nominal  $i$  a aplicar resulta ser en valor prácticamente

similar a la tasa anual equivalente, que es el tipo de interés que se aplicará en este análisis económico-financiero y cuyos valores para los nueve países de la muestra, según los datos del Banco Central Europeo (2019), están recogidos en la Tabla 14. Suponemos en este trabajo, por simplicidad, que  $i$  es constante a lo largo del ciclo de vida del proyecto. El proyecto es económicamente rentable si el VAN financiero es mayor que cero.

El segundo sistema de evaluación de la rentabilidad del proyecto está basado en el cálculo de la tasa interna de retorno ( $TIR$ ), es decir, el cálculo del porcentaje de recuperación del flujo de caja. La  $TIR$  es el tipo de interés que se obtiene cuando el VAN se iguala a cero y es la tasa que expresa el coste de oportunidad de los fondos. Es decir, igualando a cero la ecuación (58), el tipo de interés resultante es la  $TIR$ . El proyecto no resulta económicamente rentable si la  $TIR < i$ . El tercer sistema de evaluación de la rentabilidad económica del proyecto está basado en el cálculo del Índice de Rentabilidad ( $IR$ ). El  $IR$  expresa cuántas veces se está ganando lo invertido y su cálculo estriba en dividir el valor actualizado de los flujos de caja por la inversión inicial ( $I_0$ ). El proyecto resultará rentable si  $IR > 1$ . Otro indicador relevante para comparar la rentabilidad económica entre diversos proyectos de inversión es el tiempo de recuperación de la inversión inicial, o *Payback*. Su cálculo se basa en igualar a cero el VAN financiero (ecuación 57) y despejar el tiempo  $t$ . De donde se obtiene el tiempo la inversión inicial para cada proyecto, que, en caso de flujo de caja constante, se puede

aproximar por la expresión<sup>169</sup>:

$$t = \frac{\log_e \left( \frac{1}{1 - \frac{I_0 \cdot i}{I - C}} \right)}{\log_e (1 + i)} \quad (58)$$

Por último, se estiman los beneficios actualizados de las empresas suministradoras de energía para cada proyecto y país. Los resultados, calculados con datos de la *International Energy Agency* (2019), *European Central Bank* (2019) y *Eurostat* (2019) se encuentran recogidos en la Tabla 14.

---

<sup>169</sup> El tiempo de recuperación de la inversión inicial se obtiene igualando a cero la ecuación del VAN financiero, despejando posteriormente  $t$ :  $VAN_F = -I_0 + \sum_{t=0}^T \left( \frac{I-C}{1+i} \right)^t = 0$ . Y con flujo de caja constante:

$-I_0 + (I-C) \sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t} = 0$ . Pero el sumatorio  $\sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t}$  es una progresión geométrica:

$\sum_{t=0}^T \frac{1}{(1+i)^t} = \frac{1}{1+i} + \frac{1}{(1+i)^2} + \dots + \frac{1}{(1+i)^T}$ , de razón  $r = \frac{1}{1+i}$ . El primer término de la progresión es:  $a_1 = \frac{1}{1+i}$ .

Sabemos que  $T = 25$ , pero bajo el supuesto de que  $t$  tiende a infinito, la suma de los términos de la

progresión es:  $S_t = \frac{a_1(r^t - 1)}{r - 1} = \frac{-1}{i} \left[ \left( \frac{1}{1+i} \right)^t - 1 \right]$ .

Por tanto,  $VAN_F = -I_0 + \frac{(I-C)}{-i} \left[ \left( \frac{1}{1+i} \right)^t - 1 \right] = 0$ . Es decir,  $I_0 = \frac{(I-C)}{-i} \left[ \left( \frac{1}{1+i} \right)^t - 1 \right]$ . Y

tomando en esta expresión logaritmos naturales para despejar  $t$ , tenemos finalmente que:

$$t = \frac{\log_e \left( \frac{1}{1 - \frac{I_0 \cdot i}{I - C}} \right)}{\log_e (1 + i)}$$

## 5. RESULTADOS DEL ANÁLISIS FINANCIERO

Los resultados contenidos en la Tabla 14 indican, de acuerdo con el valor del VAN financiero (columna iv), que los sistemas económicamente preferibles para el consumidor-inversor son los siguientes por cada país: gas natural con paneles solares en Alemania, Estados Unidos, Reino Unido e Irlanda. Aguas termales con bomba de calor, en Islandia, España, Francia y Marruecos y aguas termales con caldera de biomasa en Irlanda y Portugal. De los cuatro sistemas, la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor es el sistema menos rentable para el consumidor-inversor en todos los países de la muestra, excepto en Estados Unidos, donde el sistema menos rentable serían las aguas termales con caldera de biomasa. Merced al valor de la *TIR* (columna v) podemos deducir que el consumidor-inversor recupera la inversión inicial ( $I_0$ ) antes con el sistema de gas natural más paneles solares térmicos en todos los países de la muestra, excepto en Marruecos.

Y, por el contrario, la inversión inicial se recupera más tardíamente con el sistema de prospección geotérmica más bomba de calor, también en todos los países excepto Marruecos. Considerando los cuatro sistemas, los mayores valores del VAN financiero para el consumidor-inversor se obtienen en Estados Unidos e Islandia, y los peores en Marruecos y Portugal, ya que el flujo de caja está relacionado con los ingresos del hogar, que, a su vez en esta investigación, por hipótesis, dependen de los aumentos anuales de renta per cápita. En Marruecos sólo resulta económicamente rentable para el consumidor-inversor el sistema de aguas termales con bomba de calor; el resto de los sistemas no son económicamente rentables (*VAN* financiero negativo).

Capítulo 6. Rentabilidad Social y Económica del Consumo Doméstico de Energía para  
Calefacción y ACS

**Tabla 14: Resultados del análisis económico-financiero.**

	Precio Energía €/Kwh	Flujo de caja	Beneficios Acumulados	VAN financiero.	TIR	i	IR	Pay back años
<b>ALEMANIA</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,3124	2339,7	<b>4895,50</b>	<b>28940,02</b>	<b>0,4187&gt;</b>	0,0463	<b>6,466</b>	<b>2,45</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,3124	2339,7	<b>4895,50</b>	<b>23650,02</b>	<b>0,2155&gt;</b>	0,0463	<b>3,234</b>	<b>5,19</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	2591,6	<b>1747,91</b>	<b>30915,02</b>	<b>0,3698&gt;</b>	0,0463	<b>5,424</b>	<b>2,95</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0604	2373,8	<b>3595,17</b>	<b>30988,57</b>	<b>0,6339&gt;</b>	0,0463	<b>5,615</b>	<b>1,68</b>
<b>ISLANDIA</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,1459	5385,5	<b>1421,01</b>	<b>70990,16</b>	<b>1,0172&gt;</b>	0,0495	<b>14,408</b>	<b>1,03</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,1459	5385,5	<b>1421,01</b>	<b>65700,16</b>	<b>0,5088&gt;</b>	0,0495	<b>7,207</b>	<b>2,12</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	5403,0	<b>1692,13</b>	<b>69529,28</b>	<b>0,7714&gt;</b>	0,0495	<b>10,927</b>	<b>1,37</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0657	5149,7	<b>3984,42</b>	<b>69200,53</b>	<b>1,3754&gt;</b>	0,0495	<b>11,307</b>	<b>0,76</b>
<b>IRLANDA</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,2377	1802,9	<b>2950,32</b>	<b>17885,79</b>	<b>0,3403&gt;</b>	0,0594	<b>4,378</b>	<b>3,32</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,2377	1802,9	<b>2950,32</b>	<b>12595,79</b>	<b>0,1667&gt;</b>	0,0594	<b>2,190</b>	<b>7,43</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	1949,7	<b>1535,84</b>	<b>18062,52</b>	<b>0,2778&gt;</b>	0,0594	<b>3,578</b>	<b>4,16</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0674	1684,9	<b>3763,11</b>	<b>17918,47</b>	<b>0,4499&gt;</b>	0,0594	<b>3,669</b>	<b>2,45</b>
<b>PORTUGAL</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,2415	695,6	<b>2948,34</b>	<b>3439,67</b>	<b>0,1243&gt;</b>	0,0619	<b>1,649</b>	<b>10,61</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,2415	695,6	<b>2948,34</b>	<b>-1850,33</b>	<b>0,0425&lt;</b>	0,0619	<b>0,825</b>	<b>15,22</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	847,7	<b>1499,91</b>	<b>3639,39</b>	<b>0,1126&gt;</b>	0,0619	<b>1,519</b>	<b>11,93</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0749	532,6	<b>4307,26</b>	<b>2942,80</b>	<b>0,1364&gt;</b>	0,0619	<b>1,438</b>	<b>9,51</b>
<b>ESPAÑA</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,2238	1445,6	<b>2235,11</b>	<b>10097,42</b>	<b>0,2724&gt;</b>	0,0803	<b>2,907</b>	<b>4,51</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,2238	1445,6	<b>2235,11</b>	<b>4807,42</b>	<b>0,1302&gt;</b>	0,0803	<b>1,454</b>	<b>11,48</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	1572,7	<b>1271,94</b>	<b>9741,81</b>	<b>0,2231&gt;</b>	0,0803	<b>2,390</b>	<b>5,73</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0782	1235,5	<b>3888,56</b>	<b>9410,64</b>	<b>0,3297&gt;</b>	0,0803	<b>2,401</b>	<b>3,61</b>
<b>REINO UNIDO</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,2028	1366,9	<b>2396,03</b>	<b>12862,92</b>	<b>0,2573&gt;</b>	0,0560	<b>3,429</b>	<b>4,49</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,2028	1366,9	<b>2396,03</b>	<b>7572,92</b>	<b>0,1218&gt;</b>	0,0560	<b>1,715</b>	<b>10,43</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	1464,5	<b>1586,90</b>	<b>12450,07</b>	<b>0,2072&gt;</b>	0,0560	<b>2,777</b>	<b>5,72</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0489	1323,9	<b>2238,35</b>	<b>13842,69</b>	<b>0,3534&gt;</b>	0,0560	<b>3,061</b>	<b>3,16</b>
<b>FRANCIA</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,1728	936,4	<b>2240,62</b>	<b>9889,73</b>	<b>0,1736&gt;</b>	0,0365	<b>2,867</b>	<b>6,45</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,1728	936,4	<b>2240,62</b>	<b>4599,73</b>	<b>0,0734&gt;</b>	0,0365	<b>1,434</b>	<b>14,84</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	991,8	<b>1937,21</b>	<b>9078,62</b>	<b>0,1357&gt;</b>	0,0365	<b>2,296</b>	<b>8,32</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0647	745,1	<b>4452,70</b>	<b>8338,98</b>	<b>0,1968&gt;</b>	0,0365	<b>2,242</b>	<b>5,65</b>
<b>MARRUECOS</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,1100	345,3	<b>769,97</b>	<b>42,49</b>	<b>0,0418&gt;</b>	0,0410	<b>1,008</b>	<b>15,33</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,1100	345,3	<b>769,97</b>	<b>-5247,50</b>	<b>-0,0151&lt;</b>	0,0410	<b>0,008</b>	<b>30,65</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0253	312,3	<b>1846,64</b>	<b>-2176,48</b>	<b>0,0085&lt;</b>	0,0410	<b>0,689</b>	<b>22,43</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0657	59,0	<b>4348,25</b>	<b>-2832,91</b>	<b>-0,0617&lt;</b>	0,0410	<b>0,578</b>	<b>63,51</b>
<b>ESTADOS UNIDOS</b>								
<i>Termal+Bomb</i>	0,1994	4881,7	<b>2355,35</b>	<b>60188,19</b>	<b>0,9220&gt;</b>	0,0550	<b>12,368</b>	<b>1,15</b>
<i>Geoter+Bomb</i>	0,1994	4881,7	<b>2355,35</b>	<b>54898,19</b>	<b>0,4612&gt;</b>	0,0550	<b>6,186</b>	<b>2,37</b>
<i>Term+Biomasa</i>	0,0919	4480,3	<b>8231,19</b>	<b>53095,06</b>	<b>0,6397&gt;</b>	0,0550	<b>8,580</b>	<b>1,68</b>
<i>Gas Nat+Solar</i>	0,0407	4889,0	<b>1521,94</b>	<b>61836,63</b>	<b>1,3057&gt;</b>	0,0550	<b>10,211</b>	<b>0,80</b>

Fuente: elaboración propia Eurostat Statistics-explained (2019).

Por la misma razón, en Portugal no es económicamente rentable para el consumidor el sistema de prospección geotérmica con bomba de calor, mientras que los demás sistemas resultan rentables. En el resto de los países de la muestra son económicamente rentables para el consumidor todos los sistemas, aunque con diferente grado según constata el valor del VAN financiero.

En cuanto a los beneficios de las empresas suministradoras de energía (columna 4 de la Tabla 14), los mayores beneficios del sistema de aguas termales y biomasa se obtienen en Estados Unidos. Las empresas suministradoras de Islandia, Irlanda, Portugal, España, Francia y Marruecos obtendrían mayores beneficios potenciales con el gas natural más paneles solares térmicos que con ningún otro sistema de entre los comparados. En Alemania y Reino Unido, los mayores beneficios de las empresas suministradoras se obtendrían con los sistemas que emplean electricidad (bombas de calor). En todos los países de la muestra, con el sistema de aguas termales más biomasa se obtienen los menores beneficios para las empresas suministradoras, excepto en Estados Unidos, Islandia y Marruecos. En todos los países y con los cuatro sistemas comparados, los beneficios de las empresas suministradoras de energía son positivos.

En resumen, los sistemas económicamente más rentables para el hogar del consumidor-inversor son los siguientes: en Estados Unidos, en mayor medida el gas natural con paneles solares térmicos y las aguas termales con bomba de calor eléctrica; en Marruecos, las aguas termales con bomba de calor; en Islandia son rentables económicamente todos los sistemas comparados en aproximadamente la misma cuantía; y en Francia, Reino Unido, España,

Portugal, Irlanda y Alemania el sistema menos rentable económicamente es la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor mientras que los restantes tres sistemas destacan por su rentabilidad económica.

La comparación entre la rentabilidad económica y la rentabilidad social de los cuatro sistemas propuestos se encuentra en la Tabla 15, donde se muestran sólo los sistemas que son a la vez social y económicamente rentables, ordenados por su rentabilidad económica.

Si se compara la Tabla 13 con la Tabla 15, podemos observar que entre los sistemas socialmente rentables, el sistema de gas natural y paneles solares térmicos resulta económicamente rentable para las empresas suministradoras de energía más que en ningún sitio en Francia, Portugal, Islandia, España y Alemania, mientras que las aguas termales con bomba de calor y la prospección geotérmica con bomba de calor son muy rentables económicamente en Alemania y las aguas termales con caldera de biomasa en Estados Unidos.

Según los resultados de las Tablas 14 y 15, Marruecos puede tener acceso sólo a un sistema económicamente rentable: aguas termales con bomba de calor, pero según los resultados de las Tablas 11 y 12, este sistema no es socialmente eficiente en Marruecos.

Tabla 15: Sistemas social y económicamente rentables.

Rentabilidad económica para el Productor		Rentabilidad económica para el Consumidor (Hogar)		
SISTEMAS POR PAÍSES	Beneficios Acumulados	SISTEMAS POR PAÍSES	Índice de rentabilidad IR	Tiempo de retorno de la inversión (años)
<i>US-Term+Biomasa</i>	<b>8231,19</b>	<i>IS-Termal+Bomb</i>	<b>14,408</b>	<b>1,03</b>
<i>AL-Termal+Bomb</i>	<b>4895,50</b>	<i>US-Termal+Bomb</i>	<b>12,368</b>	<b>1,15</b>
<i>AL-Geoter+Bomb</i>	<b>4895,50</b>	<i>IS-Gas Nat+Solar</i>	<b>11,307</b>	<b>0,76</b>
<i>FR-Gas Nat+Solar</i>	<b>4452,70</b>	<i>IS-Term+Biomasa</i>	<b>10,927</b>	<b>1,37</b>
<i>PT-Gas Nat+Solar</i>	<b>4307,26</b>	<i>US-Gas Nat+Solar</i>	<b>10,211</b>	<b>0,80</b>
<i>IS-Gas Nat+Solar</i>	<b>3984,42</b>	<i>US-Term+Biomasa</i>	<b>8,580</b>	<b>1,68</b>
<i>SP-Gas Nat+Solar</i>	<b>3888,56</b>	<i>IS-Geoter+Bomb</i>	<b>7,207</b>	<b>2,12</b>
<i>IR-Gas Nat+Solar</i>	<b>3763,11</b>	<i>AL-Termal+Bomb</i>	<b>6,466</b>	<b>2,45</b>
<i>AL-Gas Nat+Solar</i>	<b>3595,17</b>	<i>US-Geoter+Bomb</i>	<b>6,186</b>	<b>2,37</b>
<i>IR-Termal+Bomb</i>	<b>2950,32</b>	<i>AL-Gas Nat+Solar</i>	<b>5,615</b>	<b>1,68</b>
<i>PT-Termal+Bomb</i>	<b>2948,34</b>	<i>AL-Term+Biomasa</i>	<b>5,424</b>	<b>2,95</b>
<i>US-Termal+Bomb</i>	<b>2355,35</b>	<i>IR-Termal+Bomb</i>	<b>4,378</b>	<b>3,32</b>
<i>US-Geoter+Bomb</i>	<b>2355,35</b>	<i>IR-Gas Nat+Solar</i>	<b>3,669</b>	<b>2,45</b>
<i>UK-Gas Nat+Solar</i>	<b>2238,35</b>	<i>IR-Term+Biomasa</i>	<b>3,578</b>	<b>4,16</b>
<i>SP-Termal+Bomb</i>	<b>2235,11</b>	<i>AL-Geoter+Bomb</i>	<b>3,234</b>	<b>5,19</b>
<i>FR-Term+Biomasa</i>	<b>1937,21</b>	<i>UK-Gas Nat+Solar</i>	<b>3,061</b>	<b>3,16</b>
<i>AL-Term+Biomasa</i>	<b>1747,91</b>	<i>SP-Termal+Bomb</i>	<b>2,907</b>	<b>4,51</b>
<i>IS-Term+Biomasa</i>	<b>1692,13</b>	<i>UK-Term+Biomasa</i>	<b>2,777</b>	<b>5,72</b>
<i>UK-Term+Biomasa</i>	<b>1586,90</b>	<i>SP-Gas Nat+Solar</i>	<b>2,401</b>	<b>3,61</b>
<i>IR-Term+Biomasa</i>	<b>1535,84</b>	<i>SP-Term+Biomasa</i>	<b>2,390</b>	<b>5,73</b>
<i>US-Gas Nat+Solar</i>	<b>1521,94</b>	<i>FR-Term+Biomasa</i>	<b>2,296</b>	<b>8,32</b>
<i>PT-Term+Biomasa</i>	<b>1499,91</b>	<i>FR-Gas Nat+Solar</i>	<b>2,242</b>	<b>5,65</b>
<i>IS-Termal+Bomb</i>	<b>1421,01</b>	<i>PT-Termal+Bomb</i>	<b>1,649</b>	<b>10,61</b>
<i>IS-Geoter+Bomb</i>	<b>1421,01</b>	<i>PT-Term+Biomasa</i>	<b>1,519</b>	<b>11,93</b>
<i>SP-Term+Biomasa</i>	<b>1271,94</b>	<i>PT-Gas Nat+Solar</i>	<b>1,438</b>	<b>9,51</b>

Fuente: Elaboración propia. Azul: Termal con biomasa. Blanco: Gas Natural gas. Amarillo: Eléctrico

Por otra parte, y según los resultados de la Tabla 14, tampoco son económicamente rentables en Marruecos el resto de los sistemas, pero las aguas termales con caldera de biomasa y el gas natural con paneles solares térmicos resultan socialmente rentables, por lo que quizás estos dos sistemas podrían ser subvencionados si ello fuere posible. En Portugal, la prospección geotérmica auxiliada con bombas de calor no es rentable ni social ni económicamente, como puede ser observado en las Tablas 12 y 14.



De las Tablas 13 y 15 se puede extraer que, entre los 9 países de la muestra y 36 sistemas propuestos, cuatro por país de la muestra, hay 27 sistemas socialmente rentables, de los cuales 25 son también económicamente rentables. Entre estos 25 sistemas social y económicamente rentables, 8 de ellos tienen al gas natural con paneles solares térmicos como fuente de energía; 3 de ellos están basados en la prospección geotérmica auxiliada con bombas de calor; 8 sistemas son de aguas termales con caldera de biomasa y 6 son de aguas termales con bombas de calor. Resumiendo, de los 25 sistemas económicamente a la vez que socialmente rentables, el 32 % son gas natural con paneles solares térmicos; el 24 % son sistemas de aguas termales con caldera de biomasa; otro 32 % son aguas termales con bombas de calor y el 12 % restante pertenece a prospecciones geotérmicas auxiliadas con bombas de calor. Se puede observar que la utilización de aguas termales supone el 56 % de la muestra de sistemas social y económicamente rentables y que los sistemas que utilizan electricidad, como las bombas de calor son el 36 % de los sistemas social y económicamente rentables de la muestra. La comparación entre la rentabilidad media económica y social de los cuatro sistemas en los nueve países de la muestra se encuentra recogida en la Tabla 16.

En la Tabla 16 se han seleccionado la ratio beneficio / coste para expresar la rentabilidad social media de los sistemas (columna 2) y el índice de rentabilidad para expresar la rentabilidad económica media (columna 3). Se han elegido estos dos indicadores para minimizar el efecto que sobre los VAN hubiera tenido la renta per cápita de cada país si se hubiera seleccionado el VAN como indicador.

**Tabla 16: Sistemas económica y socialmente rentables (promedio)**

Sistemas	Ratio medio B/C social	Índice de Rentabilidad económica media	Pay back medio (años)
Aguas termales + Biomasa	1,927	4,69	5,23
Gas Natural con paneles solares térmicos	1,443	4,99	3,45
Aguas termales + Bomba de calor	1,129	5,49	5,48
Prospección Geotérmica con Bomba de calor	1,023	3,35	7,69
Aguas Termales	1,541	5,12	5,36
Eléctricos (Bombas de calor)	1,092	4,56	6,45

Fuente: elaboración propia

El ratio medio beneficio / coste se ha calculado sobre los sistemas socialmente eficientes (Tabla 12) y el índice medio de rentabilidad económica se ha calculado sobre los sistemas económicamente eficientes (Tabla 14), así como también el tiempo medio de retorno de la inversión inicial. Los resultados de la Tabla 16 indican que, en promedio, el uso de aguas termales auxiliado con caldera de biomasa es el sistema socialmente más rentable de los cuatro sistemas propuestos, así como el sistema basado en aguas termales y bomba de calor resulta ser el más rentable económicamente. El sistema basado en gas natural con paneles solares térmicos es el segundo sistema rentable, tanto socialmente, como económicamente y es el sistema que antes recupera la inversión inicial que hace el consumidor-inversor. De entre los cuatro propuestos, el sistema que en promedio tiene peor rentabilidad social y económica y además recupera más

tarde la inversión inicial es la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor. Observando las filas 3, 6 y 7 de la Tabla 16, si clasificamos los cuatro sistemas propuestos por la proveniencia básica de la energía utilizada, gas natural, electricidad y aguas termales, en promedio resulta más rentable social y económicamente el uso de las aguas termales, evidentemente en las zonas próximas a las apropiadas fuentes termales suministradoras, seguido del gas natural.

## 6. REFLEXIONES FINALES

En este capítulo se ha efectuado un análisis coste-beneficio para evaluar la rentabilidad social de los cuatro sistemas propuestos en el capítulo anterior con el objeto de intentar frenar las emisiones del consumo doméstico de energía en los nueve países de la muestra, cuando se trata del uso de energía para calefacción y agua caliente sanitaria, que incluye también refrigeración. Seguidamente se ha realizado un análisis económico-financiero sobre la misma muestra de sistemas energéticos y países para evaluar la rentabilidad económica de los proyectos propuestos. En ninguno de los dos casos se ha realizado un análisis de sensibilidad porque las proyecciones utilizadas de las variables macroeconómicas durante el ciclo vital considerado de 25 años, variables que intervienen en ambos modelos y cuyos datos han sido suministradas por Hawksworth et al. (2015), *The Economist Intelligence Unit* (2015) y OECD Economic Outlook (2018) entre otras bases de datos, se han considerado suficientemente exactas aunque también en ambos modelos se han realizado algunas simplificaciones relevantes. Los resultados del análisis coste-beneficio indican que todos los sistemas energéticos propuestos y para todos los

países de la muestra, los excedentes y sus variaciones resultan positivos en todas las situaciones, existiendo en su posible uso potenciales incrementos en el bienestar de consumidores y empresas suministradoras a lo largo del período y en todos los casos. Los cuatro sistemas energéticos propuestos son socialmente rentables en Alemania, Estados Unidos e Islandia. En Irlanda, Portugal y España el uso de energía geotérmica con prospección, con temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica no resulta socialmente rentable, pero en estos tres países el resto de los sistemas energéticos resultan rentables durante el ciclo vital considerado. En el Reino Unido, Francia y Marruecos no resultan socialmente rentables los sistemas que utilizan bombas de calor, pero los dos sistemas restantes resultan ser socialmente rentables en estos tres países. Después de efectuar el análisis económico-financiero de los cuatro sistemas propuestos en los nueve países de la muestra se puede inferir que, en promedio, el uso de aguas termales auxiliado con caldera de biomasa es el sistema socialmente más rentable de los cuatro sistemas propuestos, así como el sistema basado en aguas termales y bomba de calor resulta ser el más rentable económicamente, siempre que la instalación de ambos sistemas se sitúe en zonas próximas a las apropiadas fuentes termales suministradoras. El sistema basado en gas natural con paneles solares térmicos es el segundo sistema rentable, tanto socialmente, como económicamente y es el sistema que antes recupera la inversión inicial que hace el hogar. El sistema que en promedio tiene peor rentabilidad social y económica y además recupera más tarde la inversión inicial es la prospección geotérmica auxiliada con bomba de calor. Los análisis efectuados en este capítulo también permiten inferir el poder de mercado de las empresas suministradoras de

energía, según cada país, aplicando del índice de Lerner. De acuerdo con sus resultados, las empresas suministradoras de energía eléctrica de Alemania, Portugal, Irlanda y España tienen un fuerte poder de mercado. Por el contrario, el menor poder de mercado de estas empresas parece encontrarse en Marruecos. En relación a las empresas suministradoras de gas natural el mayor poder de mercado se encuentra en España, Portugal y Francia, mientras el menor poder de mercado parece encontrarse en las empresas suministradoras de gas natural de Reino Unido y Estados Unidos. El análisis realizado en este capítulo mantiene empíricamente la propuesta de utilización de las aguas termales como sistema alternativo, social y económicamente rentable, a utilizar para la calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios situados en zonas cercanas a fuentes termales con suficiente temperatura y caudal. Es una forma de intentar frenar las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por el consumo doméstico de energía.

*Capítulo 6. Rentabilidad Social y Económica del Consumo Doméstico de Energía para  
Calefacción y ACS*

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES GENERALES

#### CONCLUSIONES GENERALES

En esta Tesis, titulada “Energía geotérmica a partir de aguas termales: análisis de su rentabilidad en los países atlánticos de la UE y del atlántico norte”, se ha realizado un análisis comparativo de la rentabilidad económica y social sobre cuatro sistemas de energía renovable a utilizar en calefacción y agua caliente sanitaria, después de verificar para veinte países la conveniencia del uso de estos tipos de energías por emitir gases de efecto invernadero (GEI) en cantidades muy bajas o nulas. Se han relatado las normativas sobre energía, medioambiente y cambio climático en el marco de la Unión Europea. Tras el análisis de los Hechos estilizados sobre la existencia de un calentamiento generalizado del planeta, a lo cual parece contribuir la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en especial el CO<sub>2</sub>, se evidencia la existencia de un cambio en el clima, al menos a corto plazo, con independencia de las opiniones de científicos que apoyan o no la idea de la responsabilidad humana en un cambio de clima a largo plazo. En concreto, durante los 44 años que distan desde 1971 a 2015, las emisiones de gases de efecto invernadero se han duplicado, mientras que las emisiones de CO<sub>2</sub> se han multiplicado por 2,4, constituyendo el CO<sub>2</sub> el 76 % del volumen de las emisiones mundiales de gases de efecto

invernadero. La Unión Europea está dando gran importancia a la producción y consumo de energías renovables porque son sostenibles, eficientes, seguras y estables, creando una extensa normativa que trata tanto temas energéticos como medioambientales. Por ello, se han estudiado mecanismos de seguimiento de los Gases de Efecto Invernadero, con vistas a obtener una economía baja en emisiones de carbono y combustibles fósiles, con el objeto de que se cumplan las cinco dimensiones propuestas por la Estrategia de la Unión de la Energía: 1) Seguridad Energética; 2) Mercado Interior de la Energía; 3) Eficiencia Energética; 4) Descarbonización y 5) Investigación, Innovación y Competitividad.

Las energías renovables tienen muy baja o ninguna emisión de Gases de Efecto Invernadero (GHG), y son interesantes desde el punto de vista del ahorro de la energía y de la lucha contra la pobreza energética. Parece probado que el uso de energías como la solar, eólica, geotérmica, biomasa, hidráulica o hidroeléctrica, la energía de los residuos, las energías marinas, mareomotriz y undimotriz, así como otras energías limpias, como la energía del hielo, la energía azul o de potencia osmótica, reducen drásticamente la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

En esta Tesis se ha analizado en qué medida las emisiones de CO<sub>2</sub> están asociadas directamente al consumo de energía o bien a imperfecciones en los procesos productivos de bienes y servicios de los países. El análisis se ha llevado a cabo sobre una muestra de 20 países durante el período 1995-2015. Los países sobre los que se hace el análisis suponían en 2018 el 61 % de la población mundial y pertenecen a cuatro continentes. Por parte de la Unión Europea figuran Irlanda, Francia, Alemania, Portugal y España. Además, figuran Islandia y Reino Unido como países extracomunitarios. Los países asiáticos



analizados en esta investigación son: India, Indonesia, Arabia Saudí, Irán, Japón y China. También figura Rusia. Los países americanos tratados son Estados Unidos, Brasil y México. Y los países africanos que figuran en este análisis son Marruecos, Sudáfrica y Nigeria. Los cinco países emergentes más importantes considerados en este análisis están encuadrados en el bloque BRICS. Para realizar este análisis se han utilizado modelos microeconómicos que tratan de explicar una relación causal entre el consumo de energía y la producción de bienes y servicios, y entre las emisiones de CO<sub>2</sub> y el consumo de energía, suponiendo que las empresas suministradoras de energía funcionan en régimen de oligopolio tipos Cournot y Bertrand indistintamente. La aplicación se ha llevado a cabo mediante técnicas econométricas que incluyen datos de panel y los resultados indican que, en general, son las imperfecciones en los procesos productivos las que contribuyen a las emisiones de CO<sub>2</sub> en mayor grado que el consumo de energía, lo que sugiere el deber de mejorar estos procesos productivos, además de ser eficientes en el consumo energético. En particular, los resultados del análisis indican que para los países de la muestra y en el año 2015: 1) Estados Unidos, Arabia Saudí, China, Portugal, Islandia, España, Francia e India no tienen suficientes incentivos para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> porque en esos países el uso de la energía ya es eficiente. 2) Aun así, Estados Unidos, Arabia Saudí, China, España, Francia e India deben disminuir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de la producción de bienes y servicios, aunque su uso de la energía ya sea eficiente. 3) África del Sur debe reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de sus procesos productivos, porque el uso actual que hace de la energía no es eficiente y podría mejorar la eficiencia implementando mejoras en los procesos de producción de bienes y servicios. 4)

Irlanda, Rusia, Japón, Alemania, Irán, Reino Unido, Brasil, Marruecos, Indonesia, Nigeria y México debieran reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes del consumo de energía o mejorar los sistemas de consumo energético.

También se ha realizado en esta Tesis un repaso de las energías fósiles y de las energías renovables, así como de los combustibles asociados y de las emisiones contaminantes de cada una de ellas. A su vez, se ha realizado una comparación entre ambos tipos de energía, observando que el uso de las energías renovables da lugar a menores emisiones de dióxido de carbono, así como a menores emisiones del resto de gases causantes del efecto invernadero y de la lluvia ácida. Se han expuesto los últimos avances en investigación y en tecnologías de cada tipo de energía renovable, así como los posibles tratamientos de las emisiones y residuos fósiles. El uso de las energías renovables presenta una serie de ventajas para el medioambiente, la salud, el bienestar, la economía y tiene una variedad de aplicaciones; también tiene desventajas relacionadas, que están relacionadas sobre todo con el coste inicial de las instalaciones y con el precio que finalmente se repercute al consumidor, en especial, cuando el precio final de la energía está basado en un sistema de subastas como es el caso de la energía eléctrica. Una parte muy relevante del consumo de energía de un país es la que se dedica al consumo doméstico. Mientras que habitualmente los consumidores no pueden modificar directamente las emisiones originadas por procesos productivos obsoletos de bienes y servicios, sí pueden directamente actuar sobre las emisiones causadas por su consumo doméstico de energía, ya sea reduciendo su consumo, o bien utilizando tecnologías capaces de reducir las emisiones.

La mayor parte del consumo de energía doméstico se debe al consumo de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria (ACS). Por ello, en la presente Tesis y con la idea de cumplir con la normativa de la Unión Europea para la estabilización del calentamiento global de la Tierra se sugiere para el consumo doméstico el uso de una fuente renovable, en concreto las aguas termales de manantial o el excedente de balnearios activos o más bien inactivos, para poderse usar en calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios de las zonas adyacentes, puesto que se trata en definitiva de energía geotérmica sin prospección. Se ha pretendido demostrar en esta Tesis que su uso permite el ahorro de energía y disminuir la pobreza energética ya que se ahorra el coste inicial de la prospección. Se ha optado además por el diseño de una red de distribución de agua caliente sencilla y cómoda como es la calefacción centralizada por distritos, sistema denominado *District Heating* (DH), en el que el agua proveniente de la fuente termal a cierta temperatura pasa por la central, donde se eleva la temperatura si fuere necesario, enviando agua caliente a las viviendas, edificios e instalaciones para su uso. Además de la energía geotérmica se ha seleccionado como energía auxiliar para el aumento de temperatura de las aguas termales el uso de una caldera de biomasa, por ser ésta también renovable. El sistema propuesto utiliza la caldera de biomasa porque presenta la ventaja de ser una energía barata cuyas emisiones de dióxido de carbono se consideran nulas, debido a que el CO<sub>2</sub> que genera se vuelve a integrar en la naturaleza, es decir, las emisiones que emanan de la quema son reabsorbidas de nuevo mediante la fotosíntesis de plantas y árboles. Para estudiar las zonas donde se pueden encontrar las fuentes termales adecuadas se han analizado zonas volcánicas y sísmicas, responsables en general de la

formación de aguas termales, en nueve de los veinte países analizados: Alemania, España, Francia, Irlanda, Portugal, Islandia, Reino Unido, Marruecos y Estados Unidos como referencia.

En lo concerniente al consumo de energía doméstico, se han comparado cuatro posibles sistemas a utilizar en calefacción y agua caliente sanitaria con el fin de conocer cuál sería para cada país el sistema de consumo óptimo. Entre estos sistemas, dos de ellos son inéditos y están basados en la utilización de energía geotérmica sin prospección, a partir de aguas termales procedentes de fuentes termales y de balnearios, que podrían ser utilizados en zonas o municipios próximos a la localización de manantiales con suficiente temperatura y caudal para su uso en viviendas e instalaciones. Los sistemas que se han considerado para hacer esta comparación son: i) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando caldera de biomasa, ii) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, sin prospección, utilizando bomba de calor geotérmica, iii) sistema con energía geotérmica procedente de una fuente termal o balneario, con prospección, utilizando bomba de calor geotérmica y iv) sistema con paneles solares térmicos y gas natural.

En esta Tesis Doctoral se ha llevado a cabo un análisis coste-beneficio para evaluar la rentabilidad social de estos cuatro sistemas propuestos para calefacción y ACS en los nueve países. Seguidamente se ha realizado un análisis económico-financiero sobre la misma muestra de sistemas energéticos y países para evaluar la rentabilidad económica de los proyectos propuestos. En ninguno de los dos casos se ha realizado un análisis de sensibilidad porque las proyecciones utilizadas de las variables macroeconómicas durante el ciclo vital

considerado se han considerado suficientemente exactas. Los resultados del análisis coste-beneficio indican que, para todos los sistemas energéticos comparados, los excedentes sociales del consumidor y productor resultan positivos, existiendo por tanto en su posible uso potenciales incrementos del bienestar de los consumidores y empresas suministradoras a lo largo del período considerado. Los resultados indican que los cuatro sistemas energéticos propuestos son socialmente rentables en Alemania, Estados Unidos e Islandia. En Irlanda, Portugal y España el uso de energía geotérmica con prospección y temperatura de agua incrementada mediante una bomba de calor eléctrica no resulta socialmente rentable, pero en estos tres países el resto de los sistemas energéticos resultan rentables durante el ciclo vital considerado. En el Reino Unido, Francia y Marruecos no resultan socialmente rentables los sistemas que utilizan bombas de calor, pero los dos sistemas restantes resultan ser socialmente rentables en estos tres países. Después se ha efectuado un análisis económico-financiero sobre los cuatro sistemas propuestos en los nueve países infiriéndose que, en promedio, mientras el uso de aguas termales auxiliado con caldera de biomasa resulta ser el sistema socialmente más rentable de los cuatro sistemas propuestos, el sistema basado en aguas termales y bomba de calor resulta ser el más rentable económicamente, siempre que la instalación de ambos sistemas se sitúe en zonas próximas a las fuentes termales suministradoras. El sistema basado en gas natural con paneles solares térmicos es el segundo sistema rentable, tanto socialmente, como económicamente y es el sistema que antes recupera la inversión inicial que hace el hogar o entidad. El sistema que en promedio tiene peor rentabilidad social y económica y además recupera más tarde la inversión inicial es la prospección geotérmica auxiliada

con bomba de calor. Los resultados indican que el uso de las aguas termales supondría el 56 % de los sistemas social y económicamente rentables aplicados potencialmente en estos países, mientras que los sistemas que utilizan electricidad, como bombas de calor, son sólo el 36 % de los sistemas social y económicamente rentables de la muestra de estos nueve países. Los análisis efectuados también permiten inferir el poder de mercado de las empresas suministradoras de energía, según cada país, aplicando del índice de Lerner. Según los resultados, las empresas suministradoras de energía eléctrica de Alemania, Portugal, Irlanda y España tienen un fuerte poder de mercado. Por el contrario, el menor poder de mercado de estas empresas parece encontrarse en Marruecos. En relación a las empresas suministradoras de gas natural el mayor poder de mercado se encuentra en España, Portugal y Francia, mientras que el menor poder de mercado parece encontrarse en las empresas suministradoras de gas natural de Reino Unido y Estados Unidos. El análisis realizado sostiene empíricamente la propuesta de utilización de las aguas termales como sistema alternativo, social y económicamente rentable, a utilizar para la calefacción y agua caliente sanitaria en viviendas y edificios situados en zonas cercanas a fuentes termales con suficiente temperatura y caudal. Estos resultados sugieren a las administraciones la necesidad de implementar normativas dirigidas a procurar procesos productivos menos emisores a la vez que a impulsar un consumo doméstico de energía más eficiente y menos contaminante.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Abosedra, S., & Baghestani, H., 1989. New evidence on the causal relationship between United States energy consumption and gross national product. *Journal of Energy Development*. 14, 285-292.
- Addicott, E., Fenichel, E., & Kotchen, M., 2020. Even the representative agent must die: Using demographics to inform long-term social discount rates. *Journal of the Association of Environmental and Resources Economists*. 7 (2), 379-415.
- African Development Bank (2016): *Railway Infrastructure Reinforcement Projects: Morocco Appraisal Report*, The Office of International Treasury Control.
- Alam, M., Begum, I., & Buysse, J., 2012. Energy consumption, carbon emissions and economic growth nexus in Bangladesh: cointegration and dynamic causality analysis. *Energy Policy*. 45, 217-225.
- Altınay, G., & Karagöl, E., 2004. Structure break, unit root, and the causality between energy consumption and GDP in Turkey. *Energy Economy*. 26, 985-994.
- Anderson, T. R.; Hawkins, E & Jones, P.D., 2016. CO<sub>2</sub>, the greenhouse effect and global warming: from the pioneering work of Arrhenius and Callendar to today's Earth System Models. *Elsevier*. 40, 178-187.
- Ang, J., 2007a. Economic development, pollutant emissions and energy consumption in Malaysia. *Journal of Policy Modelling*. 30, 271-278.
- Ang, J., 2007b. CO<sub>2</sub> emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*. 35, 4772-4778.
- Anselin, L., 1998. GIS research infrastructure for spatial analysis of real estate markets. *Journal of Housing Research*. 9, 113-133.
- Arrhenius, S., 1896, On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground. *Svante Arrhenius Philosophical Magazine and Journal of Science*. Series 5, 41, 237-276.
- Aspergis, N., & Payne, J., 2009. CO<sub>2</sub> emissions, energy usage, and output in Central America. *Energy Policy*. 37, 3282-3286.
- Atalia, T., Bigerna, S. & Bollino, C.A., 2016. *Quantifying Worldwide Demand Elasticities as a Policy Tool*, KAPSARC, Riyadh, Saudi Arabia.
- Azar, S.A., 2009. A social discount rate for the U.S.. *International Research Journal of Finance and Economics*. 25, 203-208.
- Baeza, J., López, J., & Ramírez, A., 2001. Las Aguas Minerales en España. *Instituto Geológico y Minero de España. Ministerio de Ciencia y Tecnología*.

- Belloumi, M., 2009. Energy consumption and GDP in Tunisia: cointegration and causality analysis. *Energy Policy*. 37, 2745-2753.
- Bertrand, J., 1883. Book review of *theorie mathematique de la richesse sociale* and of *recherches sur les principes mathematiques de la theorie des richesses*. *Journal des Savants*. 67, 499-508.
- Besselievre, E., Davidson, R., Eber, S., Eisenberg, G., Ganapathy, V., Hicks, G., Hicks, T., Kates, E., Kurtz, M., Leto, J., Mueller, J., Muschamp, G., Oldenberger, R., Rearick, J., Roark, R., Scheel, L., Skrotzki, B., Spielfogel, S., & Wills, K. 2012. *Handbook of Energy Engineering Calculations*. Ed. By T. Hicks. McGraw Hill. N.Y.
- Bhattacharya, S., Chandan, V., Arya, V., & Kar, K., 2016. Thermally - fair demand response for district heating and cooling (DHC) networks. *Proceedings. The Seventh International Conference*. 1-11.
- Börjesson.P. et al., 2013, *Report f3 13*, 170.
- Bradford, T. 2006. *Solar Revolution*. The M.I.T. Press. Cambridge. Mass.
- Brealey, R., & Myers, S., 1996. *Principles of Corporate Finance*, 5<sup>th</sup> ed, McGraw-Hill/Irwin. New York.
- Breuch, T.S., & Pagan, A.R., 1980. The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies*. 47, 239-253.
- Brower, M. 1998. *Cool Energy. Renewable Solutions to Environmental Problems*. The M.I.T. Press, Cambridge. Mass.
- Burrige, P., 1980. On the Cliff-Ord test for spatial correlation. *Journal of the Royal Statistical Society*. 42, 107-108.
- Bushnell, J.B., Mansur, E.T., & Saravia, C., 2008. Vertical arrangements, market structure, and competition: An analysis of restructured US electricity markets. *American Economic Review*. 98, 237-266.
- Caballero, K., & Galindo, L., 2007. El consumo de energía en México y sus efectos en el producto y los precios. *Problemas del Desarrollo Revista Latinoamericana de Economía*. 38, 127-151.
- Cara, M., Cansi, Y., Schlupp, A. et al., 2015. SI-Hex: a new catalogue of instrumental seismicity for metropolitan France. *Bull. Soc. géol. France*. 1, 3-19.
- CartesFrance.fr, 2011. Carte de France de zones sismiques.
- Chamberlin, T.C., 1899. An Attempt to Frame a Working Hypothesis of the Cause of Glacial Periods on an Atmospheric Basis, *Journal of Geology*. 7, 575-751.
- Cheng, B., 1997. An investigation of co-integration and causality between energy consumption and economic activity in Taiwan. *Energy Economics*. 19, 435-444.



- Christensen, L.R., Jorgenson, D.W., & Lawrence, J.L., 1975. Transcendental logarithmic utility functions. *The American Economic Review*. 65, 367-383.
- Cournot, A., 1838. *Recherches sur les Principes Mathematiques de la Theorie des Richesses*, L. Hachette, Paris.
- Day, C.J., Benjamin, H., Senior, M., & Jong-Shi, P., 2002. Oligopolistic competition in power networks: A conjectured supply function approach. *IEEE Transactions on Power Systems*. 17, 597-607.
- Deaton, A., & Muellbauer, J., 1980. An almost Ideal demand system. *The American Economic Review*. 70, 312-326.
- De Rus, G., 2004. *Análisis Coste-Beneficio: Evaluación de Políticas y Proyectos de Inversión*, 2ª ed, Ariel, Barcelona.
- Dlubal, 2019. Datos de mapas. *Software de análisis y dimensionamiento de estructuras*. GeoBasis-DE/BKG.
- European Commission, 2008. *Directorate General Regional Policy*, Brussels.
- European Environmental Agency. 2015. *The European Environment. State and Outlook 2015*. EEA. Copenhagen.
- Eurostat, 2019. *Statistics-Explained*, European Commission, Luxemburg.
- Farhani, S., & Ben Rejeb, J., 2012. Link between economic growth and energy consumption in over 90 countries. *Interdisciplinary Journal of Contemporary Research in Business*. 3, 282-297.
- Florides, G. A.; & Christodoulides, P., 2009. *Global warming and carbon dioxide through sciences*. Elsevier. Amsterdam.
- Florio, M., & Maffi, S., 2008. *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects*. Evaluation Unit, Directorate General Regional Policy, European Commission, Brussels.
- Galetovich, A., & Muñoz, C., 2010. La elasticidad de la demanda por electricidad y la política energética. *El Trimestre Económico*. 77, 313-341.
- García-Badell, J. 2003. *Cálculo de la Energía Solar*. Bellisco. Madrid.
- Gardner, T., & Joutz, F., 1996. Economic growth, energy prices and technological innovation”, *Southern Economic Journal*. 62, 653-666.
- Ghali, K., 2004. Energy use and output growth in Canada: A multivariate cointegration analysis. *Energy Economics*. 26, 225-238.
- Gómez, C., 2010. Crecimiento económico, consumo de energía y emisiones contaminantes en la economía mexicana. *Revista Fuente*. 3, 67-80.

- González, J. 2009. *Energías Renovables*. Reverté. Barcelona.
- Granger, C. W. J., 1969. Investigating causal relations by econometric models and cross-spectral methods. *Econometrica*. 37, 424-438.
- Gutenberg, B. & Richter C. F., 1936. *On seismic Waves III*. Gerl. Beiträge z., 47, 73-131.
- Halicioglu, F., 2009. An econometric study of CO2 emissions, energy consumption, income and foreign trade in Turkey. *Energy Policy*. 37, 1156-1164.
- Harris, R.D.F., & Tzavalis, E., 1999. Inference for unit roots in dynamic panels where the time dimension is fixed. *Journal of Econometrics*. 91, 201-226.
- Hausman, J.A., 1978. Specification Tests in Econometrics. *Econometrica*. 46(6), 1251-1271.
- Hawksworth, J., Chan, D., Dreispiegel, G., Tay, P. & Walewski, M., 2015. *The World in 2050. Will the Shift in Global Economic Power Continue?*. Price WaterHouse Coopers, London, UK.
- Helm, D. 2012. *The Carbon Crunch*. YALE University Press. New Haven, Connecticut.
- Hettige, H., Mani, M., & Wheeler, D., 2000. Industrial pollution in economic development: the environmental Kuznets curve revisited. *Journal of Development Economics*. 62, 445-476.
- Hu, X., Ralph, D., Ralph, E., Bardsley, P., & Ferris, M., 2004. *Electricity generation with looped transmission networks: Bidding to an ISO*. Working paper CMI EP 65, Department of Applied Economics, University of Cambridge, Cambridge, UK.
- Hubbert, M., 1956. Nuclear Energy and the Fossil Fuels. *American Petroleum Institute Drilling and Production Practice, Proceedings of Spring Meeting*. 7-25.
- Hubbert, M., 1971. The Energy Resources of the Earth. *Scientific American*, 225, 60-73.
- Instituto Geográfico Nacional de España, 2019. *Bases de datos geográficas. Cartografía y datos geográficos*. Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana.
- Instituto Geológico y Minero de España, 2019. *Mapa de riesgos sísmicos en España*. Ministerio de Ciencia e Innovación.
- International Energy Agency, 2003. *Energy to 2050. Scenarios for a Sustainable Future*. OECD/IEA, Paris.
- International Energy Agency, 2019. *International Energy Outlook*. U.S. Department of Energy, Washington, DC.
- IPCC, 2018. *Global Warming of 1.5 °C, Special Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change, New York.

- Jiménez, L., & Pérez, E. 2019. *Economía Circular-espiral*. Ecobook. Madrid.
- Jobert, T., & Karanfil, F., 2007. Sectoral energy consumption by source and economic growth in Turkey. *Energy Policy*. 35, 5447-5456.
- Joule, J.P., 1850. On the mechanical equivalent of heat. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*. 140, 61-82.
- Junta de Castilla y León. 2002. *Energía Solar Térmica: manual del instalador*. Consejería de Industria, Comercio y Turismo. Valladolid.
- Keeling, C. D., 1960. The Concentration and Isotopic Abundances of Carbon Dioxide in the Atmosphere. *Tellus*. 12 (2): 200–203.
- Keçińska, B.; Pająk, L.; Bujakowski, W., Kasztelewicz, A., Hajto, M., Sowizdzał, A., Papiernik, B., Pétrursson, B., Tulinius, H., Thorgilsson, G., Einarsson, Ó., & Peraj, A., 2017. *Geothermal Utilization Potential in Poland - The Town Poddebice*. Selected energetic aspects of current and future geothermal district heating in Poddebice. Part 2.
- Klemperer, P.D., & Meyer, M.A., 1989. Supply Function Equilibria in Oligopoly und Uncertainty. *Econometrica*. 57, 1243-1277.
- Kraft, J., & Kraft, G., 1978. On the relationship between energy and GNP. *Journal of Energy Development*. 3, 401-403.
- Labandeira, X., Labeaga, J.M., & López-Otero, X., 2017a. A meta-analysis on the price elasticity of energy demand. *Energy Policy*. 102, 549-568.
- Labandeira, X., Labeaga, J.M., & López-Otero, X., 2017b. Elasticities of transport fuels at times of economic crisis: An empirical analysis for Spain. *Energy Economics*. 68, 66-80.
- Lamoureux, A., Lee, K., Shlian, M., Shtein, M., & Forrest, S. 2015. Dynamic kirigami structures for integrated solar tracking. *Nature Communication*. 6.
- Lehmann, I. (1936): P', *Publications du Bureau Central Seismologique International Strasbourg*. Série A, Travaux Scientifique, 14 (3), 87-115.
- Luzzati, T., & Orsini, M., 2009. Investigating the energy-environmental Kuznets curve. *Energy*. 34, 291-300.
- Mallick, H., 2009. Examining the linkage between energy consumption and economic growth in India. *The Journal of Developing Areas*. 43, 249-280.
- Maraver, F., Aguilera, L., Armijo, F., Martín, A., Meijide, R., & Felipe, J., 2003. *Vademecum de Aguas Mineromedicinales Españolas*. Instituto de Salud Carlos III. Madrid.
- Martín Vide J., & Olcina Cantos, J., 2001. Climas y tiempos de España. *Alianza Editorial*.

- Mas-Colell, A., Whinston, M.D., & Green, J.R., 1995. *Microeconomic Theory*. Oxford University Press Inc., New York.
- Medlock, K., & Soligo, R., 2001. Economic development and end-use energy demand. *The Energy Journal*. 22, 77-105.
- Mehara, M., 2007. Energy consumption and economic growth: The case of oil exporting countries. *Energy Policy*. 35, 2939-2945.
- Moran, P.A.P., 1950. Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*. 37, 17–23.
- OECD (2018): *OECD Economic Outlook*, Vol. 2018-2, OECD Publishing, Paris.
- Palazuelos, E., 2019. *El Oligopolio que Domina el Sector Eléctrico: Consecuencias para la Transición Energética*. Akal. Madrid.
- Pao, H., & Tsai, C., 2010. CO2 Emissions, energy consumption and economic growth in BRIC countries. *Energy Policy*. 38, 7850-7860.
- Plass, G.N., 1956. Infrared Radiation in the Atmosphere. *American J. Physics*. 24, 303–321.
- Plass, G.N., 1956. Effect of Carbon Dioxide Variations on Climate. *American J. Physics* 24, 376–387.
- Plass, G.N., 1959. Carbon Dioxide and Climate, Scientific. *American J. Physics* 41–47.
- Razzaqui, S., Bilquees, F., & Sherbaz, S., 2011. Dynamic relationship between energy and economic growth: Evidence from D8 countries. *The Pakistan Development Review*. 50, 437-458.
- Roca, J. 2019. *Crisis Climática*. Octaedro. Barcelona
- Siddiqui, R., 2004. Energy and economic growth in Pakistan. *The Pakistan Development Review*. 43, 175-200.
- Siegmund, P. 2019. High-level synthesis report of latest climate science information. Convened by the Science Advisory Group of the UN Climate Action Summit 2019. *United in Science: World Meteorological Organization (WMO); United Nations Environment Programme; Intergovernmental Panel on Climate Change; Global Framework for Climate Services (GFCS)*.
- Soytas, U., Sari, R., & Ewinng, B., 2007. Energy consumption, income, and carbon emissions in the United States. *Ecological Economics*. 62, 482-489.
- Srinivasan, P., & Siddanth, I., 2015. Causality among energy consumption, CO2 emission, economic growth and trade: A case of India. *Foreign Trade Review*. 50, 168-189.

- Stone, R., 1954. Linear expenditure systems and demand analysis: an application to the pattern of British demand, *The Economic Journal*. 64, 511-527.
- Susskind, J., Schmidt, G.A., Lee, & L. Iredell, J.N. 2019. Recent global warming as confirmed by AIRS. *Environ. Res. Lett.* 14, 4.
- Tesla, N. 1913. Tesla Turbine Patent – Patent Prints, Tesla Invention, Tesla Patent, *United States Patent Office. New York*. Application filed jan. 17, 1911.
- Tester, J.W., Drake, E.M., Driscoll, M.J., Golay, M.W., & Peters, W.A. 2005. *Sustainable Energy*. The M.I.T. Press. Cambridge, Mass.
- Theil, H., 1965. The information approach to demand analysis. *Econometrica*. 33, 67-87.
- The Economist Intelligence Unit, 2015. *Long-Term Macroeconomic Forecasts: Key Trends to 2050*, The Economist Intelligence Unit Limited, London, U.K.
- Trenton T., Susan P., Alain B., Adam S., & Carsten F., 2018. Super Hot EGS and the Newberry Deep Drilling Project. *Proceedings, 43rd Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University*. SGP-TR-213.
- Tsani, S., 2010. Energy consumption and economic growth: A causality analysis for Greece. *Energy Economics*. 32, 582-590.
- U.S. Energy Information Administration, 2014. *Price Elasticities for Energy Use in Buildings of United States*, U.S. Department of Energy, Washington DC.
- Varian, H., 2010. *Microeconomía Intermedia: Un Enfoque Actual*, 9ª ed., Antoni Bosch. Barcelona.
- Ventosa, M., Álvaro, B., Andrés, R., & Michel, R., 2005. Electricity market modelling Trends. *Energy Policy*. 33, 897-913.
- Watts, N., et al., 2018. The 2018 report of the Lancet Countdown on health and climate change: shaping the health of nations for centuries to come. *The Lancet Regional Health*. 392, 2479-2514.
- Yu, E., & Jin, J., 1992. Cointegration tests of energy consumption, income, and employment. *Resources and Energy*. 14, 259-266.
- Zamani, M., 2007. Energy consumption and economic activities in Iran. *Energy Economics*. 29, 1135-1140.
- Zhang, X., & Cheng, X., 2009. Energy consumption, carbon emissions, and economic growth in China. *Ecological Economics*. 68, 2706-2712.
- Zhang, Y., 2011. Interpreting the dynamic nexus between energy consumption and economic growth: Empirical evidence from Russia. *Energy Policy*. 39, 2265-2272.

## *Bibliografía General*

## **PÁGINAS WEB**

[www.CartesFrance.fr](http://www.CartesFrance.fr)

<https://www.location-cure.net/stations-thermales/sommaire>

<https://termasdeportugal.pt/rede-termas>

<https://eur-lex.europa.eu/browse/summaries.html>

<https://eur-lex.europa.eu>

<http://www.volcano.si.edu/volcano.cfm?vn=371051>

<http://www.jstor.org/stable/24923117>

<http://pages.mtu.edu/~raman/papers2/Thordarson%20and%20Hoskuldsson%202008%20Postglacial%20volcanism.pdf>





# **APÉNDICE**

## **DOCUMENTAL**



# APÉNDICE A1

## SÍNTESIS DE LA LEGISLACIÓN DE LA UE<sup>170</sup>

### MEDIO AMBIENTE, CAMBIO CLIMÁTICO Y ENERGÍA

#### MEDIO AMBIENTE Y CAMBIO CLIMÁTICO

La Unión Europea aplica una política medioambiental y económica con una serie de finalidades, entre las que se encuentran:

- La protección de los hábitats naturales.
- La garantía de una adecuada eliminación de los residuos.
- La mejora en el conocimiento de los productos químicos tóxicos.
- La ayuda a empresas hacia una economía sostenible.
- La impulsión en las negociaciones internacionales sobre el clima.
- El compromiso del cumplimiento del Acuerdo de París.
- La aplicación del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE).
- La garantía de que el problema del clima se extienda a otros ámbitos políticos como el transporte y la energía.
- El empleo de tecnologías con bajas emisiones de carbono y las medidas de adaptación pertinentes.

---

<sup>170</sup> Eur-Lex: <https://eur-lex.europa.eu/browse/summaries.html>

## **EFICIENCIA ENERGÉTICA**

La eficiencia energética se puede definir como la relación entre un rendimiento, servicios, bienes o energía producidos y la cantidad de energía utilizada. La rigen las Directivas Europeas siguientes:

**RD 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012**, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56): “La eficiencia energética es un aspecto esencial de la estrategia europea para un crecimiento sostenible en el horizonte 2020, y una de las formas más rentables para reforzar la seguridad del abastecimiento energético y para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras sustancias contaminantes”.

**Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE** relativa a la eficiencia energética (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 210-230): Entre otras opciones destaca: «la posibilidad de incluir en el cálculo de la base toda o parte de la energía empleada en el transporte, para de esa manera dar a los Estados Miembros flexibilidad en el cálculo de la cantidad de su ahorro de energía, al tiempo que se garantiza el objetivo de ahorro acumulado de uso final de la energía equivalente al nuevo objetivo anual de ahorro requerido de al menos un 0,8 %».

La Directiva advierte que hay dos sectores esenciales en los que se debe trabajar con especial intensidad:

- Los recursos naturales y su uso eficiente.
- El agua.

El sector energético es el mayor consumidor de agua, aproximadamente el 44 % del consumo, estableciéndose como sector fundamental en la eficiencia energética y en ahorro energético. En cuanto al agua, incluyendo las aguas residuales suponen el 3,5 % del consumo de electricidad en la Unión Europea, mejorando la gestión eficiente del agua. La Directiva impone la implantación de medidas tecnológicas que mejoren estos sectores.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Energía limpia para todos los europeos [COM (2016) 860 final de 30.11.2016].
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva [COM (2015) 80 final de 25.2.2015].
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: Aplicación de la Directiva de eficiencia energética — Orientaciones de la Comisión [COM (2013) 762 final de 6.11.2013].

El objetivo de la Directiva 2012/27/UE, junto con su modificación, es adaptar la legislación de la Unión Europea en materia de energía a los objetivos de

eficiencia energética y clima para 2030 y contribuir a la Estrategia de la Unión de la Energía con el fin de:

- Reducir la dependencia de la UE con respecto a las importaciones de energía.
- Disminuir las emisiones.
- Estimular el empleo y el crecimiento.
- Reforzar los derechos de los consumidores.
- Atenuar la pobreza energética.

Entre las principales modificaciones a la Directiva de 2012, se encuentran:

- La consecución de un objetivo de eficiencia energética del 32,5 % para 2030 y la planificación de mejoras posteriores más allá de dicha fecha.
- La eliminación de obstáculos en el mercado de la energía que dificultan la eficiencia en el abastecimiento y el uso de la energía.
- El establecimiento, por parte de los países de la UE, de sus propias contribuciones nacionales para 2020 y 2030.
- A partir de 2020, los países de la UE exigirán a las empresas de servicios públicos que ayuden a sus clientes a utilizar un 0,8 % menos de energía al año (en el caso de Malta y Chipre un 0,24 %), lo que atraerá inversión privada y propiciará la participación de nuevos competidores en el mercado.
- Normas más claras sobre la medición y la facturación de la energía, reforzando los derechos de los consumidores, en particular de las personas que residen en edificios de apartamentos.
- Los países de la UE deben disponer de normas nacionales transparentes y a disposición del público relativas al reparto de los costes de los servicios de

calefacción, refrigeración y agua caliente en edificios de apartamentos y edificios polivalentes donde se compartan estos servicios.

- El refuerzo de los aspectos sociales de la eficiencia energética teniendo en cuenta la pobreza energética en el diseño de los programas de eficiencia energética y las medidas alternativas.

El Plan de Eficiencia Energética se centra en la eficiencia energética como componente clave de la política energética de la Unión Europea y una herramienta eficaz para combatir el cambio climático, reducir las facturas de energía y crear una menor dependencia de los proveedores externos. En cuanto a la eficiencia energética en los edificios, la Directiva 2010/31/UE fue modificada en 2018 por la Directiva UE 2018/844. El objetivo principal era acelerar la renovación económicamente rentable de los edificios existentes y la promoción de las tecnologías inteligentes en los edificios.

Los países de la UE deben establecer requisitos mínimos óptimos de eficiencia energética que deben ser revisados cada 5 años, cubriendo el edificio, sus componentes y la energía consumida para la calefacción y refrigeración de espacios, el agua caliente sanitaria, la ventilación, la iluminación integrada y otras instalaciones técnicas de los edificios. Los edificios nuevos deben cumplir las normas mínimas. Los edificios que estén ocupados y que sean propiedad de las autoridades públicas deben alcanzar un consumo de energía casi nulo<sup>171</sup> a más tardar el 31 de diciembre de 2018 y los demás edificios nuevos a más tardar el 31 de diciembre de 2020. Los edificios existentes en los que se haga una

---

<sup>171</sup>Edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto. La cantidad muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por fuentes renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.

reforma importante deberán mejorar su eficiencia energética para cumplir los requisitos aplicables.

Los países de la UE deben contar con un sistema de certificación de la eficiencia energética, donde ofrecen información a los posibles compradores o arrendatarios sobre la calificación energética de un edificio; incluyen recomendaciones para la mejora de los niveles rentables; deben mencionarse en todos los anuncios publicitarios que aparezcan en los medios de comunicación cuando un edificio o unidad de un edificio se ponga a la venta o en alquiler. Las autoridades nacionales de los países de la UE deben asegurarse de poner en marcha programas de inspección de las instalaciones de calefacción y aire acondicionado.

El Tratado sobre la Carta de la Energía crea un marco de cooperación internacional entre los países de Europa y otros países industrializados, con el objetivo fundamental de fomentar el potencial energético de los países de Europa central y oriental y garantizar la seguridad de los suministros energéticos de la Unión Europea. El protocolo sobre la eficacia energética y los aspectos medioambientales relacionados pretende impulsar las políticas de eficacia energética compatibles con el desarrollo sostenible, la incitación a una utilización más eficaz y más sana de la energía y el estímulo de la cooperación en el ámbito de la eficacia energética. El Protocolo de la Carta de la Energía se adoptó con arreglo a lo dispuesto en el Tratado, que autoriza expresamente la posibilidad de negociar Protocolos y Declaraciones para lograr los objetivos y principios de la Carta, siendo los objetivos:



- Fomento de políticas de eficacia energética compatibles con el desarrollo sostenible.
- Creación de condiciones que induzcan a los productores y consumidores a utilizar la energía de la forma más económica, eficaz y ecológica posible.
- Estímulo de la cooperación en el campo de la eficacia energética.

Las Partes contratantes se comprometen a establecer políticas de eficacia energética y los marcos legales y reglamentarios adecuados para fomentar aspectos como el funcionamiento eficaz de los mecanismos de mercado, con inclusión de la determinación de precios basados en el mercado.

En cuanto al uso de combustibles y energías renovables, la normativa europea considera el uso de la biomasa como un combustible procedente de material orgánico, como árboles, plantas o residuos agrícolas y urbanos, en la que su producción implica una cadena de actividades, que van del cultivo de las materias primas a la conversión final en energía. En 2012, la biomasa y los residuos representaron aproximadamente dos tercios del consumo total de energía renovable de la UE. La biomasa, producida de forma sostenible, puede ayudar a abordar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Su uso para combustibles de calefacción, generación de electricidad y transporte permite diversificar el suministro de energía, crear empleo y crecimiento en la Unión Europea. La normativa que la rige es el Plan de acción sobre la biomasa [COM (2005) 628 final de 7.12. 2005].

La Directiva sobre las energías renovables es la Directiva UE 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, energía solar térmica y fotovoltaica y energía geotérmica,

calor ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica y energía procedente de biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, y biogás. Los objetivos de esta normativa son:

- Establece un sistema común para promover la energía procedente de fuentes renovables en todos los sectores. En particular, tiene por objeto:
  - Establecer un objetivo vinculante para la UE sobre sus cuotas en la combinación energética para 2030.
  - Regular el autoconsumo por primera vez.
  - Establecer un conjunto común de normas para el uso de renovables en electricidad, calefacción, refrigeración y transporte dentro de la UE.
- La mayor utilización de energía procedente de fuentes renovables será crucial para combatir el cambio climático, proteger el medio ambiente y reducir nuestra dependencia energética, así como para contribuir al liderazgo tecnológico e industrial de la UE, al crecimiento y a la creación de puestos de trabajo, incluyendo zonas rurales y aisladas.

**Reglamento UE 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento CE 842/2006.**

Este Reglamento establece normas sobre contención, uso, recuperación y destrucción de gases fluorados, prohibiendo la venta de determinados productos que contengan estos gases de tipo hidrofluorocarburos<sup>172</sup> (HFC),

---

<sup>172</sup> Los HFC se utilizan como refrigerantes, disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas (como extintores).

perfluorocarburos<sup>173</sup> (PFC) y hexafluoruros de azufre<sup>174</sup> (SF6) y estableciendo un límite general anual para el impacto climático de los HFC, de manera que se vayan reduciendo paulatinamente.

### **Reglamento UE 2018/1999 sobre la Gobernanza de la Unión de la Energía.**

Este Reglamento tiene como objetivo:

- Asegurar que la Estrategia de la Unión de la Energía de la Unión Europea se implemente de manera coordinada y coherente en las cinco dimensiones, que son:
  - Seguridad energética.
  - Mercado interior de la energía.
  - Eficiencia energética.
  - Descarbonización.
  - Investigación, innovación y competitividad.
- Asegurar que la Unión de la Energía alcance sus objetivos, en particular los del Marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030 y los del Acuerdo de París sobre el cambio climático.
- Deroga el Reglamento UE 525/2013 relativo a los mecanismos de seguimiento y notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El Reglamento requiere que los países miembros de la UE presenten un plan nacional integrado de energía y clima para el período de 2021 a 2030, y luego cada diez años durante los períodos sucesivos de diez años. Establece un

---

<sup>173</sup> Los PFC se utilizan en la fabricación de semiconductores como disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas.

<sup>174</sup> Los hexafluoruros de azufre se utilizan en equipos de conmutación de alta tensión y en la producción de magnesio.

proceso de consulta entre la Comisión Europea y los países de la UE, y la cooperación regional entre los países de la UE antes de la finalización de los planes y luego cada diez años durante los períodos sucesivos de diez años. Para el período hasta 2030, los planes deben actualizarse a más tardar el 30 de junio de 2024. Se exigirán a los países de la UE informes sobre estrategias de reducción de emisiones a cincuenta años vista, además de informes de progreso bienales relativos a la implementación de los planes a partir de 2021 en las cinco dimensiones de la Unión de la Energía, para supervisar el progreso.

La Comisión deberá controlar y evaluar el progreso de los países de la UE en lo relativo a las metas, los objetivos y las contribuciones establecidos en sus planes nacionales, así como los requisitos de los sistemas de inventarios nacionales y de la UE para las emisiones de gas de efecto invernadero, políticas, medidas y proyecciones.

## **LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO**

### **MECANISMO PARA EL SEGUIMIENTO DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

**Reglamento (UE) nº 525/2013 del 21 de mayo de 2013 (en vigor desde el 8 de julio de 2013): mecanismo para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otra información relevante para el cambio climático.**

El presente Reglamento amplía y refuerza el mecanismo anterior para el seguimiento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en la Unión

Europea (UE). Tiene por objeto mejorar los procedimientos de supervisión y notificación, así como las normas establecidas para las emisiones de GEI.

Incorpora nuevos requisitos de notificación y seguimiento que se derivan del paquete de medidas sobre energía y clima hasta 2020 de la UE y de las decisiones adoptadas recientemente en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y sustituye al antiguo mecanismo de supervisión establecido en el marco de la Decisión nº 280/2004/CE.

El Reglamento nº 525/2013:

- Mejora los procedimientos y las normas de supervisión, notificación y revisión, lo que permite la aplicación de compromisos nacionales e internacionales.
- Establece un sistema de inventario de gases de efecto invernadero en toda la UE que tiene por objeto reforzar la transparencia y la coherencia entre los inventarios de GEI de los países de la UE.
- Incorpora la información relativa a los planes y las estrategias de adaptación al cambio climático de los países de la UE, que incluye aspectos como las inundaciones, las sequías y las temperaturas extremas.
- Refuerza las notificaciones de la UE y de los países de la UE relativas a la ayuda financiera y tecnológica proporcionada a los países en desarrollo.
- Garantiza la oportunidad, integridad, exactitud, comparabilidad y transparencia de los datos notificados por la UE y los países de la UE.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento delegado (UE) nº 666/2014 de la Comisión, de 12 de marzo de 2014, que establece los requisitos sustantivos para el sistema de inventario

de la Unión y toma en consideración las modificaciones de los potenciales de calentamiento global y las directrices sobre inventarios acordadas internacionalmente con arreglo al Reglamento (UE) n° 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 179 de 19.6.2014, pp. 26-30).

- Reglamento de Ejecución (UE) n° 749/2014 de la Comisión, de 30 de junio de 2014, relativo a la estructura, el formato, los procesos de presentación de información y la revisión de la información notificada por los Estados miembros con arreglo al Reglamento (UE) n° 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 203 de 11.7.2014, pp. 23-90).
- Informe de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo: Progresos en la consecución de los objetivos de Kioto y de la UE para 2020 [en aplicación del artículo 21 del Reglamento (UE) n° 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2013, relativo a un mecanismo para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y para la notificación, a nivel nacional o de la Unión, de otra información relevante para el cambio climático, y por el que se deroga la Decisión n° 280/2004/CE] [COM(2014) 689 final de 28 de octubre de 2014].

## **NEGOCIACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS SOBRE EL CLIMA:**

### **PANORAMA GENERAL**

**Artículo 191 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea (TFUE) en cuanto a su aplicación a la participación de la UE en las negociaciones de las Naciones Unidas sobre el cambio climático.**

El artículo 191 del Tratado de Funcionamiento de la Unión Europea define los objetivos y principios de la política de la Unión Europea en el ámbito del medio

ambiente y respalda la participación de la UE en las negociaciones de las Naciones Unidas sobre el clima. En particular:

- El cuarto guion del apartado 1 del artículo 191 del TFUE menciona concretamente que uno de los objetivos clave de la política de medio ambiente de la UE es el fomento de medidas a escala internacional destinadas a hacer frente a los problemas regionales o mundiales del medio ambiente, en particular a luchar contra el cambio climático.
- El cuarto párrafo del artículo 191 hace referencia a la cooperación en este ámbito con otros países y organizaciones internacionales, como las Naciones Unidas.

Las negociaciones sobre clima de las Naciones Unidas tienen por objeto asegurar el acuerdo internacional sobre medidas efectivas para abordar el calentamiento global. El primero, en 1992, fue un compromiso de mantener el incremento del calentamiento global por debajo de 2 C° en relación con la época preindustrial.

La adopción de un nuevo acuerdo mundial sobre el clima en 2015 para acelerar la transición a una economía hipocarbónica marcó la culminación de los años de esfuerzos de la comunidad internacional para llegar a un acuerdo multilateral universal en materia de cambio climático.

Las fases clave en la lucha contra el cambio climático fueron:

- 1992: La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) estableció una base para la cooperación internacional con el fin de luchar contra el cambio climático limitando los aumentos de la temperatura media mundial y el cambio climático que suponen.

- 1997: Se aprobó el Protocolo de Kioto, el primer acuerdo jurídicamente vinculante en recortar las emisiones de gases de efecto invernadero. Los países desarrollados participantes se comprometieron a reducir sus emisiones totales al menos un 5 % en un primer período de compromiso (entre 2008 y 2012) en relación con los niveles de 1990. Los, en ese momento, quince países de la UE se comprometieron por su parte a una reducción del 8 %.
- 2009: En Copenhague, se alcanzó un acuerdo político que exigía acciones concretas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Fue la primera vez en que las principales economías adquirieron compromisos internacionales explícitos sobre el clima. Fue ratificado por más de 140 países.
- 2010: En Cancún, se reconoció por primera vez en una decisión formal de las Naciones Unidas que el calentamiento global debe mantenerse por debajo de los 2 C° en comparación con las temperaturas preindustriales. Se reconoció que debían reforzarse los esfuerzos generales para lograr dicho objetivo.
- 2011: En Durban, se confirmó la necesidad de un nuevo acuerdo jurídico para luchar contra el cambio climático más allá de 2020; un acuerdo en el que cada país pueda desempeñar su parte de la mejor manera posible. Esto debía acordarse en 2015.
- 2012: En Doha, se aprobó el acuerdo de treinta y ocho países desarrollados, incluida la UE, para participar en un segundo período de compromisos de Kioto (2013-2020). Este abarca el 14 % de las emisiones mundiales.



- 2013: En Varsovia, se elaboró un programa para que los países presenten sus contribuciones a la reducción o limitación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el marco del nuevo acuerdo mundial sobre el clima que debía finalizar en 2015.
- 2014: En Lima, se adoptaron los compromisos de Varsovia, que exigían que todos los países describieran sus contribuciones al acuerdo de 2015 de forma clara, transparente y comprensible. Además, se acordaron elementos propuestos para el acuerdo, así como la aceleración del programa de acción para antes de 2020.
- 2015 (COP 21): En París, se adoptó el primer acuerdo universal sobre cambio climático jurídicamente vinculante de la historia, que se va a aplicar a partir de 2020. Dicho acuerdo establece un plan global de acción para poner el mundo en el buen camino a fin de evitar el peligroso cambio climático limitando el calentamiento global a muy por debajo de 2 C°. La contribución de la UE al nuevo acuerdo es un objetivo vinculante de reducción de emisiones de como mínimo un 40 % para 2030.
- 2016 (COP 22): En Marrakech, el propósito de la conferencia fue discutir e implementar planes para combatir el cambio climático y la demostración de actividad respecto al Acuerdo de París. Los temas principales de la vigésimo segunda sesión fueron la gestión del agua y la descarbonización del suministro de energía.
- 2017 (COP23): En Bonn, fue una reunión internacional de líderes políticos, actores no estatales y activistas para discutir temas ambientales. El propósito de la conferencia fue discutir e implementar planes sobre la lucha contra el cambio climático, incluidos los detalles de funcionamiento del Acuerdo de

París después de su entrada en vigor en 2020. La COP23 concluyó con lo que se denominó el 'Impulso de Fiji para la implementación', que describió los pasos que debían tomarse en 2018 para que el Acuerdo de París fuera operativo, y además se lanzó el Diálogo de Talanoa, un proceso diseñado para ayudar a los países a mejorar e implementar sus «contribuciones determinadas a nivel nacional» para 2020.

- 2018 (COP 24): En Katowice, tras la salida de los Estados Unidos del Acuerdo de París, China tomó un rol principal en la realización de las reuniones preparatorias para la conferencia. La conferencia estableció reglas para la implementación del Acuerdo de París, que entrará en vigor en 2020.
- 2019 (COP 25): En Madrid, bajo la presidencia de Chile, se incluyeron la decimoquinta reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (CMP15) y la segunda reunión de las Partes del Acuerdo de París (CMA 2). Las negociaciones sobre la implementación del Acuerdo de París, en particular respecto de los mercados del carbono, estaban trabadas por la oposición de países como Estados Unidos, Brasil y Australia, y el borrador presentado por la presidencia de la COP25 fue duramente criticado por organizaciones medioambientales, presentándose un nuevo borrador de acuerdo, que tampoco logró consenso.
- 2020 (COP 26): No se realizó debido a la pandemia de coronavirus (COVID-19).
- 2021 (COP 26): En Glasgow, se realizará del 1 al 12 de noviembre del 2021.

## **COMBATIR EL CAMBIO CLIMÁTICO MÁS ALLÁ DE 2020 (PROTOCOLO DE PARÍS)**

La Política energética de la Unión Europea surgió a raíz de las dos crisis energéticas acaecidas durante los años 70.

Entre los retos a los que se enfrenta la Unión Europea en el ámbito de la energía figuran: i) existe mayor dependencia energética con respecto a las importaciones, ii) hay una diversificación energética limitada, iii) los precios de la energía son elevados y volátiles, iv) la demanda mundial de energía es creciente, v) existen riesgos de seguridad que afectan a los países productores y a los de tránsito, vi) aumentan las amenazas derivadas del cambio climático, vii) los progresos realizados en materia de eficiencia energética son lentos, viii) los desafíos que plantea el aumento de la cuota de las energías renovables son grandes, ix) es necesaria una mayor transparencia y una mejor integración e interconexión de los mercados de la energía.

### **Comunicación [COM (2015) 81final]: El Protocolo de París, un plan rector para combatir el cambio climático más allá de 2020.**

El objetivo de esta comunicación ha sido:

- Describir cómo la Unión Europea ha tomado la iniciativa a la hora de fijar objetivos ambiciosos en el acuerdo jurídicamente vinculante de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. La no toma inmediata de medidas provocará por parte del cambio climático daños graves e irreversibles a la humanidad y el medio ambiente. Por lo que todos

los países debían reducir considerablemente sus emisiones de gases de efecto invernadero.

- Establecer los objetivos de la UE para la Conferencia de París sobre el Clima y la manera en que debían alcanzarse, incluyendo el objetivo a largo plazo de reducir para el año 2050 las emisiones globales hasta el 60 % de los niveles de 2010.

Este acuerdo, conocido como «Protocolo de París», debe:

- Incluir la participación de tantos países como sea posible y una cobertura de todos los sectores, incluida la agricultura y la aviación y el transporte marítimo internacionales, así como las emisiones.
- Incluir compromisos sólidos para mitigar los efectos del cambio climático.
- Revisar de forma periódica estos esfuerzos de mitigación cada cinco años a partir del 2020.
- Incluir normas para supervisar, informar y verificar que todos los países signatarios del acuerdo se encuentren en vías de cumplir sus compromisos.
- Promover las inversiones, mediante financiación pública y privada, en programas y políticas de bajas emisiones y resistentes al cambio climático.
- Alentar un intercambio más sistemático de experiencias y buenas prácticas dentro y entre las distintas partes del mundo.
- Apoyar el desarrollo y la implantación de un amplio abanico de tecnologías climáticas, incluidas aquellas relativas a la producción de energía, los sistemas de gestión de los recursos hídricos y las tecnologías para luchar contra los efectos de las condiciones meteorológicas extremas.

El núcleo de la política energética europea está constituido por una serie de medidas destinadas a lograr un mercado de la energía integrado, la seguridad del suministro energético y la sostenibilidad del sector energético.

## **1. POLÍTICA DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA UE**

### **MARCO ESTRATÉGICO DE LA UE EN MATERIA DE CLIMA Y ENERGÍA (PARA 2020-2030)**

La Comisión Europea propone un marco para las políticas en materia de clima y energía de la Unión Europea (UE) del período 2020-2030 que se base en los progresos logrados para cumplir los objetivos de emisiones de gases de efecto invernadero, energía renovable y ahorro energético establecidos para 2020. La piedra angular del marco de 2030 es una reducción del 40 % de las emisiones de gases de efecto invernadero para 2030.

Sobre la base del Libro Verde publicado en marzo de 2013, la Comunicación reitera la importancia de seguir avanzando a favor de una economía hipocarbónica que garantice una energía competitiva a un precio asequible para los consumidores, ofrezca oportunidades para el crecimiento económico y el empleo, aporte mayor seguridad de abastecimiento energético y reduzca la dependencia respecto a las importaciones de energía.

La Comisión propone que el marco de clima y energía 2030 debería basarse en la plena aplicación de los objetivos establecidos para 2020 y en los siguientes aspectos:

- Una reducción del 40 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE en 2030 con respecto al nivel de 1990, que se alcanzará exclusivamente a través medidas nacionales. Las medidas incluyen la combinación de una reducción del 43 % de las emisiones en relación con 2005 en el sector del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión (RCDE) y las acciones nacionales de los Estados Miembros para reducir un 30 % las emisiones de los sectores al margen del comercio de derechos de emisión.
- El incremento de la cuota de las energías renovables consumidas en la UE hasta, como mínimo, el 27 %, de obligado cumplimiento para la UE, pero no en el ámbito nacional con el fin de conceder flexibilidad a los Estados Miembros para lograr sus objetivos de la manera más rentable.
- Una reforma del RCDE mediante la creación de una nueva reserva para la estabilidad del mercado, así como un tope más estricto para el máximo anual de emisiones para después de 2020. Junto con esta Comunicación se publicó una propuesta legislativa para establecer la reserva.
- Una mejora de la eficiencia energética, esencial para la competitividad, seguridad de abastecimiento energético y sostenibilidad.
- Un nuevo sistema de gobernanza europeo para alcanzar los objetivos de energía y clima. Los Estados Miembros deben establecer planes nacionales para una energía competitiva, segura y sostenible. Estos planes serán revisados y evaluados por la Comisión.
- Los indicadores clave para evaluar los avances logrados en todos los aspectos de competitividad, seguridad y energía sostenible.

**Documentos Conexos:**

- Propuesta de decisión del Parlamento Europeo y del Consejo relativa al establecimiento y funcionamiento de una reserva de estabilidad del mercado en el marco del Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la Unión, y por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE [COM(2014) 20/2 de 22.1.2014].
- Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (DO L 315 de 14.11.2012).
- Directiva 2009/28/CE relativa a fuentes de energía renovables (DO L 140 de 5.6.2009).
- Directiva 2009/29/CE por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (Directiva revisada sobre RCDE) (DO L 140 de 5.6.2009).
- Decisión no 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020 (DO L 140 de .5.6.2009).
- Hoja de Ruta de la Energía para 2050 [COM (2011) 885 final de 15.12.2011].
- Hoja de Ruta hacia una Economía Hipocarbónica Competitiva en 2050 [COM (2011) 112 final de 8.3.2011].
- Directiva 2013/18/UE del Consejo, de 13 de mayo de 2013, por la que se adapta la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, con motivo de la adhesión de la República de Croacia (DO L 158 de 10.6.2013).
-

## **PAQUETE DE MEDIDAS SOBRE CLIMA Y ENERGÍA HASTA 2020**

**Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.**

El paquete de medidas sobre clima y energía incluye la legislación complementaria, con el objetivo de garantizar que la Unión Europea cumple sus objetivos en materia de clima y energía para 2020. El paquete establece tres objetivos fundamentales:

- 20 % de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en relación con los niveles de 1990.
- 20 % de mejora de la eficiencia energética de la UE.
- 20 % de energías renovables en la UE.

Estos objetivos pretenden disminuir el cambio climático, aumentar la seguridad energética de la UE y reforzar su competitividad.

Los puntos más destacados son:

- Reformar el régimen de comercio de derechos de emisión de la UE.
- Revisar el régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE), que abarca, aproximadamente, el 45 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE e Islandia, Liechtenstein y Noruega.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del sector energético y de las industrias pesadas de forma rentable, poniendo un precio de



mercado a las emisiones mediante la aplicación de una política de limitación y comercio.

En cuanto a la revisión, esta entró en vigor en el 2013 e introduce en el sistema los siguientes aspectos:

- Un único límite máximo de derechos de emisión para toda la UE (que se reduce cada año un 1,74 %), que sustituye al sistema de límites nacionales, de forma que, en 2020, las emisiones sean un 21 % más bajas que las registradas en 2005.
- La subasta (compra de derechos de emisión) para sustituir progresivamente la asignación gratuita de derechos de emisión, empezando por el sector energético.
- Una mayor cobertura en cuanto a sectores y gases (dióxido de carbono, óxido nitroso y perfluorocarbonos).

Entre los objetivos nacionales para las emisiones no incluidas en el RCDE UE destacan:

- El segundo texto legal del paquete es la Decisión de reparto del esfuerzo. Esta Decisión establece objetivos anuales vinculantes para cada país de la UE con el fin de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero en los sectores no cubiertos por el RCDE UE, como la vivienda, la agricultura, los residuos y el transporte (excluida la aviación).
- Los objetivos nacionales, que cubren el período 2013-2020, varían en función de la riqueza relativa de los países de la UE y van desde una reducción del

20 % de las emisiones (en relación con los niveles de 2005) para los países más ricos de la UE hasta un incremento del 20 % para los menos ricos. Sin embargo, todos los países deben esforzarse por limitar sus emisiones, notificando cada año sus emisiones en virtud del mecanismo de seguimiento de la UE.

Los objetivos nacionales de energías renovables con arreglo a la Directiva sobre fuentes de energía renovables:

- El tercer texto jurídico del paquete, a los países de la UE se les marcan objetivos vinculantes para que aumenten su porcentaje de energías renovables en su consumo energético de aquí a 2020. Estos objetivos varían según el uso de renovables de cada país y la capacidad para aumentar su producción (que va desde el 10 % en Malta hasta el 49 % en Suecia).
- Los objetivos nacionales permitirán que el conjunto de la UE alcance el objetivo del 20 % de energías renovables en 2020 (más del doble que el nivel registrado en 2010 del 9,8 %) y una cuota del 10 % de energías renovables en el sector del transporte.
- Los objetivos ayudarán a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la dependencia de la UE de la energía importada. Al menos un 10 % del combustible del transporte de cada país debe ser renovable. Los biocarburantes deben respetar los criterios de sostenibilidad acordados.

En cuanto a la captura y almacenamiento de carbono la cuarta parte del paquete de clima y energía es una directiva que crea un marco jurídico para el uso respetuoso con el medio ambiente de las tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC). La CAC implica la captura del dióxido de

carbono emitido por los procesos industriales y su almacenamiento en formaciones geológicas subterráneas, de manera que no contribuya al calentamiento global.

La Directiva cubre todo el almacenamiento subterráneo de CO<sub>2</sub> de la UE y establece los requisitos exigibles durante toda la vida útil de los emplazamientos de almacenamiento.

**Principio de limitación y comercio:** El RCDE UE funciona aplicando el principio de «limitación y comercio». Se establece un límite sobre la cantidad total de determinados gases de efecto invernadero que pueden emitir las fábricas, las centrales eléctricas y otras instalaciones del sistema. Con el tiempo, la limitación se va reduciendo, de modo que disminuyan las emisiones totales. El sistema permite el comercio de derechos de emisión, con el fin de que las emisiones totales de las instalaciones y los operadores de aeronaves permanezcan dentro de la limitación y que puedan aplicarse medidas de menor coste para reducir las emisiones.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/29/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE para perfeccionar y ampliar el régimen comunitario de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 63-87).
- Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos

adquiridos por la Comunidad hasta 2020 (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 136-148).

- Directiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican la Directiva 85/337/CEE del Consejo, las Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE y el Reglamento (CE) nº 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 114-135).

**PROGRAMA DE MEDIO AMBIENTE Y ACCIÓN POR EL CLIMA (LIFE) (2014-2020)**

**Reglamento (UE) nº 1293/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, relativo al establecimiento de un Programa de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE) y por el que se deroga el Reglamento (CE) no 614/2007.**

Este Reglamento establece la quinta edición del Programa LIFE, el principal marco de financiación de la Unión Europea para la política de medio ambiente y cambio climático. Se centra tanto en prioridades políticas concretas en materia de medio ambiente y clima, como en áreas de acción.

El Programa de Medio Ambiente y Acción por el Clima (LIFE) para el periodo de 2014 a 2020 tiene por objetivo contribuir al desarrollo sostenible y al logro de los objetivos y metas de la Estrategia Europa 2020, del VII Programa de Medio Ambiente y de otras iniciativas de la UE pertinentes en materia de medio ambiente y de cambio climático.

El programa está dividido en dos subprogramas: Medio Ambiente y Acción por el Clima) donde introduce proyectos integrados que se desarrollan a gran escala, empezando desde el nivel regional o de múltiples ciudades. Dichos proyectos están destinados a aplicar la política de medio ambiente y cambio climático a través de estrategias y planes basados en la legislación de la UE, y mediante la integración de dichas políticas en otros ámbitos políticos. Para lograr tal meta, la intención es movilizar fondos complementarios, en particular de la UE.

Aparecen dos instrumentos financieros para la financiación de proyectos mediante préstamos y capital: el PF4EE (instrumento de financiación privada para la eficiencia energética) y el NCFE (mecanismo de financiación del capital natural), cofinanciado por la Comisión y el Banco Europeo de Inversiones (BEI) durante la fase piloto.

En total se destinará a los proyectos un mínimo del 81 % de los recursos de LIFE.

Entre los objetivos principales de LIFE se incluyen:

- Funcionar como un catalizador de los cambios en la elaboración de las políticas en materia de medio ambiente y cambio climático.
- Fomentar la aplicación e integración de los objetivos medioambientales y climáticos en otras políticas y en la práctica en los países de la UE.
- Apoyar una mejor gobernanza.
- Establecer un vínculo específico con otras prioridades de la UE, como mejorar la eficiencia en el uso de los recursos, frenar la pérdida de biodiversidad y contribuir a la mitigación del clima y a la adaptación al mismo.

**El subprograma Medio Ambiente**, del que se destaca el 75 % del presupuesto, comprende tres áreas prioritarias:

- Medio ambiente y eficiencia en el uso de los recursos.
- Naturaleza y biodiversidad.
- Gobernanza e información climáticas.

Estas prioridades abarcan siete prioridades temáticas: i) naturaleza y biodiversidad; ii) agua, incluido el medio marino; iii) residuos; iv) eficiencia en el uso de los recursos, incluidos el suelo y los bosques, así como la economía verde y circular; v) medio ambiente y salud, incluidos los productos químicos y el ruido; vi) calidad del aire y emisiones, incluido el medio ambiente urbano; y vii) gobernanza e información.

**El subprograma Acción por el Clima**, del que se destaca el 25 % del presupuesto comprende tres áreas prioritarias:

- Mitigación (contribución a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero).
- Adaptación (respaldo de los esfuerzos para alcanzar una mayor resiliencia al cambio climático).
- Gobernanza e información climáticas LIFE (sensibilización sobre cuestiones climáticas).

Durante el primer programa de trabajo plurianual (2014-2017), las asignaciones nacionales únicamente se aplicarán a proyectos «tradicionales» como, mejores prácticas, proyectos de demostración, piloto o de información, sensibilización y difusión y al NCFE dentro del subprograma Medio Ambiente. A partir de 2018, la selección de dichos proyectos se realizará exclusivamente sobre la base de los méritos.

Los países no pertenecientes a la UE podrán participar en LIFE según las disposiciones de un acuerdo específico celebrado con la Comisión. Se podrán realizar actividades fuera de la UE en el marco del programa en determinadas circunstancias.

El Programa LIFE 2014-2020 dispone de un presupuesto total de, aproximadamente, 3. 456,7 millones de euros.

**Documentos Conexos:**

- Decisión de Ejecución 2014/203/UE de la Comisión, de 19 de marzo de 2014, relativa a la aprobación del programa de trabajo plurianual LIFE para 2014-2017 (DO L 116 de 17.4.2014).

**HACIA UNA ECONOMÍA HIPOCARBÓNICA EN 2050**

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050 [COM (2011) 112 final de 8.3.2011].**

Esta Comunicación presenta una hoja de ruta hasta 2050 con las distintas vías para conseguir el objetivo de reducción de emisiones de GEI de la UE, recogiendo los objetivos intermedios que indicarán si la UE está en vías de crear una economía hipocarbónica y estableciendo los retos políticos, las necesidades de inversión y el papel que deben desempeñar los distintos sectores.

El análisis de la Comisión sugiere que la vía más rentable para alcanzar el objetivo general sería una reducción de las emisiones internas entre el 40 % y 60 % respecto a los niveles de 1990 de aquí a 2030 y 2040, respectivamente.

Todos los sectores deberán contribuir a la transición hacia una economía hipocarbónica, y la presente hoja de ruta establece las contribuciones de los siguientes sectores:

- El sector eléctrico puede eliminar prácticamente todas las emisiones de CO<sub>2</sub> de aquí a 2050, especialmente generando electricidad a partir de fuentes renovables mediante las tecnologías más avanzadas ya existentes.
- El sector transporte podría reducir más del 60 % de las emisiones siendo más sostenible con una mayor eficiencia de los vehículos, la utilización de vehículos eléctricos y una energía más limpia.
- El sector edificación puede reducir las emisiones actuales un 90 % mediante una mejora de la eficiencia.
- El sector industria puede recortar sus emisiones de GEI más del 80 % a través de procesos más eficientes, el reciclaje y las nuevas tecnologías.
- El sector agrícola, a pesar de que, de aquí a 2050, se estima una tercera parte de las emisiones totales de la UE, puede reducir las emisiones entre un 42 % y un 49 % mediante técnicas, que incluyen una dieta más saludable con menos carne.

Para lograr estos objetivos será necesaria una importante inversión pública y privada durante las próximas cuatro décadas. La Comunicación estima que esta inversión adicional en toda la UE ascenderá aproximadamente a 270.000 millones de euros anuales, o el 1,5 % del producto interior bruto de la UE.



Por otro lado, los beneficios potenciales, además de combatir el cambio climático y utilizar los recursos de manera más eficiente, son importantes, entre ellos se encuentran los siguientes:

- Reducir los costes medios del combustible de la Unión Europea por un valor de 175.000 y 320.000 millones de euros anuales.
- Reducir la dependencia de la Unión Europea respecto a las importaciones de combustibles fósiles.
- Estimular un cambio estructural en la economía de la Unión Europea creando cientos de miles de puestos de trabajo.
- Mejorar la calidad del aire y la salud de los ciudadanos de la Unión Europea.

Para contener el cambio climático por debajo de los 2 C° la UE pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80 % y un 95 % de aquí a 2050 respecto a los niveles de 1990.

## **1.1. POLÍTICA CLIMÁTICA A LARGO PLAZO**

### **REDUCCIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA 2020: DECISIÓN DE REPARTO DE ESFUERZO**

**Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados Miembros para reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020.**

La Decisión de reparto de esfuerzo (DRE) establece los objetivos anuales vinculantes de emisiones de gases de efecto invernadero para los países de la Unión Europea para el período 2013-2020. Estos objetivos se refieren a las emisiones de la mayor parte de los sectores no incluidos en el régimen de

comercio de derechos de emisión de la UE, como el transporte (salvo la aviación y el transporte marítimo internacional), la construcción, la agricultura y la gestión de residuos.

La Decisión de reparto del esfuerzo forma parte de un conjunto de políticas y medidas sobre el cambio climático y la energía -conocido como «paquete de medidas sobre clima y energía» - que ayudarán a Europa a avanzar hacia una economía hipocarbónica y aumentar su seguridad energética.

La DRE establece objetivos nacionales de emisión para 2020, expresados en cambios porcentuales en relación con los niveles de emisiones de 2005. Asimismo, fija las toneladas de emisiones de gases invernadero que cada país de la UE puede emitir cada año de 2013 a 2020 en los sectores regulados por la Decisión.

Los objetivos de emisión para 2020 se han establecido basándose en la riqueza relativa de los países de la UE según el producto interior bruto: producto interior bruto per cápita, y van desde una reducción del 20 % de las emisiones para 2020, respecto a los niveles de 2005 para los países más ricos de la UE hasta un incremento del 20 % para el menos rico, Bulgaria.

Para garantizar un avance constante hacia el objetivo para 2020, la DRE fija límites de emisiones de gases de efecto invernadero para cada país y año. Estos límites se denominan asignaciones anuales de emisiones (AAE).

Los mecanismos de flexibilidad establecidos para alcanzar los objetivos 2020 permite que los países de la UE reduzcan las emisiones de un modo eficaz en términos de coste, donde los países de la UE pueden tomar el 5 % de sus AAE del año siguiente y comprar AAE de otros países de la UE o adquirir créditos

procedentes de determinados proyectos. En caso de que un país de la UE reduzca sus emisiones más de lo necesario y, por tanto, exceda el objetivo establecido para un año dado, puede acumular las AAE excedentes para su uso posterior hasta 2020 o venderlas a otros países de la UE.

Cada país debe presentar un informe anual a la Comisión sobre sus emisiones y los progresos realizados para alcanzar su objetivo.

Si un país emite más gases de efecto invernadero de lo permitido en un año, deberá comunicarlo a la Comisión cómo prevé «reconducir la situación» y tendrá que pagar una «cuota» en forma de un objetivo de emisiones más estricto para el año siguiente.

Para hacer frente al calentamiento global, la Unión Europea se compromete a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero al menos un 20 % para 2020 con respecto a los niveles de 1990. Para alcanzar este objetivo, la UE ha adoptado dos leyes principales:

- El RCDE UE, que abarca más de 11.000 centrales eléctricas e instalaciones industriales, así como compañías aéreas.
- La DRE, que obliga a cada uno de los veintiocho países de la UE<sup>175</sup> a contribuir con una cuota específica al objetivo global de la UE de reducción del 20 %. Este objetivo puede alcanzarse mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en la mayoría de los sectores no incluidos en el RCDE UE.

### **Documentos Conexos:**

---

<sup>175</sup> El Reino Unido se retira de la Unión Europea y se convierte en un tercer país (no perteneciente a la UE) a partir del 1 de febrero de 2020.

- Decisión 2013/162/UE de la Comisión, de 26 de marzo de 2013, por la que se determinan las asignaciones anuales de emisiones de los Estados miembros para el período de 2013 a 2020, de conformidad con la Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 90 de 28.3.2013, pp. 106-110).
- Decisión de Ejecución 2013/634/UE de la Comisión, de 31 de octubre de 2013, relativa a los ajustes de las asignaciones anuales de emisiones de los Estados miembros para el período 2013-2020 de conformidad con la Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 292 de 1.11.2013, pp. 19-22).

### **RÉGIMEN PARA EL COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

En virtud del Protocolo de Kioto sobre cambio climático, acordado en diciembre de 1997, la UE se comprometió a reducir las emisiones de GEI en un 8 % entre 2008 y 2012, en comparación con los niveles de 1990.

En el segundo periodo contemplado en Kioto (2013-2020), este compromiso aumento al 20 % de los niveles de 1990 para 2020.

Durante la cuarta fase del RCDE UE (2021-2030), la UE tiene el objetivo de reducir sus emisiones en un 40 % como mínimo para 2030, en línea con el Acuerdo de París sobre cambio climático de 2015. Para cumplir estos objetivos, la UE estableció un sistema de comercio de derechos de GEI. Cada derecho cubre la emisión de 1 tonelada de CO<sub>2</sub> o equivalente de CO<sub>2</sub> a lo largo de un periodo específico.

**Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo (DO L 275, 25.10.2003, pp. 32-46).**

Esta es la piedra angular de la política de la UE para luchar contra el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero de una forma rentable y económicamente eficiente. Está basado en el principio de «tope y trueque».

Los países de la UE han modificado en varias ocasiones la legislación original a medida que el sistema ha ido evolucionando. Los cambios más recientes se acordaron en marzo de 2018.

La fase actual del RCDE UE se extiende desde 2013 hasta 2020.

El régimen se aplica a:

- Centrales eléctricas.
- Sectores industriales de alto consumo energético.
- Tráfico de aeronaves entre los aeropuertos de la UE, Noruega e Islandia.
- Emisiones de dióxido de carbono, óxido nitroso, perfluorocarburos, metano, hidrofluorocarburos y hexafluoruro de azufre.

Desde el 1 de enero de 2005, los operadores de las actividades contempladas en la legislación deben entregar un número adecuado de derechos de emisión para cubrir sus emisiones de GEI. El número total de derechos emitidos en la UE se reduce anualmente: en un 1,74 % entre 2013 y 2020 y en un 2,2 % a partir de 2021.

El tráfico aéreo hacia aeropuertos de la UE, Islandia o Noruega procedente de cualquier parte del mundo está exento del RCDE UE hasta el 31 de diciembre de 2023.

En cuanto a los derechos, estos:

- Se pueden transferir entre instalaciones, aerolíneas y participantes en el mercado en países de la UE o en terceros países en los que se reconozcan.
- Están vigentes indefinidamente si se expidieron desde el 1 de enero de 2013 en adelante.
- Los expedidos a partir del 1 de enero de 2021 en adelante no se pueden utilizar para el cumplimiento normativo de la fase 3 (2013-2020).

A partir de 2021, se subastará el 57 % de los derechos. Como mínimo la mitad de los ingresos de los países de la UE se debe usar para fines relacionados con el clima.

Se establecerán dos nuevos mecanismos de financiación de bajo carbono:

- El Fondo de Modernización dará apoyo a proyectos de inversión modernizadores en el sector de la energía y a sistemas energéticos más amplios en países de la UE cuyo producto interior bruto per cápita a precios de mercado en 2013 sea inferior al 60 % de la media de la UE; comprenderá el 2 % del número total de derechos en el periodo 2021-2030.
- El Fondo de Innovación dará apoyo a la demostración de tecnologías innovadoras e innovación radical en los sectores contemplados en el RCDE UE, que incluyen la innovación en renovables, la captura y aprovechamiento de carbono y el almacenamiento de energía; los recursos disponibles

corresponderán al valor de mercado de 450 millones de derechos como mínimo en el momento de su subasta.

Los países de la UE realizan las siguientes funciones:

- Expiden los derechos.
- Velan porque los beneficiarios de los derechos supervisen e informen de sus emisiones anualmente.
- Subastan, desde 2019 en adelante, todos los derechos no asignados gratuitamente o colocados en una reserva de estabilidad del mercado.
- Determinan cómo utilizar los ingresos de las subastas. Entre las posibles medidas, se incluyen: i) desarrollar energía renovable y eficiencia energética; ii) evitar la deforestación; iii) la captura y almacenamiento seguro de CO<sub>2</sub>; iv) fomentar el transporte público de bajas emisiones; v) mejorar los sistemas de calefacción urbanos; vi) financiar actividades para luchar contra el cambio climático en países en desarrollo; vii) enviar a la Comisión, a más tardar el 30 de septiembre de 2019, una lista con información de las instalaciones contempladas en la legislación para el periodo de 5 años que se inicia el 1 de enero de 2021. Esto debe repetirse en intervalos de 5 años; viii) emitir anualmente, a más tardar el 28 de febrero, el número de derechos que asignarán ese año; ix) proporcionar un informe anual a la Comisión sobre la aplicación de la legislación; x) velar por que se puedan transferir los derechos entre instalaciones de la UE y de terceros países en los que los derechos se reconozcan; y xi) determinar las sanciones efectivas por los incumplimientos de la ley. La multa para los operadores que no tengan suficientes derechos para cubrir sus emisiones ascenderá a 100 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> emitida.

Todos estos pasos se ejecutan sobre la base de la normativa armonizada a escala de la UE.

La Comisión Europea realiza las siguientes funciones:

- Presentar un informe anual al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la aplicación del RCDE UE y las políticas paralelas sobre clima y energía.
- Tiene la prerrogativa de definir la normativa técnica necesaria para la aplicación de legislación básica.
- Mantener un registro independiente de transacciones que registra la propiedad, expedición, transferencia y cancelación de derechos.

**Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE (RCDE UE):** Es el primer y mayor sistema internacional para el comercio de derechos de emisión de GEI. Abarca casi 11.000 centrales eléctricas y plantas de fabricación de 28 países de la UE, Islandia, Noruega y Liechtenstein, así como actividades aéreas.

**Principio de “tope y trueque”:** el RCDE UE funciona sobre la base de este principio. Se establece un «tope» o límite sobre la cantidad total de determinados gases de efecto invernadero que pueden emitir las fábricas, las centrales eléctricas y otras instalaciones del sistema. Con el tiempo se va bajando el tope, de modo que las emisiones totales vayan disminuyendo. El sistema permite el comercio de los derechos de emisión para que las emisiones totales de los titulares de instalaciones y los operadores de aeronaves se mantengan dentro del límite máximo y se puedan adoptar las medidas menos costosas para reducir las emisiones.



**Documentos Conexos:**

- Decisión (UE) 2018/853 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifican el Reglamento (UE) nº 1257/2013 y las Directivas 94/63/CE y 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 86/278/CEE y 87/217/CEE del Consejo, en lo que atañe a las normas de procedimiento en el ámbito de la información en materia de medio ambiente, y por la que se deroga la Directiva 91/692/CEE del Consejo (DO L 150, 14.6.2018, pp. 155-161).
- Decisión (UE) 2015/1814 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de octubre de 2015, relativa al establecimiento y funcionamiento de una reserva de estabilidad del mercado en el marco del régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Unión, y por la que se modifica la Directiva 2003/87/CE (DO L 264, 9.10.2015, pp. 1-5).

**GASES DE EFECTO INVERNADERO: REDUCCIÓN DE LAS EMISIONES UN 20 % o MÁS HASTA 2020**

El amplio alcance de la crisis económica ha influido en los objetivos que la Unión Europea estableció en 2008 de reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero un 20 % hasta 2020. Así, se reduce el objetivo, que funciona como motivación para la modernización de la economía de la UE y hace que esta sea más competitiva, además de tener implicaciones para una posible acción de la UE cuya finalidad sea establecer un objetivo del 30 % como parte de un esfuerzo global.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Análisis de las**

**opciones para rebasar el objetivo del 20 % de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y evaluación del riesgo de fugas de carbono [COM (2010) 265 final de 26.5.2010].**

Esta Comunicación analiza las opciones disponibles en la UE para aumentar el objetivo existente del 20 % hasta uno más ambicioso del 30 %.

Los puntos clave han sido los siguientes:

- Se ha reducido el coste absoluto de alcanzar el objetivo de reducción de las emisiones del 20 %. En 2008, se estimaba que dicho coste era de 70.000 millones de euros al año. En 2010, había descendido hasta los 48.000 millones de euros.
- El avance hacia el objetivo de reducción del 20 % para 2020 acordado en 2008 no es suficiente para alcanzar el objetivo aún más lejano de reducciones del 80 al 95 % hasta 2050 de la manera más eficaz. Por consiguiente, los esfuerzos de la UE a partir de 2020 podrían resultar más difíciles y costosos.
- Existen varias opciones para alcanzar el objetivo del 30 %, entre las que se incluyen: i) la remodelación del régimen de comercio de derechos de emisión mediante la reducción gradual del número de derechos de emisión subastados; ii) el fomento de la eficiencia de los recursos y la energía renovable; iii) la aplicación de impuestos sobre el carbono; iv) la promoción de la inversión en tecnologías con bajo nivel de carbono; y v) la incorporación de actividades de usos del suelo y silvicultura para garantizar reducciones de emisiones adicionales.
- Se estima que el coste total de una reducción del 30 %, incluidos los del paso al 20 %, es de 81.000 millones de euros o el 0,54 % del producto interior bruto de la UE.

- Un objetivo del 30 % estimularía la innovación tecnológica, lo que podría aumentar la competitividad de la industria europea y reportaría beneficios para la salud gracias a una mejor calidad del aire.
- Existen diferentes formas de impedir que los productores nacionales de gases de efecto invernadero reubiquen sus actividades fuera de la UE (fugas de carbono), donde se aplican normas menos estrictas. Entre ellas, se incluyen eximir a los sectores intensivos en energía de comprar derechos de emisión de RCDE y recomendar a otros países que tomen medidas para la reducción de los gases de efecto invernadero.

### **MECANISMO PARA EL SEGUIMIENTO Y LA NOTIFICACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO**

**Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2013, relativo a un mecanismo para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y para la notificación, a nivel nacional o de la Unión, de otra información relevante para el cambio climático, y por el que se deroga la Decisión nº 280/2004/CE.**

El presente Reglamento analiza y fortalece el marco de la UE para el seguimiento y la notificación de los gases de efecto invernadero, con el fin de proporcionar a la UE una mejor plataforma de acción para afrontar el cambio climático.

Los objetivos principales del mecanismo de GEI revisado son:

- Mejorar la calidad de los datos notificados.
- Permitir la aplicación del «paquete legislativo de la UE sobre la energía y el clima», adoptado en 2009, mediante un seguimiento preciso de los avances

de la UE y los países de la UE en el cumplimiento de los objetivos de emisión para 2013-2020.

- Tener en cuenta las orientaciones internacionales más recientes sobre el uso de medidas, potencial de calentamiento mundial de los gases, y metodologías, orientaciones del IPCC, al realizar inventarios de gases de efecto invernadero.

Los países de la UE y la Comisión Europea en nombre de la UE deberán preparar estrategias de desarrollo bajo en carbono, con el fin de conseguir una economía europea inocua para el clima y que consuma menos energía, de conformidad con todas las disposiciones sobre notificación acordadas internacionalmente en el contexto del proceso de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Los países de la UE deberán informar sobre estas estrategias a más tardar el 9 de enero de 2015 y cada dos años a partir de entonces.

La Comisión Europea y los países de la UE deberán crear y gestionar sistemas nacionales para las políticas, medidas y previsiones de en materia de GEI. El objetivo es reforzar la oportunidad, integridad, exactitud, coherencia, comparabilidad y transparencia de la información presentada.

En el contexto de la lucha contra el cambio climático, los países de la UE también deberán informar sobre los aspectos siguientes:

- Apoyo económico y técnico a los países en desarrollo.
- Utilización de los ingresos generados mediante la subasta de derechos de emisión en el sistema de comercio de emisiones de la UE.

Este Reglamento proporciona la base jurídica y sirve de orientación para la adaptación de los países de la UE al cambio climático. La revisión abarcará los datos de las emisiones de sectores como la vivienda, la agricultura, los residuos y el transporte, exceptuando el transporte en aviación y el transporte marítimo, en consonancia con la Decisión sobre el esfuerzo compartido (Decisión 406/2009/UE).

**REDUCCIÓN DE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO GENERADOS POR LA ACTIVIDAD HUMANA (GASES FLUORADOS)**

**Reglamento (UE) nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006.**

Los gases fluorados son gases de efecto invernadero generados por la actividad humana cuyo efecto sobre el calentamiento global es hasta 23.000 veces superior al del dióxido de carbono. Representan el 2 % de las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE. Los gases fluorados a menudo se pueden sustituir por alternativas más respetuosas con el medio ambiente.

Este Reglamento está concebido para mitigar el cambio climático y proteger el medio ambiente mediante la reducción de las emisiones de gases fluorados de efecto invernadero. Tiene por objeto reducirlos en dos tercios de aquí a 2030, respecto a los niveles actuales y establece normas sobre contención, uso, recuperación y destrucción de gases fluorados de efecto invernadero, prohibiendo la venta de determinados productos que contengan gases fluorados

de efecto invernadero, como son: hidrofluorocarburos (HFC<sup>176</sup>), perfluorocarburos (PFC<sup>177</sup>) y hexafluoruros de azufre (SF<sub>6</sub><sup>178</sup>).

El Reglamento establece un límite general anual para el impacto climático de los HFC, los cuales se irán reduciendo gradualmente entre 2015 y 2030.

El Reglamento establece las siguientes obligaciones:

- Queda prohibida la liberación intencional de gases fluorados de efecto invernadero, a menos que sea técnicamente necesaria para el uso previsto de un producto. Los fabricantes deben esforzarse para limitar las emisiones durante la producción, el transporte y el almacenamiento de estos gases.
- Los operadores de aparatos que contengan gases fluorados de efecto invernadero deben tomar las precauciones necesarias para evitar fugas. Deben garantizar que los aparatos son objeto de control de fugas periódicamente. Estos requisitos pueden variar dependiendo del posible impacto climático o de si el aparato está sellado herméticamente.
- Las autoridades nacionales son responsables del establecimiento de programas de certificación y formación para las empresas y las personas que participan en la instalación, la revisión, el mantenimiento, la reparación o el desmontaje de aparatos de gases fluorados de efecto invernadero y en la recuperación de estos gases.
- Entre 2015 y 2025 se irán introduciendo gradualmente las prohibiciones sobre la venta de nuevos productos, como determinadas categorías de

---

<sup>176</sup> Los HFC se utilizan como refrigerantes, disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas, como extintores.

<sup>177</sup> Los PFC se utilizan en la fabricación de semiconductores como disolventes de limpieza y agentes para la fabricación de espumas.

<sup>178</sup> Los SF<sub>6</sub> se utilizan en equipos de conmutación de alta tensión y en la producción de magnesio.

frigoríficos y congeladores, sistemas de aire acondicionado, espumas y aerosoles que contengan gases fluorados de efecto invernadero siempre que existan alternativas más seguras y respetuosas con el medio ambiente.

- Reduce el impacto climático del uso de HFC a lo largo del tiempo. El límite anual de HFC en el mercado en 2030 es del 21 % con respecto a los niveles del período 2009-2012. Para garantizar que se respetan estos límites, la Comisión asigna cuotas anuales a productores e importadores, que no pueden superarse.
- Los productores, importadores, exportadores, usuarios de materia prima y empresas que destruyen gases fluorados de efecto invernadero deben presentar un informe anual a la Comisión. Los importadores de aparatos de estos gases deben hacer lo mismo y, a partir de 2017, deben aportar pruebas de que computan las cantidades de HFC presentes en los aparatos que importan.

El 31 de diciembre de 2022, la Comisión publicará un informe sobre los efectos del presente Reglamento.

### **GOBERNANZA DE LA UNIÓN DE LA ENERGÍA**

**Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 663/2009 y (CE) nº 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, por la que se deroga**

**el Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 328 de 21.12.2013, pp. 1-77).**

Este Reglamento tiene como objeto:

- Asegurar que la Estrategia de la Unión de la Energía de la Unión Europea se implemente de manera coordinada y coherente en las cinco dimensiones.
- Asegurar que la Unión de la Energía alcance sus objetivos, en particular los del Marco de actuación en materia de clima y energía hasta el año 2030 y los del Acuerdo de París sobre el cambio climático

La estrategia de la Unión de la Energía tiene cinco dimensiones:

- Seguridad energética.
- Mercado interior de la energía.
- Eficiencia energética.
- Descarbonización.
- Investigación, innovación y competitividad.

El Reglamento tiene varias características fundamentales:

- Exige a los países de la UE que elaboren un plan nacional integrado de energía y clima para el período 2021-2030 a más tardar el 1 de enero de 2019, y luego cada diez años para los siguientes períodos de diez años.
- Establece un proceso de consulta entre la Comisión Europea y los países de la UE, y la cooperación regional entre los países de la UE antes de la finalización de los planes y luego cada diez años durante los períodos sucesivos de diez años. Para el período hasta 2030, los planes deben actualizarse a más tardar el 30 de junio de 2024.



- Exige que los países de la UE preparen e informen a la Comisión estrategias de reducción de emisiones a largo plazo con una perspectiva de cincuenta años, para contribuir con los objetivos de desarrollo sostenible más amplios y con el objetivo a largo plazo establecido por el Acuerdo de París.
- Exige que los países de la UE presenten informes de progreso bienales relativos a la implementación de los planes a partir de 2021 en las cinco dimensiones de la Unión de la Energía, para supervisar el progreso.
- Exige que la Comisión controle y evalúe el progreso de los países de la UE en lo relativo a las metas, los objetivos y las contribuciones establecidos en sus planes nacionales.
- Establece los requisitos de los sistemas de inventarios nacionales y de la UE para las emisiones de gas de efecto invernadero, políticas, medidas y proyecciones.

La Comisión está facultada para adoptar actos delegados para modificar el marco general del esquema de los planes nacionales integrados de energía y clima con el fin de adaptar dicho esquema a las modificaciones del marco de política energética y climática de la UE que estén directa y específicamente relacionadas con las contribuciones de la UE en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Acuerdo de París, teniendo en cuenta los cambios en los potenciales de calentamiento global y las directrices para los inventarios acordadas internacionalmente, y establecer requisitos sustantivos para el sistema de inventario de la UE y crear los registros.

El Reglamento Delegado (UE) 2020/1044 complementa el Reglamento (UE) 2018/1999 en lo que respecta a los valores de los potenciales de calentamiento global y las directrices para los inventarios de gases de efecto invernadero, y en

lo que respecta al sistema de inventarios de la UE. Deroga el Reglamento Delegado (UE) nº 666/2014 a partir del 1 de enero de 2021.

El Reglamento Delegado (UE) 2020/1044 es aplicable a los informes presentados por los países de la UE a partir de 2021.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento Delegado (UE) 2020/1044 de la Comisión de 8 de mayo de 2020 que completa el Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los valores para los potenciales de calentamiento global y las directrices para los inventarios, así como en lo que respecta al sistema de inventario de la Unión, y por el que se deroga el Reglamento Delegado (UE) nº 666/2014 de la Comisión (DO L 230, 17.7.2020, pp. 1-6).
- Decisión (UE) 2016/1841 del Consejo, de 5 de octubre de 2016, relativa a la celebración, en nombre de la Unión Europea, del Acuerdo de París aprobado en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (DO L 282, 19.10.2016, pp. 1-3).
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Un marco de actuación para el clima y la energía en el período comprendido entre 2020 y 2030 [COM (2014) 15 final/2, 28.1.2014].
- Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2013, relativo a un mecanismo para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y para la notificación, a nivel nacional o de la Unión, de otra información relevante para

el cambio climático, y por el que se deroga la Decisión nº 280/2004/CE (DO L 165, 18.6.2013, pp. 13-40).

### **CONVENIO DE VIENA PARA LA PROTECCIÓN DE LA CAPA DE OZONO<sup>179</sup>**

**Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono (DO L 297 de 31.10.1988, pp. 10-20).**

**Decisión 88/540/CEE del Consejo, de 14 de octubre de 1988, relativa a la celebración del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (DO L 297 de 31.10.1988, pp. 8-9).**

El Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono establece principios para proteger la capa de ozono, a tenor de los avisos de la comunidad científica de que su agotamiento supone un peligro para la salud humana y para el medio ambiente. Se trata de un Convenio marco cuyo principal objetivo es promover la cooperación internacional mediante el intercambio de información acerca del impacto de las actividades humanas en la capa de ozono. No obliga a las Partes a adoptar medidas específicas; estas llegarían más adelante, con el Protocolo de Montreal del Convenio de Viena.

El Convenio de Viena fue el primer convenio firmado por todos los países implicados; comenzó a surtir efecto en 1988 y alcanzó su ratificación universal en 2009.

---

<sup>179</sup> El término “capa de ozono” describe la zona de mayor concentración de moléculas de ozono en la estratosfera. Su espesor normal varía según la época, el lugar y su concentración media es 0.03 %, por lo que tiene un espesor comprendido entre 10 y 20 kilómetros y envuelve a todo el planeta como una burbuja, actuando como filtro contra la radiación ultravioleta producida por el sol.

La Decisión 88/540/CEE otorga la aprobación legal de la UE al Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y al Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.

Como obligación general, las Partes deberán tomar las medidas apropiadas para proteger la salud humana y el medio ambiente contra los efectos adversos resultantes o que puedan resultar de las actividades humanas que modifiquen o puedan modificar la capa de ozono. En particular, a partir de las consideraciones científicas y técnicas pertinentes, las Partes deberán:

- Adoptar las medidas legislativas o administrativas apropiadas.
- Cooperar: i) en un intercambio sistemático de observaciones, investigación e información para comprender mejor los asuntos implicados; ii) en la formulación de medidas, procesos y normas y en la armonización de las políticas apropiadas; y iii) con organismos internacionales competentes para aplicar con eficiencia el Convenio y sus Protocolos.

Las investigaciones y evaluaciones científicas sobre la capa de ozono que impliquen a las Partes, tanto de forma directa como a través de organismos internacionales, se centran en:

- Los procesos físicos y químicos.
- La salud humana y otros efectos biológicos, en particular los cambios en la radiación solar ultravioleta.
- Los efectos climáticos.
- Las sustancias, las prácticas, los procesos y las actividades, así como su efecto acumulativo.
- Los efectos derivados de cualquier modificación de la capa de ozono.

- Las sustancias y tecnologías alternativas.
- Los asuntos socioeconómicos conexos.
- Otros factores más detallados, como los procesos físicos y químicos de la atmósfera y las sustancias químicas específicas.

Además, las Partes deberán:

- Facilitar y fomentar el intercambio de información científica, técnica, socioeconómica, comercial y jurídica pertinente a los efectos del Convenio.
- Cooperar, teniendo en cuenta las necesidades de los países en desarrollo, para fomentar el desarrollo y la transferencia de tecnología.
- Ayudando a los socios a adquirir tecnologías alternativas.
- Proporcionando la información necesaria, como manuales o guías.
- Suministrando equipos y facilidades de investigación.
- Formando al personal científico y técnico.
- Informar al organismo encargado de la toma de decisiones (la Conferencia de las Partes) acerca de las medidas tomadas para aplicar el Convenio.

La Conferencia de las Partes (en la que están representados y tienen derecho a voto todos los países signatarios):

- Supervisa la aplicación del Convenio.
- Revisa la información científica.
- Promueve las políticas, estrategias y medidas armonizadas apropiadas.
- Adopta programas de investigación, cooperación científica y tecnológica, intercambio de información y transferencia de tecnología y conocimientos.
- Considera y adopta enmiendas a la Convención y posibles protocolos adicionales.

- Recurre, si procede, a la experiencia de organismos como la Organización Meteorológica Mundial y la Organización Mundial de la Salud.
- Trata de resolver toda disputa relativa a la interpretación o la aplicación del Convenio por negociación o mediación de terceros. Si estos mecanismos fallan, el asunto podrá remitirse a una comisión de conciliación o a la Corte Internacional de Justicia.
- Está asistida por una Secretaría.

Una Parte podrá anunciar su intención de abandonar la Convención siempre que esta haya estado en vigor durante cuatro años; el abandono surte efecto un año después.

El Convenio de Viena se adoptó el 22 de marzo de 1985 y entró en vigor el 22 de septiembre de 1988. Desde su fecha de entrada en vigor, la acción internacional ha reducido el consumo global de sustancias que eliminan ozono en un 98 %; sin embargo, no se espera que la capa de ozono se recupere completamente hasta la segunda mitad del presente siglo.

La UE aplica el Convenio, junto con su Protocolo de Montreal, por medio de su propia legislación relativa a sustancias que eliminan ozono y gases fluorados de efecto invernadero, una de las más avanzadas y estrictas del mundo.

El Reglamento del ozono la UE [Reglamento (CE) nº 1005/2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono] va más allá de los requisitos del Protocolo de Montreal, como son:

- Establecer marcos temporales de reducción más ambiciosos.
- Abarcar más sustancias.
- Regular su presencia en productos y equipos.

El Reglamento de gases fluorados de la UE [Reglamento (UE) nº 517/2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero] contempla una reducción más ambiciosa de gases de efecto invernadero en la UE aplicable ya a partir de 2015, y abarca gases de efecto invernadero en productos y equipos.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (CE) nº 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de septiembre de 2009, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (DO L 286 de 31.10.2009, pp. 1-30) y sus modificaciones.
- Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono — Declaración de la Comunidad Económica Europea (DO L 297 de 31.10.1988, pp. 21-28).
- Decisión 82/795/CEE del Consejo, de 15 de noviembre de 1982, relativa a la consolidación de las medidas de precaución referentes a los clorofluorocarbonos en el medio ambiente (DO L 329 de 25.11.1982, pp. 29-30).
- Decisión 80/372/CEE del Consejo, de 26 de marzo de 1980, relativa a los clorofluorocarbonos en el medio ambiente (DO L 90 de 3.4.1980, p. 45).
- Reglamento (UE) nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006 (DO L 150 de 20.5.2014, pp. 195-230).

## 1.2. REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

### LUCHA CONTRA LA TALA ILEGAL

La tala ilegal es un problema medioambiental, económico y social generalizado que contribuye al cambio climático, a la pérdida de biodiversidad, a la pérdida de ingresos, a los conflictos, en ocasiones armados, relativos a la tierra y los recursos, y a la corrupción.

**Reglamento (UE) nº 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera (DO L 295 de 12.11.2010, pp. 23-34).**

Este Reglamento prohíbe la comercialización en el mercado la UE de madera aprovechada ilegalmente y establece prerequisites para la comercialización de madera y productos de madera en la UE.

El Reglamento exige que los agentes que comercializan productos de madera en la UE por vez primera ejerzan la diligencia debida a fin de asegurarse de que los productos que suministran estén fabricados con madera aprovechada legalmente.

Los agentes pueden establecer sus propios sistemas de diligencia debida o usar uno creado por una entidad de supervisión.

Estas entidades de supervisión están reconocidas como tales por la Comisión Europea. Su papel consiste en ayudar a los agentes a cumplir los requisitos del Reglamento.



Para facilitar la trazabilidad de los productos de madera, todos los comerciantes que compren y vendan madera en el mercado deben conservar los registros de sus proveedores y clientes.

El Reglamento, que se aplica tanto a la madera aprovechada en la UE como a la importada, abarca una amplia gama de productos de madera y se ajustan al código aduanero de la Unión.

En el Reglamento, se considera que la madera o los productos de madera se han aprovechado legalmente si disponen de una licencia de aplicación de las leyes, gobernanza y comercio forestales (FLEGT<sup>180</sup>) [establecida con el Reglamento (CE) nº 2173/2005] o de un permiso de CITES<sup>181</sup> [Reglamento (CE) nº 338/97].

A más tardar el 30 de abril de cada año, los países cubiertos por el Reglamento deberán poner a disposición del público y de la Comisión Europea información relativa a la aplicación del presente Reglamento durante el año natural anterior. Además, la Comisión pondrá a disposición del público una perspectiva general

---

<sup>180</sup> El Plan de Acción FLEGT (Forest Law Enforcement, Governance and Tradem en inglés) sobre la aplicación de las leyes, gobernanza y comercio forestales tiene como objetivo principal garantizar que la madera y productos de la madera que se exportan desde un tercer país al territorio de la UE tienen un origen legal. Este plan establece un conjunto de medidas para afrontar el creciente problema de la tala ilegal y el comercio asociado a esta práctica. Entre ellas, propone la creación de un sistema de licencias FLEGT que garantice que en la Unión Europea entra sólo madera producida y manufacturada legalmente de conformidad con la legislación nacional del país productor que emite esas licencias. Otra de las medidas propuestas es la creación de una normativa que prohíba la introducción de madera aprovechada ilegalmente en el mercado de la UE.

<sup>181</sup> La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestres, más conocida como (CITES, *Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Floral*, en inglés). El sistema de permisos CITES es la piedra angular de la reglamentación del comercio de especímenes de las especies incluidas en los tres Apéndices de la Convención. El documento constituye una confirmación de la autoridad que lo expide de que se han cumplido las condiciones para autorizar el comercio; esto es, que ese comercio es legal, sostenible y trazable con arreglo a los Artículos III, IV y V de la Convención. La Autoridad Administrativa CITES o las autoridades de cada una de las Partes expiden los permisos CITES con el asesoramiento de la Autoridad Científica CITES del país.

para el conjunto de la UE a partir de los datos aportados por todos los países de la UE.

A más tardar el 3 de diciembre de 2021 y cada cinco años con posterioridad a dicha fecha, la Comisión deberá revisar el funcionamiento y la eficacia de este Reglamento a partir de la información recibida cada año y de la experiencia resultante de su aplicación.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento Delegado (UE) nº 363/2012 de la Comisión, de 23 de febrero de 2012, relativo a las normas procedimentales para el reconocimiento y la retirada del reconocimiento de las entidades de supervisión contempladas en el Reglamento (UE) nº 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera (DO L 115 de 27.4.2012, pp. 12-16).
- Reglamento de Ejecución (UE) nº 607/2012 de la Comisión, de 6 de julio de 2012, relativo a las normas detalladas en relación con el sistema de diligencia debida y con la frecuencia y la naturaleza de los controles sobre las entidades de supervisión contempladas en el Reglamento (UE) nº 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, por el que se establecen las obligaciones de los agentes que comercializan madera y productos de la madera (DO L 177 de 7.7.2012, pp. 16-18).
- Reglamento (CE) nº 2173/2005 del Consejo, de 20 de diciembre de 2005, relativo al establecimiento de un sistema de licencias FLEGT aplicable a las importaciones de madera en la Comunidad Europea (DO L 347 de 30.12.2005, pp. 1-6) y sus modificaciones.

- Reglamento (CE) nº 1024/2008 de la Comisión, de 17 de octubre de 2008, por el que se establecen las normas de desarrollo del Reglamento (CE) nº 2173/2005 del Consejo, relativo al establecimiento de un sistema de licencias FLEGT aplicable a las importaciones de madera en la Comunidad Europea (DO L 277 de 18.10.2008, pp. 23-29).

## **PROGRAMA EUROPEO DE VIGILANCIA POR SATÉLITE (COPERNICUS):**

### **ASPECTOS CLIMÁTICOS**

Copernicus es un programa civil que utiliza tecnologías por satélite para vigilar la Tierra. Proporciona información fiable y actualizada sobre el estado del medio ambiente realizando un seguimiento regular de los cambios que se producen en la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre. El valor de estos datos se utiliza para combatir el cambio climático, así como para sectores como la salud humana y el turismo.

Los responsables políticos y autoridades públicas utilizan los datos proporcionados por Copernicus para desarrollar legislación y políticas ambientales, y para reaccionar ante catástrofes naturales y crisis humanitarias.

**Reglamento (UE) nº 377/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 3 de abril de 2014, por el que se establece el Programa Copernicus y se deroga el Reglamento (UE) nº 911/2010.**

Este Reglamento constituye un marco legal para el programa Copernicus para el período 2014-2020, fijando normas de funcionamiento y estableciendo sus objetivos principales. La vigilancia del cambio climático conforma uno de los seis ámbitos para los que se han diseñado específicamente los servicios de

Copernicus. Los restantes son la vigilancia terrestre, marina y atmosférica, la respuesta a emergencias y un servicio de seguridad.

El servicio relativo al cambio climático facilita información para apoyar las políticas de adaptación y mitigación con el fin de ajustarse al cambio climático y reducir su impacto.

Se centra en variables climáticas esenciales (VCE<sup>182</sup>) como el incremento de la temperatura, el aumento del nivel del mar, la fusión de las capas de hielo y el calentamiento de los océanos.

Utiliza índices del clima, basándose en los registros de temperaturas, precipitaciones y sequías, para identificar factores climáticos, proyectar escenarios de cambio climático y evaluar el impacto sobre la sociedad. Este servicio lo realiza el Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Medio Plazo.

## **LUCHA CONTRA LA DEFORESTACIÓN**

Los bosques, que ocupan aproximadamente el 30 % de la superficie terrestre (y un 40 % de la masa terrestre de la UE, están amenazados por la deforestación y la degradación, que destruye 13 millones de hectáreas cada año según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Las principales causas de ello son la conversión a la agricultura y un desarrollo de infraestructuras mal controlado.

---

<sup>182</sup> Las Variables Climáticas Esenciales (VCE) son indicadores clave que describen el clima cambiante que contribuyen a la caracterización del clima de la Tierra, proporcionando una imagen del cambio climático a escala mundial. Colectivamente, proporcionan la evidencia empírica para apoyar la ciencia del clima y predecir mejor el cambio futuro.

La protección de los bosques es una medida eficaz contra el calentamiento mundial y la pérdida del ecosistema. Estos proporcionan hábitats importantes para la biodiversidad, previniendo la erosión, contribuyendo a la purificación del agua y al almacenamiento del dióxido de carbono y proporcionando los medios de subsistencia a 1.600 millones de personas en todo el mundo.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Afrontar los desafíos de la deforestación y la degradación forestal para luchar contra el cambio climático y la pérdida de biodiversidad [COM (2008) 645 final de 17.10.2008]**

En esta Comunicación, la Comisión Europea establece las líneas de acción de la respuesta de la Unión Europea a la deforestación, invita a la contribución de los interesados y pretende poner en marcha unas medidas iniciales que sienten las bases de una respuesta global a la deforestación.

La UE pide que se detenga la pérdida de cobertura forestal mundial, es decir, el cambio de bosque a un estado no forestal, en 2030 a más tardar y que se reduzca la deforestación tropical al menos un 50 % para 2020 en relación con los niveles actuales. Considera que la lucha contra la deforestación debe llevarse a cabo en distintos ámbitos, que van desde el refuerzo de la gobernanza nacional y local y la mejora de los mecanismos de control, hasta la toma en consideración de la demanda de los consumidores y la creación de incentivos financieros para preservar los bosques. Esta acción deberá tener lugar dentro del marco de los acuerdos internacionales, tales como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Muestra que las políticas que ya están vigentes en la UE pueden ayudar a luchar contra la deforestación, como la Aplicación de las Leyes, Gobernanza y Comercio Forestales (FLEGT), la contratación pública ecológica, el etiquetado ecológico y el trabajo llevado a cabo en el marco de la Alianza Mundial contra el Cambio Climático (AMCC<sup>183</sup>) e indica cómo los ingresos del régimen de comercio de derechos de emisión se podrían utilizar para ayudar a combatir la deforestación.

Por otro lado, propone la creación de un mecanismo mundial para incentivar la conservación de los bosques tropicales, que se ha convertido en REDD+<sup>184</sup>, es decir, la reducción de emisiones resultantes de la deforestación y la degradación forestal, en particular a través de la repoblación, la conservación y la gestión sostenible de los bosques.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (CE) nº 2173/2005 del Consejo, de 20 de diciembre de 2005, relativo al establecimiento de un sistema de licencias FLEGT aplicable a las importaciones de madera en la Comunidad Europea (DO L 347 de 30.12.2005, pp. 1-6).
- Reglamento (UE) nº 995/2010 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de octubre de 2010, por el que se establecen las obligaciones de los agentes

---

<sup>183</sup> La AMCC es una alianza mundial propuesta por la UE con los países en desarrollo más expuestos al cambio climático, con el fin de ayudarles a prepararse para este reto. Al concentrarse en los países menos avanzados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, esta alianza ofrecerá un diálogo estructurado, así como una cooperación concreta sobre acciones financiadas por la política de desarrollo de la UE.

<sup>184</sup> REDD+ o REDD-plus se refiere a la reducción emisiones derivadas de la deforestación y degradación forestal en países en desarrollo, y el papel de la conservación, la gestión forestal sostenible y el aumento de los stocks de carbono del bosque en países en desarrollo.

que comercializan madera y productos de la madera (DO L 295 de 12.11.2010, pp. 23-34).

- Decisión nº 1386/2013/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 20 de noviembre de 2013, relativa al Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020 «Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta» (DO L 354 de 28.12.2013, pp. 171-200).
- Comunicación de la Comisión - Una nueva estrategia de la UE en favor de los bosques y del sector forestal [COM (2013) 659 final de 20.9.2013].
- 

## **CONVERTIR EUROPA EN UN LUGAR RESISTENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO MEDIANTE LA ADAPTACIÓN**

La presente Comunicación presenta una estrategia de la Unión Europea para contribuir a una Europa más resistente al clima de forma flexible y dando prioridad a soluciones de bajo coste. Expone varias medidas de adaptación al clima para mejorar la respuesta de la UE a los efectos del cambio climático a todos los niveles.

**Comunicación de la Comisión Europea al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE [COM (2013) 216 final de 16.4.2013].**

Dado que el calentamiento mundial ya afecta a todo el planeta, los esfuerzos para limitar el incremento de la temperatura media terrestre deben seguir recurriendo a medidas de mitigación del cambio climático. Para la UE, esto implica reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 20 % respecto

a los niveles de 1990 como primer paso hacia un objetivo de reducción acordado del 80 y el 95 % para 2050.

La Estrategia de adaptación al cambio climático de la UE complementa la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y sugiere varias soluciones a los efectos del cambio climático, destacando la importancia de una rápida adaptación para la obtención de múltiples beneficios.

La Estrategia también se complementa con la Plataforma europea de adaptación al clima (*Climate-ADAPT*<sup>185</sup>) que se puso en marcha en marzo de 2012 y que recoge los datos más recientes sobre las medidas de adaptación de la UE, así como instrumentos de apoyo a las políticas.

La Estrategia expone las actuaciones para promover la adaptación en la UE mejorando la toma de decisiones y centrándose en sectores vulnerables en forma de ocho medidas: i) instar a todos los Estados Miembros a adoptar estrategias exhaustivas de adaptación; ii) facilitar financiación desde el programa europeo LIFE para el medio ambiente para respaldar la creación de capacidades y acelerar las medidas de adaptación en Europa; iii) introducir la adaptación en el marco del Pacto de los Alcaldes<sup>186</sup> a través de la iniciativa *Mayors Adapt*<sup>187</sup>;

---

<sup>185</sup> La adaptación al cambio climático es la respuesta al calentamiento global que busca reducir la vulnerabilidad de los sistemas sociales y biológicos a los efectos del cambio climático.

<sup>186</sup> En el Pacto Europeo de los Alcaldes para el Clima y la Energía se agrupan miles de gobiernos locales que de forma voluntaria se comprometen a implantar los objetivos en materia de clima y energía de la UE. El Pacto Mundial de los Alcaldes aprovecha la experiencia obtenida durante los últimos 8 años en Europa y en las regiones circundantes, y desarrolla los factores clave del éxito de la iniciativa: su gobierno desde las bases, su modelo de cooperación a varios niveles y su patrón de actuación directamente impulsado por el contexto.

<sup>187</sup> *Mayors Adapt*: la Iniciativa del Pacto de los Alcaldes sobre Adaptación al Cambio Climático ha sido establecida por la Comisión Europea para involucrar a las ciudades en la adopción de medidas para adaptarse al cambio climático. Las ciudades que se adhieren a la iniciativa se comprometen a contribuir al objetivo general de la Estrategia de Adaptación de la UE desarrollando una estrategia de adaptación local integral o integrando la adaptación al cambio climático en los planes existentes relevantes.



iv) remediar el déficit de conocimientos sobre adaptación; v) convertir *Climate-ADAPT* en la ventanilla única de información sobre la adaptación en Europa; vi) incorporar la adaptación integrándola en las políticas y la legislación de la UE, lo que hará que las políticas agrícolas, pesqueras, de desarrollo regional y otras políticas sean resistentes al cambio climático; vii) garantizar infraestructuras más resistentes; y viii) promover los seguros y los demás productos financieros para las decisiones sobre inversiones y empresas resistentes.

La Estrategia de adaptación apela a la coordinación de las políticas y la cooperación entre los países de la UE a través del Comité del Cambio Climático, que agrupa a representantes de todos los países de la UE. Asimismo, recomienda que se incremente el gasto en la construcción de una Europa resistente al clima, en particular a través de los fondos y programas de la UE.

**Documentos Conexos:**

- Libro Blanco - Adaptación al cambio climático: hacia un marco europeo de actuación (2009).

**REGISTRO DE LA UE DEL RÉGIMEN DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN**

**Reglamento (UE) nº 389/2013 de la Comisión, de 2 de mayo de 2013, por el que se establece el Registro de la Unión de conformidad con la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Decisiones nº 280/2004/CE y nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, y por**

---

*Mayors Adapt* tiene como objetivo aumentar el apoyo a las actividades locales, proporcionar una plataforma para una mayor participación y la creación de redes por parte de las ciudades, y aumentar la conciencia pública sobre la adaptación y las medidas necesarias.

**el que se derogan los Reglamentos (UE) nº 920/2010 y nº 1193/2011 de la Comisión (DO L 122 de 3.5.2013, pp. 1-59) y sucesivas modificaciones.**

Establece un Registro de la Unión de toda la UE, una base de datos en línea que contenga las cuentas de las instalaciones fijas, de los operadores de aeronaves, y de cualquier otra persona interesada en el comercio de derechos de emisión. El registro tiene por objetivo garantizar una contabilidad precisa de los derechos de emisión otorgados en virtud del régimen de comercio de derechos de emisión de la UE, un sistema designado para reducir las emisiones de gas de efecto invernadero de forma eficaz en términos de costes.

El Régimen de comercio de derechos de emisión de la UE es una piedra angular de la política de la UE para combatir el cambio climático y su herramienta clave para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero de forma eficaz en términos de costes. Se trata del primer mercado de carbono principal del mundo y sigue siendo el más grande.

A finales del mes de abril de cada año, las instalaciones y los operadores de aeronaves sujetos al RCDE UE deben entregar suficientes derechos de emisión para cubrir todas sus emisiones del año anterior o correr el riesgo de enfrentarse a multas. Si una empresa reduce sus emisiones, puede acumular los derechos de emisión que le hayan sobrado para cubrir sus necesidades futuras, o vendérselos a otra empresa que no tenga suficientes.

La subasta es el método de asignación de derechos de emisión por defecto, con preferencia sobre la asignación gratuita. Las normas de asignación armonizadas se aplican a aquellos derechos de emisión que aún se asignan gratuitamente.

El Registro de la Unión recoge:

- Listas de las instalaciones y los operadores de aeronaves sujetos a la Directiva del RCDE en cada país de la UE y toda asignación gratuita que se les haga.
- Cuentas de las empresas o individuos que ostenten derechos de emisión.
- Transferencias de derechos de emisión o transacciones que lleven a cabo los titulares de cuentas.
- Emisiones de CO<sub>2</sub> verificadas en un año procedentes de las instalaciones y los operadores de aeronaves.
- Conciliación anual de los derechos y las emisiones verificadas, por la que todas las empresas deben haber entregado derechos suficientes para cubrir todas sus emisiones verificadas.

Para formar parte del RCDE UE, las empresas o los individuos tiene que abrir una cuenta en el Registro de la Unión enviando una solicitud al administrador nacional, que recoge y comprueba toda la documentación de apoyo.

El Diario de Transacciones de la UE (DTUE<sup>188</sup>) es el sucesor del diario independiente de transacciones comunitario, que desempeñaba un papel similar antes de la introducción del Registro de la Unión.

El Registro de la Unión también actúa como un registro del Protocolo de Kioto (PK) que ayuda a la UE y a los países de la UE a cumplir sus obligaciones como parte del Protocolo de Kioto.

**El Reglamento de modificación (UE) 2015/1844** describe las implicaciones y los nuevos procedimientos que afectan al Registro de la Unión y a los registros

---

<sup>188</sup> El Diario de Transacciones de la Unión Europea (DTUE) comprueba, registra y autoriza automáticamente todas las operaciones entre cuentas del registro de la Unión. Esto garantiza que todas las transferencias cumplan las normas del RCDE UE.

PK nacionales, derivados de la enmienda de Doha al protocolo de Kioto, en pro de una aplicación coherente de los requisitos contables acordados internacionalmente.

**Los reglamentos (UE) 2018/208 y 2019/401** introdujeron la posibilidad de proteger la integridad del RCDE UE ante la eventualidad del Brexit.

**El Reglamento (UE) 2019/1122 que sustituirá al presente Reglamento a partir del 1 de enero de 2021** establece la posibilidad de vinculación con los registros de otros regímenes de comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento Delegado (UE) 2019/401 de la Comisión, de 19 de diciembre de 2018, que modifica el Reglamento (UE) nº 389/2013 por el que se establece el Registro de la Unión (DO L 72 de 14.3.2019, pp. 4-5).
- Reglamento (UE) 2018/208 de la Comisión, de 12 de febrero de 2018, que modifica el Reglamento (UE) nº 389/2013 por el que se establece el Registro de la Unión (DO L 39 de 13.2.2018, pp. 3-4).
- Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de mayo de 2013, relativo a un mecanismo para el seguimiento y la notificación de las emisiones de gases de efecto invernadero y para la notificación, a nivel nacional o de la Unión, de otra información relevante para el cambio climático, y por el que se deroga la Decisión nº 280/2004/CE (DO L 165 de 18.6.2013, pp. 13-40).
- Decisión nº 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus

emisiones de gases de efecto invernadero a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020 (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 136-148).

- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo (DO L 275 de 25.10.2003, pp. 32-46).

### **RÉGIMEN DE COMERCIO DE DERECHOS DE EMISIÓN: NORMAS DEL FONDO DE INNOVACIÓN**

**Reglamento Delegado (UE) 2019/856 de la Comisión, de 26 de febrero de 2019, por el que se complementa la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta al funcionamiento del Fondo de Innovación (DO L 140 de 28.5.2019, pp. 6-17).**

El Fondo de Innovación presentado en la Directiva 2003/87/CE ha sido concebido para apoyar a las iniciativas innovadoras como parte del régimen de comercio de derechos de emisiones de la Unión Europea, la política fundamental de la UE para abordar el cambio climático mediante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

El Reglamento establece las normas detalladas para el Fondo de Innovación, estas son: i) los objetivos operativos; ii) las formas de apoyo previstas; iii) el procedimiento de solicitud; iv) método de selección de proyectos; v) modo de gobierno del Fondo de Innovación; y vi) la presentación de informes, el seguimiento, la evaluación, el control y la publicidad.

El Fondo proporciona apoyo financiero para los proyectos que demuestran tecnologías, procesos o productos altamente innovadores con un potencial considerable para reducir las emisiones de GEI, a la vez que atraen recursos públicos y privados adicionales.

El apoyo se dará en forma de subvenciones o combinando las subvenciones de la UE con instrumentos financieros en virtud del instrumento de apoyo unificado (InvestEU<sup>189</sup>), que sustituye el actual Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas para el período 2021-2027. La financiación también puede adoptar cualquier otra de las formas descritas en el Reglamento 2018/1046 («Reglamento Financiero»), en particular, precios y contratos públicos.

Se invitará a los candidatos a solicitar apoyo financiero para los proyectos admisibles a través de convocatorias de propuestas lanzadas por la Comisión Europea previa consulta a los países de la UE. Los proyectos se seleccionan sobre la base de los siguientes criterios:

- El potencial de evitar las emisiones de GEI.
- El nivel de innovación de los proyectos en comparación con el estado de la técnica.
- La madurez en términos de planificación, modelo de negocio, estructura financiera y jurídica; la posibilidad de llegar a la conclusión del cierre financiero del proyecto dentro de un período predefinido que no supere los cuatro años.

---

<sup>189</sup> El Programa InvestEU proporcionará a la UE una financiación crucial a largo plazo, atrayendo inversiones privadas en apoyo de una recuperación sostenible y contribuyendo a construir una economía europea más ecológica, más digital y más resiliente.

- El potencial técnico y empresarial para una aplicación o replicación generalizada, o para futuras reducciones de costes.
- La eficiencia en términos de los costes del proyecto basada en una fórmula que equilibra los costes frente a las emisiones de GEI evitadas, la energía generada o el CO<sub>2</sub> almacenado (captura y almacenamiento de carbono) en los primeros diez años de funcionamiento.

La Comisión gestiona directamente el funcionamiento del Fondo de Innovación, salvo cuando los órganos de ejecución se hayan delegado. Los países de la UE serán consultados sobre los proyectos preseleccionados antes de tomarse cualquier decisión sobre la adjudicación.

Las entidades que reciban ayuda deberán mostrar en sus sitios web información sobre los proyectos que reciban apoyo en virtud del presente Reglamento, incluida una referencia explícita al apoyo recibido del Fondo de Innovación, así como garantizar que la información coherente, eficaz y específica sobre el apoyo llega a diversos destinatarios, incluidos los medios de comunicación y el público.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de julio de 2018, sobre las normas financieras aplicables al presupuesto general de la Unión, por el que se modifican los Reglamentos (UE) n° 1296/2013, (UE) n° 1301/2013, (UE) n° 1303/2013, (UE) n° 1304/2013, (UE) n° 1309/2013, (UE) n° 1316/2013, (UE) n° 223/2014 y (UE) n° 283/2014 y la Decisión n° 541/2014/UE y por el que se deroga el Reglamento (UE, Euratom) n° 966/2012 (DO L 193 de 30.7.2018, pp. 1-222).

- Decisión 2010/670/UE de la Comisión, de 3 de noviembre de 2010, por la que se establecen los criterios y las medidas aplicables a la financiación de proyectos comerciales de demostración destinados a la captura y al almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, en condiciones de seguridad para el medio ambiente, así como de proyectos de demostración de tecnologías innovadoras de energía renovable, al amparo del régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad establecido por la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 290 de 6.11.2010, pp. 39-48).
- Directiva 2009/31/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican la Directiva 85/337/CEE del Consejo, las Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE y el Reglamento (CE) n.o 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 114-135).
- Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 2003, por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad y por la que se modifica la Directiva 96/61/CE del Consejo (DO L 275 de 25.10.2003, pp. 32-46).

### **GESTIÓN DE LOS RIESGOS DE INUNDACIÓN EN LA UNIÓN EUROPEA**

Las inundaciones son una amenaza para la salud de las personas, el patrimonio cultural, la economía y el medio ambiente. Con esta Directiva, la Unión Europea establece un marco para evaluar, cartografiar y planificar la reducción del riesgo de inundaciones en Europa.



El riesgo de inundación y la escala de los daños se incrementarán en el futuro a consecuencia del cambio climático, la gestión deficiente de las cuencas, la construcción en zonas con riesgo de inundación y el aumento de la población y las propiedades en esas zonas.

Si se tiene en consideración que la mayoría de las cuencas hidrográficas europeas son compartidas por varios países, la acción es más eficaz a escala europea, ya que permite una mejor evaluación de los riesgos y la coordinación de las medidas adoptadas por los países de la UE.

**Directiva 2007/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2007, relativa a la evaluación y gestión de los riesgos de inundación.**

Esta Directiva tiene por objeto establecer un marco para las medidas destinadas a reducir el riesgo de inundaciones en la UE, evaluando el riesgo de inundación en las cuencas hidrográficas y regiones costeras, cartografiando las zonas proclives a inundaciones importantes y diseñando planes de gestión del riesgo de inundación a través de la estrecha cooperación entre los países de la UE.

Esta Directiva exige a los países de la UE que evalúen el riesgo de inundación en las regiones costeras y las cuencas hidrográficas mediante la recopilación de información sobre esas zonas y la determinación del grado de probabilidad de que se produzcan inundaciones significativas en el futuro y sus consecuencias. Estas evaluaciones se publicaron por primera vez el 22 de diciembre de 2011 y serán revisadas el 22 de diciembre de 2018; a partir de entonces la revisión se realizará cada seis años.

Los países de la UE deben además elaborar mapas que identifiquen las zonas proclives a riesgos de inundación significativos y que señalen escenarios basados en una probabilidad alta, media o baja en los que se produzca una inundación en esos lugares. Estos mapas se publicaron por primera vez el 22 de diciembre de 2013 y la revisión se realizará cada seis años.

Los países de la UE deben establecer planes de gestión del riesgo de inundación que se coordinen a escala de la cuenca hidrográfica o de los distritos costeros. Estos planes marcan objetivos para la gestión de los riesgos de inundación centrándose, principalmente, en la prevención, la protección y la preparación. Estos planes deberán estar finalizados el 22 de diciembre de 2015 y también se revisarán cada seis años.

Tanto los mapas de riesgos de inundación como los planes de gestión están coordinados con la Directiva marco sobre el agua (DMA<sup>190</sup>). La aplicación de la DMA, de la presente Directiva y de otras directivas relacionadas con el agua se guía por la Estrategia de Aplicación Común, que también tiene por objeto integrar las políticas sobre el agua en otras políticas de la UE, como las de agricultura, transportes o investigación y desarrollo regional.

### **1.3. VIGILANCIA Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO**

#### **NEGOCIACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS RELATIVAS AL CLIMA: PROTOCOLO DE KIOTO — PRIMER PERÍODO DE COMPROMISO**

---

<sup>190</sup> La Directiva marco sobre el agua (DMA) es una norma del Parlamento Europeo y del Consejo de la Unión Europea por la que se establece un marco de actuación comunitario en el ámbito de la política del agua.

El Protocolo de Kioto era, hasta la Conferencia de París sobre el Clima de diciembre de 2015, el único acuerdo legalmente vinculante del mundo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Adoptado en diciembre de 1997, contiene los compromisos de las naciones industrializadas participantes de reducir, durante el primer período de compromiso (2008-2012), sus emisiones totales de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre, de media un 5 % en comparación con los niveles de 1990.

**Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DO L 130 de 15.5.2002, pp. 1-3).**

La presente Decisión otorga la aprobación jurídica de la Unión Europea al Protocolo de Kioto —un acuerdo bajo la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y la confirmación de que la UE y los quince países que eran miembros en el momento en que se adoptó la legislación cumplirían los compromisos que asumieron de reducir en un 8 % sus emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con los niveles de 1990 para la UE en su conjunto.

Puesto que el Protocolo de Kioto permitía que grupos de países cumplieren sus objetivos de forma conjunta, la reducción total del 8 % para la UE y sus países se desglosó en objetivos nacionales legalmente vinculantes, ajustados a la riqueza relativa de cada país en aquel momento.

La Decisión establece limitaciones o reducciones de las emisiones para la EU-15 entre 2008 y 2012. Los objetivos son: i) reducir los niveles globales de emisiones de la UE hasta el 92 %; ii) reducir las emisiones de ocho países hasta entre el 72 % (Luxemburgo) y el 94 % (Países Bajos); iii) permitir que cinco las aumenten hasta entre el 104 % (Suecia) y el 127 % (Portugal); y iv) mantener a dos (Francia y Finlandia) en los niveles existentes (100 %).

Se han establecido objetivos individuales similares para los países que se han incorporado a la UE después de la adopción del Protocolo de Kioto, excepto en los casos de Chipre y Malta, que no tienen objetivos.

La UE y sus países han cumplido los compromisos recogidos en el primer período de compromiso del Protocolo de Kioto (2008-2012).

Para cubrir el vacío entre el final del primer período de Kioto y el inicio de un nuevo acuerdo global en 2020, treinta y siete países desarrollados y la UE acordaron un segundo período. Los acuerdos para 2013-2020 fueron adoptados en la Conferencia de Doha sobre el Cambio Climático, de diciembre de 2012.

**Documentos Conexos:**

- Decisión (UE) 2015/1339 del Consejo, de 13 de julio de 2015, relativa a la celebración, en nombre de la Unión Europea, de la enmienda de Doha al Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DO L 207 de 4.8.2015, pp. 1-5).

**NEGOCIACIONES DE LAS NACIONES UNIDAS RELATIVAS AL CLIMA:**  
**PROTOCOLO DE KIOTO — SEGUNDO PERÍODO DE COMPROMISO**

El Protocolo de Kioto era, hasta la Conferencia de París sobre el Clima de diciembre de 2015, el único acuerdo legalmente vinculante del mundo para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Adoptado en diciembre de 1997, contiene los compromisos de las naciones industrializadas participantes de reducir, durante el primer período de compromiso (2008-2012), sus emisiones totales de seis gases de efecto invernadero: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarburos, perfluorocarburos y hexafluoruro de azufre, de media un 5 % en comparación con los niveles de 1990.

En la Conferencia de Doha sobre el Cambio Climático de diciembre de 2012, las Partes en el Protocolo de Kioto adoptaron la enmienda de Doha, por la que se establece un segundo período de compromiso del Protocolo de Kioto (2013-2020). La segunda fase del Protocolo de Kioto sirve de puente hacia un acuerdo global sobre el cambio climático para el período posterior a 2020.

Puesto que Islandia no es un país de la UE, los términos del cumplimiento conjunto relativos a su participación tuvieron que recogerse en un acuerdo internacional independiente [Decisión (UE) 2015/1340 del Consejo].

**Decisión (UE) 2015/1339 del Consejo, de 13 de julio de 2015, relativa a la celebración, en nombre de la Unión Europea, de la enmienda de Doha al Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DO L 207 de 4.8.2015, pp. 1-5).**

La presente Decisión recoge la aprobación formal del acuerdo alcanzado en la conferencia de Doha de diciembre de 2012 para establecer un segundo período

de compromiso del Protocolo de Kioto. Este segundo período de compromiso transcurre entre el 1 de enero de 2013 y el 31 de diciembre de 2020.

Treinta y ocho partes, incluida la Unión Europea, participan en la segunda fase y se comprometen a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero al menos un 18 % por debajo de los niveles de 1990 durante el período 2013-2020.

La Unión Europea, los países de la UE e Islandia se han comprometido a lograr conjuntamente una reducción del 20 % en sus emisiones conjuntas de gases de efecto invernadero durante el período 2013-2020, en comparación con el nivel de 1990 o con el año de base elegido. El objetivo refleja el total de emisiones de gases de efecto invernadero permitido durante el período 2013-2020 dentro del paquete sobre clima y energía.

El compromiso conjunto del 20 % es compartido por la UE, los países de la UE e Islandia.

**Documentos Conexos:**

- Decisión 2002/358/CE del Consejo, de 25 de abril de 2002, relativa a la aprobación, en nombre de la Comunidad Europea, del Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y al cumplimiento conjunto de los compromisos contraídos con arreglo al mismo (DO L 130 de 15.5.2002, pp. 1-3).
- Decisión (UE) 2015/1340 del Consejo, de 13 de julio de 2015 relativa a la celebración, en nombre de la Unión Europea, del Acuerdo entre la Unión Europea y sus Estados miembros, por una parte, e Islandia, por otra, sobre la participación de Islandia en el cumplimiento conjunto de los compromisos de la Unión Europea, sus Estados Miembros e Islandia en el segundo período

de compromiso del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (DO L 207 de 4.8.2015, pp. 15-16).

#### **1.4. ACUERDOS INTERNACIONALES**

##### **LA UNIÓN EUROPEA Y EL ACUERDO INTERNACIONAL DE 2015 SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO**

Durante la Conferencia de Durban de finales de 2011, las Naciones Unidas pusieron en marcha las negociaciones sobre un nuevo acuerdo climático. Su objetivo era reunir en un sistema global el mosaico de acuerdos vinculantes y no vinculantes alcanzados desde el Protocolo de Kioto de 1992.

La propia comunidad internacional se fijó como objetivo alcanzar un nuevo acuerdo sobre el cambio climático en la Conferencia de París celebrada en diciembre de 2015. La UE consideró que debía ser lo más ambiciosa posible e incluir compromisos concretos de todas las principales economías. Durante la Conferencia de París sobre el Cambio Climático (COP21), 195 países adoptaron el primer acuerdo mundial sobre cambio climático universal y legalmente vinculante.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones — El Acuerdo**

**internacional de 2015 sobre el cambio climático: configuración de la política climática internacional después de 2020 [COM (2013) 167 final de 26.3.2013].**

Esta Comunicación establece las cuestiones fundamentales que la Comisión Europea considera que deberían abordarse en los últimos esfuerzos internacionales para luchar contra el cambio climático para reducir las emisiones globales de aquí a 2050 hasta como mínimo un 60 % por debajo de los niveles de 2010.

En octubre de 2014, la Unión Europea acordó que su contribución representará una reducción vinculante y para toda la economía, de las emisiones nacionales de gases de efecto invernadero en como mínimo un 40 % hasta 2030.

La Comunicación de la Comisión subraya la importancia de los siguientes componentes:

- Compromisos nacionales ambiciosos para establecer objetivos claros y equitativos dentro de un marco reglamentario común. Estos deberían ser alcanzables y revisarse a medida que vayan evolucionando las circunstancias económicas nacionales y mundiales.
- Tanto los países desarrollados como los países en desarrollo deberían contribuir al objetivo global de limitar a 2 °C el aumento de la temperatura media mundial.

### **PROTOCOLO DE MONTREAL RELATIVO A LAS SUSTANCIAS QUE AGOTAN LA CAPA DE OZONO**

El Protocolo de Montreal es el único tratado de las Naciones Unidas que ha sido ratificado por todos los países del mundo: los 197 países miembros de las



Naciones Unidas. El Protocolo de Montreal evoluciona con el tiempo, en función de los avances científicos, técnicos y económicos. Actualmente incluye casi cien sustancias químicas artificiales que dañan la capacidad de la capa de ozono de proteger al ser humano y a otros seres vivos de la radiación ultravioleta dañina emitida por el sol.

La UE aplica el Protocolo a través de su propia legislación, que contiene medidas más estrictas y ambiciosas.

Aunque el Protocolo regula la fabricación de sustancias y su comercio a granel, el Reglamento (CE) nº 1005/2009 sobre las sustancias que agotan la capa de ozono, prohíbe su uso en productos y aparatos, y regula y supervisa sustancias que no están incluidas en el Protocolo.

Por otra parte, el Reglamento (UE) nº 517/2014 sobre los gases fluorados de efecto invernadero incluye una reducción ambiciosa de los HFC, que ya comenzó en 2015 y que también abarca los HFC que contienen determinados productos y aparatos e incluye también prohibiciones de comercialización de determinados productos y aparatos nuevos que contienen gases fluorados y recoge varias medidas que previenen las emisiones.

**Decisión del Consejo 88/540/CEE, de 14 de octubre de 1988, relativa a la celebración del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono y del Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono (DO L 297 de 31.10.1988, pp. 8-9).**

El Protocolo de Montreal del Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono es un acuerdo mundial para proteger la capa de ozono de la estratosfera terrestre reduciendo gradualmente las sustancias químicas que la agotan. Esta

reducción gradual incluye tanto la producción como el consumo de sustancias que agotan la capa de ozono (SAO<sup>191</sup>).

Dado que las SAO también son potentes gases de efecto invernadero, la reducción gradual también es fundamental para mitigar el cambio climático. Además, a pesar del hecho de que los hidrofluorocarbonos no agotan la capa de ozono, el Protocolo pretende reducir gradualmente su producción y su consumo para impedir que las SAO sean sustituidas por los HFC, que contribuyen de forma significativa al cambio climático.

El Protocolo de Montreal se acordó en 1987 y entró en vigor en 1989. Desde entonces, se ha modificado en varias ocasiones. La última modificación, la Enmienda de Kigali, pide la reducción gradual de los HFC.

Las emisiones procedentes de los HFC se abordan en el Acuerdo de París, aprobado por la Decisión (UE) 2016/1841. Por tanto, el Protocolo de Montreal contribuye a cumplir el objetivo de limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C por encima de los niveles preindustriales y de mantener los esfuerzos por limitar el incremento de la temperatura aún más, a 1,5 °C por encima de los niveles preindustriales.

La UE y los países de la UE son Partes en el Convenio de Viena y su Protocolo de Montreal que contiene disposiciones sobre: i) medidas de control (artículo 2), ii) cálculo de los niveles de control (artículo 3); iii) control del comercio con Estados que no sean parte (artículo 4); iv) situación especial de los países en desarrollo (artículo 5); v) presentación de datos (artículo 7); vi) incumplimiento

---

<sup>191</sup> Las sustancias agotadoras de ozono (SAO) son los halocarbonos que contienen cloro y bromo, responsables del adelgazamiento y destrucción de la capa de ozono, permitiendo que los rayos ultravioleta B ingresen con mayor intensidad hasta la superficie terrestre y afecten la vida en el planeta.

(artículo 8); vii) disposiciones financieras; viii) asistencia técnica (artículo 10); y ix) otras cuestiones.

El Protocolo de Montreal prevé una reducción progresiva del consumo y la producción de las sustancias que agotan la capa de ozono y una eliminación gradual de los HFC. Existen distintos plazos para los países en desarrollo y para los países desarrollados para cada grupo de sustancias.

Los plazos hacen referencia a:

- Los CFC a partir del 1 de enero de 1996 para las Partes que no operan al amparo del artículo 5 y a partir del 1 de enero de 2010 para las Partes que operan al amparo del artículo 5, con posibles exenciones.
- Los halones a partir del 1 de enero de 1994 para las Partes que no operan al amparo del artículo 5 y a partir del 1 de enero de 2010 para las Partes que operan al amparo del artículo 5, con posibles exenciones.
- Los HCFC a partir del 1 de enero de 2020 para las Partes que no operan al amparo del artículo 5 y a partir del 1 de enero de 2030 para las Partes que operan al amparo del artículo 5, con posibles exenciones y un pequeño porcentaje puede utilizarse para el mantenimiento de los equipos de refrigeración y aire acondicionado existentes, un derecho de emisión del 0,5 % del consumo de nivel de base hasta el 1 de enero de 2030 para el mantenimiento de los equipos de refrigeración y aire acondicionado existentes el 1 de enero de 2020 para las Partes que no operan al amparo del artículo 5, y un derecho de emisión del 2,5 % del consumo de nivel de base cuando se calcula una media de diez años para el período 2030-2040 hasta el 1 de enero de 2040 para el mantenimiento de los equipos de

refrigeración y aire acondicionado existentes el 1 de enero de 2030 para las Partes que operan al amparo del artículo 5.

- Para los HFC la primera fase de reducción para las Partes que no operan al amparo del artículo 5 se puso en marcha en 2019, mientras que la mayoría de las Partes que operan al amparo del artículo 5 empezarán la reducción en 2024.

El artículo 4 del Protocolo de Montreal especifica normas para el control del comercio con Estados que no sean parte: estas prohíben o restringen el comercio de sustancias controladas de los países que son Parte del Protocolo con países que no lo son. Al incluir esta medida, se intenta maximizar la participación en el Protocolo. En un principio las disposiciones se aplicaban a los grupos iniciales de SAO y, con el paso del tiempo, se han ido ampliando para incluir grupos adicionales de sustancias que se han introducido en el Protocolo en modificaciones sucesivas.

Las Partes del Protocolo de Montreal:

- Aprobarán procedimientos para determinar las medidas aplicables en caso de incumplimiento de las disposiciones del presente Protocolo y actuar respecto a las Partes que no hayan cumplido lo prescrito.
- Evaluarán, al menos cada cuatro años a partir de 1990, la aplicación de las medidas de control, incluida la posibilidad de añadir o eliminar las sustancias enumeradas en las listas de sustancias prohibidas.
- Cumplirán las obligaciones de presentación de informes anuales sobre cada una de las sustancias controladas. Los datos deben ser facilitados a la Secretaría del Protocolo.

- Colaborarán para promover el acceso a las mejores tecnologías pertinentes, estrategias de control y alternativas posibles a las sustancias.
- Fomentarán la asistencia técnica para ayudar a los países que no sean Parte, a participar en el Protocolo y aplicarlo.
- Celebrarán reuniones a intervalos regulares, que serán organizadas por la Secretaría.
- Aportarán los fondos necesarios para la aplicación del Protocolo, incluidos los necesarios para el funcionamiento de la Secretaría.
- Podrán notificar su intención de retirarse del Protocolo, con arreglo a las condiciones especificadas en el artículo 19.

**Documentos Conexos:**

- Acuerdo de París (DO L 282 de 19.10.2016, pp. 4-18).
- Decisión (UE) 2016/1841 del Consejo, de 5 de octubre de 2016, relativa a la celebración, en nombre de la Unión Europea, del Acuerdo de París aprobado en virtud de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (DO L 282 de 19.10.2016, pp. 1-3).
- Reglamento (CE) nº 1005/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de septiembre de 2009, sobre las sustancias que agotan la capa de ozono (DO L 286 de 31.10.2009, pp. 1-30) y sus modificaciones.
- Reglamento (UE) nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006 (DO L 150 de 20.5.2014, pp. 195-230).

**EL CAMINO DESDE PARÍS: EVALUAR LAS CONSECUENCIAS DEL ACUERDO DE PARÍS EN LA LUCHA CONTRA EL CAMBIO CLIMÁTICO**

En la Conferencia sobre el Clima de París (COP21) de diciembre de 2015, 195 países adoptaron el Acuerdo de París, el primer acuerdo universal jurídicamente vinculante de la historia sobre cambio climático.

Dicho Acuerdo entró en vigor después de que lo ratificaran al menos cincuenta y cinco países, que representan al menos el 55 % de las emisiones mundiales.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo — El camino desde París: evaluar las consecuencias del Acuerdo de París y complementar la propuesta de Decisión del Consejo relativa a la firma, en nombre de la Unión Europea, del Acuerdo de París adoptado en el marco de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático [COM (2016) 110 final de 2.3.2016].**

Esta Comunicación establece los elementos clave del Acuerdo de París y la forma en que la Unión Europea los está aplicando. Tiene por objeto animar a sus socios internacionales en los esfuerzos por hacer la transición a una economía hipocarbónica.

El Acuerdo de París proporciona un plan de acción global para hacer frente al cambio climático. Este incluye:

- La limitación del calentamiento mundial a mucho menos de 2 °C por encima de los niveles preindustriales y los esfuerzos para mantener el aumento de temperatura a 1,5 °C.
- La elaboración de un balance mundial cada cinco años a partir de 2023, con el fin de analizar los progresos realizados.

- La garantía de la obligación jurídica de los signatarios de adoptar medidas nacionales de mitigación.
- La introducción de una mayor transparencia y medidas de rendición de cuentas con, por ejemplo, la publicación de los inventarios sobre gases de efecto invernadero cada dos años.
- El apoyo financiero y de otros tipos para ayudar a los países menos ricos a que adopten las medidas de adaptación necesarias.

Para aplicar el Acuerdo de París, la UE:

- Ejecutará su proyecto de la Unión de la Energía, para abandonar una economía de combustibles fósiles.
- Apoyará la investigación y el desarrollo para la innovación hipocarbónica.
- Utilizará la financiación de la UE, como el Fondo Europeo para Inversiones Estratégicas, y las políticas, especialmente la Unión de los mercados de capitales, para fomentar una mayor inversión privada.
- Utilizará su propia experiencia de tarificación de las emisiones de carbono para alentar a otros países a adoptar medidas similares.
- Animará a la sociedad civil en general (el público, la industria y los sindicatos, y las grandes y pequeñas empresas) a que contribuyan a alcanzar los objetivos.
- Hará hincapié en la importancia de la acción por el clima en su variada agenda política con los socios internacionales, lo cual incluye la ayuda especial para los países en desarrollo.
- Presentará distintas propuestas en ámbitos como la eficiencia energética y las energías renovables, para cumplir sus propios objetivos climáticos y energéticos para 2030. En el plano interno, la UE tiene por objeto reducir sus

propias emisiones de gases de efecto invernadero como mínimo un 40 % para 2030.

## **2. ENERGÍA LIMPIA Y EFICIENTE**

### **HACIA UNA ENERGÍA SOSTENIBLE, COMPETITIVA Y SEGURA PARA EUROPA**

La Unión Europea se ha comprometido a reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80 y un 95 % por debajo de los niveles de 1990 para 2050. Actualmente establece el nuevo camino para cumplir los objetivos de descarbonización establecidos para las próximas tres décadas con el fin de proporcionar certidumbre a los inversores, los gobiernos y los ciudadanos.

El sistema de energía europeo necesita cambios y se tarda mucho tiempo en ver los resultados de las inversiones en energía. Las decisiones adoptadas hoy ya están dando forma al sistema de energía de 2050 a medida que se sustituyen las infraestructuras obsoletas y se desarrollan nuevas formas de energía. Durante esta transformación, los inversores, tanto públicos como privados, necesitan tener una idea clara sobre el camino que sigue la UE.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Hoja de Ruta de la Energía para 2050 [COM (2011) 885 final de 15.12.2011].**

La Hoja de Ruta de la Energía examina diferentes hipótesis para alcanzar una economía hipocarbónica competitiva en 2050 al mismo tiempo que garantiza la seguridad del abastecimiento energético, de forma que, independientemente de la hipótesis elegida, los objetivos de descarbonización son viables.



Para alcanzar el nuevo sistema de energía, la Hoja de ruta identifica los siguientes factores:

- La estrategia Energía 2020 existente, con capacidad para reducir las emisiones en un 40 % en 2050, debe aplicarse totalmente.
- La principal preocupación debe ser la eficiencia energética, especialmente en los edificios nuevos y antiguos, el transporte, los productos y los aparatos.
- Las energías renovables tienen el potencial de proporcionar, aproximadamente, el 30 % del consumo total de energía de la UE en 2030.
- Se necesitan mayores inversiones públicas y privadas en I+D+i<sup>192</sup> para que la comercialización de la energía hipocarbónica sea viable.
- La sustitución del carbón y del petróleo por gas puede reducir las emisiones con las tecnologías existentes al menos hasta 2030 o 2035.
- Los precios de la energía han de reflejar mejor los costes reales, especialmente cuando se hacen nuevas inversiones. Cuanto antes se haga esto, más fácil resultará cambiar a un sistema hipocarbónico.
- Es necesario crear nuevas infraestructuras energéticas en la UE y en países vecinos para vehículos eléctricos e instalaciones de almacenamiento, entre otros.
- Es necesario garantizar la seguridad y la protección de las fuentes de energía tradicionales y nuevas.
- La UE debe adoptar un enfoque más amplio y coordinado respecto de las relaciones internacionales en materia de energía y tomar medidas para combatir el cambio climático.

---

<sup>192</sup> I+D+i, investigación, desarrollo e innovación tecnológica.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Energía 2020: Estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura [COM (2010) 639 final de 10.11.2010].

**CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA PROCEDENTE DE LAS  
INSTALACIONES DE COMBUSTIÓN MEDIANAS**

La presente legislación colma la laguna normativa existente entre las grandes instalaciones de combustión de más de 50 MW, que se regulan en la Directiva sobre las emisiones industriales, y los dispositivos de combustión pequeños, como los calentadores y las calderas, regulados en la Directiva sobre diseño ecológico.

Las instalaciones de combustión medianas se utilizan para una amplia gama de aplicaciones como la generación de electricidad, la calefacción y refrigeración domésticas y residenciales, el suministro de calor y vapor para procesos industriales, entre otros.

**Directiva (UE) 2015/2193 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de noviembre de 2015, sobre la limitación de las emisiones a la atmósfera de determinados agentes contaminantes procedentes de las instalaciones de combustión medianas (DO L 313 de 28.11.2015, pp. 1-19).**

Esta Directiva establece las normas para controlar las emisiones a la atmósfera de dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas de polvo provenientes de instalaciones de combustión medianas<sup>193</sup>, así como las normas para medir las emisiones de monóxido de carbono de estas instalaciones. Tiene por objeto reducir los posibles efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente.

Los países de la Unión Europea velarán los siguientes aspectos:

- Todas las nuevas instalaciones de combustión medianas, es decir, las instalaciones puestas en funcionamiento después del 19 de diciembre de 2018 dispongan de un permiso o estén registradas.
- A partir del 1 de enero de 2024, todas las instalaciones existentes con una potencia térmica nominal<sup>194</sup> superior a 5 MW dispongan de un permiso o estén registradas.
- A partir del 1 de enero de 2029, todas las instalaciones existentes con una potencia térmica nominal igual o inferior a 5 MW dispongan de un permiso o estén registradas.

La autoridad competente de cada país de la UE debe mantener un registro a disposición del público con información sobre cada instalación, como el tipo de combustibles utilizados y el número previsto de horas de funcionamiento anuales.

---

<sup>193</sup> Las instalaciones de combustión mediana son instalaciones que queman combustible y utiliza el calor generado, con una potencia térmica nominal igual o superior a 1 MW e inferior a 50 MW, independientemente del tipo de combustible que utilice.

<sup>194</sup> La potencia térmica nominal es la potencia máxima que, según determine y garantice el fabricante, puede suministrar un equipo en funcionamiento continuo, ajustándose a los rendimientos declarados por el fabricante.

La legislación fija los valores límite de emisión según las categorías de combustibles y establece, asimismo, una distinción entre instalaciones nuevas y existentes. Algunas instalaciones pueden quedar exentas de los límites.

Los valores límite entran en vigor el 20 de diciembre de 2018 para las nuevas instalaciones y a partir de 2025 o 2030 para las existentes, en función de su tamaño.

Los titulares de las instalaciones deben:

- Realizar un seguimiento de sus emisiones.
- Llevar un registro, durante al menos seis años, de los resultados del seguimiento de las emisiones, las horas de funcionamiento, el tipo y las cantidades de los combustibles utilizados y los datos sobre cualquier fallo de funcionamiento o avería.

Los países de la UE deben:

- Establecer un sistema efectivo de inspecciones que permita comprobar el cumplimiento de los valores límite de emisiones.
- A más tardar el 1 de enero de 2021, presentar un informe a la Comisión Europea con una estimación del total de emisiones de monóxido de carbono (CO) anuales.
- A más tardar el 1 de octubre de 2026, facilitar a la Comisión información de carácter cualitativo y cuantitativo sobre la aplicación de la presente Directiva. Dicho informe debe incluir una estimación de las emisiones anuales totales de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> y partículas de polvo procedentes de las instalaciones, agrupadas por tipo, combustible utilizado y capacidad.

- A más tardar el 1 de octubre de 2031, remitir a la Comisión un segundo informe sobre la aplicación de la presente Directiva.

Por otro lado, la Comisión:

- Presentará un informe de síntesis al Parlamento Europeo y al Consejo en el plazo de los doce meses siguientes a la recepción de los informes nacionales sobre la aplicación de la presente Directiva.
- A más tardar el 1 de enero de 2020, revisará los progresos por lo que respecta a la eficiencia energética de las instalaciones de combustión medianas y evaluará los beneficios derivados de la fijación de normas mínimas en materia de eficiencia energética.
- A más tardar el 1 de enero de 2023, evaluará la necesidad de revisar aspectos de la legislación, que incluyen la conveniencia de fijar valores límite de emisión más estrictos para las nuevas instalaciones, así como de regular las emisiones de CO.

La Directiva no es aplicable a determinadas instalaciones de combustión, tales como: i) los hornos con batería de coque; ii) las turbinas de gas y los motores de gas y gasóleo, cuando se utilicen en plataformas marinas; iii) los reactores utilizados en la industria química, y iv) las instalaciones que ya figuran en el ámbito de aplicación de otras legislaciones de la UE que regulan sus emisiones, como la Directiva 2010/75/UE sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación).

La Directiva no es aplicable a actividades secundarias de investigación, desarrollo o experimentación.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2010/75/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 24 de noviembre de 2010, sobre las emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación) (DO L 334 de 17.12.2010, pp. 17-119) y sus modificaciones.

**EL FUTURO DE LA CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CARBONO EN EUROPA**

La captura y almacenamiento de carbono (CAC) es una técnica de cerramiento de las emisiones de dióxido de carbono de grandes fuentes como las centrales eléctricas, que las comprime y transporta para lograr su almacenamiento seguro a gran profundidad en el suelo. Esta tecnología tiene un gran potencial para conseguir mitigar el cambio climático. Sin embargo, los costes que conlleva, especialmente la captura de las emisiones, son elevados.

El CO<sub>2</sub> se puede almacenar en distintos lugares, en particular en depósitos salinos profundos o de petróleo y gas, y en vetas de carbón que no se pueden explotar. No debe entrar en contacto con la atmósfera.

La legislación en vigor desde 2009 en materia de almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, conocida como la Directiva CAC, estipula cómo se deben seleccionar, autorizar, explotar y clausurar los centros de almacenamiento. Estos deben demostrar que no suponen un riesgo significativo de fuga o perjuicio para la salud de las personas ni para el medio ambiente.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones sobre el futuro de la captura y almacenamiento de carbono en Europa [COM (2013) 180 final de 27.3.2013].**

La Comunicación de la Comisión Europea subraya que la CAC es una tecnología clave en la transición hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050. Permite conciliar la demanda creciente de combustibles fósiles con la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. También destaca los avances logrados hasta ahora y recaba las opiniones de las partes interesadas acerca de una serie de opciones para incentivar un uso más amplio y comercialmente viable de la tecnología en la Unión Europea.

En todo el mundo, se están desarrollando con éxito más de veinte proyectos de CAC a escala de demostración. Ocho de ellos completan todo el ciclo: captura, transporte y almacenamiento, pero ninguno está en la UE.

Esta Comunicación identifica los obstáculos para un uso más amplio de la CAC:

- Ausencia de incentivos económicos para invertir en la CAC debido a los bajos precios de los derechos de emisión.
- Oposición pública al almacenamiento terrestre de CO<sub>2</sub>.
- Existe una capacidad de almacenamiento suficiente, pero no toda esa capacidad es accesible ni se encuentra cerca de los emisores de CO<sub>2</sub>.
- Necesidad de cooperación internacional.

El Programa Energético Europeo para la Recuperación<sup>195</sup> (PEER) y el Programa NER300<sup>196</sup> aportan la financiación para los grandes proyectos de demostración de la CAC.

## **REQUISITOS DE DISEÑO ECOLÓGICO DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA**

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. La Comisión debe definir dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

**Reglamento (UE) nº 548/2014 de la Comisión, de 21 de mayo de 2014, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes (DO L 152 de 22.5.2014, pp. 1-15) y sus modificaciones.**

Este Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico<sup>197</sup> que deben cumplirse para introducir en el mercado o poner en servicio transformadores de potencia de una potencia mínima de 1 kilovoltamperio (kVA) utilizados en redes de transmisión y distribución eléctrica de 50 Hertzios (Hz) o para aplicaciones industriales.

---

<sup>195</sup> El Programa Energético Europeo para la Recuperación (PEER) es un Programa destinado al desarrollo de proyectos comunitarios del ámbito de la energía que contribuyan a la recuperación económica, la seguridad del abastecimiento energético y la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

<sup>196</sup> NER 300 es un instrumento de financiación gestionado conjuntamente por la Comisión Europea, el Banco Europeo de Inversiones y los Estados Miembros que reúne en torno a 2.000 millones de euros para tecnologías innovadoras de baja emisión de carbono y se centra en la demostración a escala comercial en la UE de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono (CAC) en condiciones seguras para el medio ambiente y tecnologías innovadoras de energías renovables.

<sup>197</sup> Diseño ecológico es la política destinada a mejorar, mediante un mejor diseño, el comportamiento medioambiental de los productos a lo largo de todo su ciclo de vida, en especial su eficiencia energética.



La experiencia adquirida con la aplicación de la Directiva puso de manifiesto que existían desviaciones nacionales en las tensiones normalizadas de las redes de distribución eléctrica de ciertos países de la UE. Estas desviaciones justificaban el cambio en los umbrales de tensión en la clasificación de los transformadores y en los requisitos mínimos aplicables de rendimiento energético. Por tanto, el Reglamento (UE) 2019/1783 modifica el Reglamento (UE) nº 548/2014.

El Reglamento se aplica a los transformadores adquiridos a partir del 11 de junio de 2014.

Debe evaluarse el cumplimiento y la conformidad con el Reglamento de los transformadores de potencia medianos<sup>198</sup> y grandes<sup>199</sup> en los siguientes casos:

- Se ha cambiado el núcleo o parte del núcleo.
- Se ha cambiado una o más bobinas completas.

El presente Reglamento no se aplicará a los transformadores diseñados especialmente para las siguientes aplicaciones:

- Para conectarse directamente a un horno.
- Transformadores instalados en plataformas fijas o flotantes marítimas, turbinas eólicas marítimas o a bordo de buques y cualquier tipo de embarcación.
- Transformadores utilizados en equipos de soldadura por arco o resistencia.

El Reglamento establece el procedimiento de evaluación de la conformidad.

---

<sup>198</sup> Transformadores de potencia medianos son aquellos en el que todas las bobinas tengan una potencia nominal inferior o igual a 3.150 kVA y cuya mayor tensión para los equipos sea superior a 1,1 kilovoltios (kV), pero inferior o igual a 36 kV.

<sup>199</sup> Transformadores de potencia grandes son aquellos en el que al menos una bobina tenga una potencia nominal superior a 3.150 kVA o cuya mayor tensión para los equipos sea superior a 36 kV.

Los cambios introducidos en virtud del Reglamento (UE) 2019/1783 abarcan:

- Si los umbrales de tensión de las redes de distribución eléctrica se desvían de los umbrales normalizados en toda la Unión, los países de la UE deberán notificárselo a la Comisión Europea, de modo que pueda hacerse una notificación pública para la correcta interpretación de los distintos cuadros del anexo I del Reglamento (Requisitos de diseño ecológico).
- El fabricante, el importador o su representante autorizado no introducirán en el mercado productos que puedan detectar que están siendo objeto de ensayo y alterar su comportamiento en consecuencia.
- Para facilitar los ensayos de verificación, se permite a las autoridades de vigilancia del mercado someter a ensayo transformadores grandes en locales tales como los del fabricante y presenciar los ensayos de tales transformadores.
- La Comisión revisará el presente Reglamento y presentará los resultados, a más tardar el 1 de julio de 2023.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión en el marco de la aplicación del Reglamento (UE) nº 548/2014 de la Comisión, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo que respecta a los transformadores de potencia pequeños, medianos y grandes (Publicación de títulos y referencias de normas armonizadas conforme a la legislación sobre armonización de la Unión) (DO L 416 de 11.11.2016, pp. 12-13).
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de

requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).

### **REQUISITOS DE DISEÑO ECOLÓGICO: EQUIPOS DE SOLDADURA**

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. La Comisión debe definir dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

**Reglamento (UE) 2019/1784 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para los equipos de soldadura de conformidad la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 272 de 25.10.2019, pp. 121-135).**

Este Reglamento establece los requisitos de diseño ecológico\* para la introducción en el mercado o la puesta en servicio de equipos de soldadura eléctricos conectados a la red eléctrica.

Enumera los procesos de soldadura a los que se aplica el Reglamento y a los que no. Los requisitos de diseño ecológico se establecen en el anexo II y entre ellos se incluye lo siguiente: i) los valores mínimos de eficiencia para la fuente de potencia utilizada; ii) el consumo máximo de potencia en estado de reposo; iii) los requisitos no relacionados con la energía para facilitar la reparación, el desmontado, la prolongación de la vida útil y la reutilización de los equipos de soldadura y sus componentes, incluido poner a disposición de los reparadores profesionales las piezas de recambio durante un período mínimo de diez años y poner a disposición de los reparadores profesionales, de forma gratuita,

información específica sobre reparación y mantenimiento a través del sitio web del fabricante de los equipos de soldadura, el importador o un representante autorizado.

El Reglamento establece el procedimiento de evaluación de la conformidad y, en el anexo III, los métodos de medición y cálculo que deben seguirse basándose, en su caso, las normas armonizadas adoptadas por las organizaciones europeas de normalización.

Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación recogidos en el anexo IV cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

Los fabricantes, los importadores o sus representantes autorizados no deben ofrecer para la venta productos que puedan detectar que son objeto de ensayo y cambiar su rendimiento en consecuencia.

En el anexo V se establecen los índices de referencia de los productos y las técnicas dotados de las mejores prestaciones disponibles en el mercado en términos de eficiencia de la fuente de potencia y consumo máximo de potencia en estado de reposo.

La Comisión Europea a la luz del progreso tecnológico y presentar los resultados de dicha evaluación, incluido, en su caso, un proyecto de propuesta de revisión a más tardar el 14 de noviembre de 2024.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión: Plan de trabajo sobre diseño ecológico 2016-2019 [COM (2016) 773 final de 30.11.2016].

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular [COM (2015) 614 final de 2.12.2015].
- Reglamento (UE) nº 1025/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, sobre la normalización europea, por el que se modifican las Directivas 89/686/CEE y 93/15/CEE del Consejo y las Directivas 94/9/CE, 94/25/CE, 95/16/CE, 97/23/CE, 98/34/CE, 2004/22/CE, 2007/23/CE, 2009/23/CE y 2009/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se deroga la Decisión 87/95/CEE del Consejo y la Decisión nº 1673/2006/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 316 de 14.11.2012, pp. 12-33) y las sucesivas modificaciones.
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (DO L 197 de 24.7.2012, pp. 38-71).
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).

## **REQUISITOS DE DISEÑO ECOLÓGICO: FUENTES DE ALIMENTACIÓN EXTERNAS**

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. La Comisión debe definir dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen

ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

**Reglamento (UE) 2019/1782 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para las fuentes de alimentación externas<sup>200</sup> de conformidad con la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y se deroga el Reglamento (CE) nº 278/2009 de la Comisión (DO L 272 de 25.10.2019, pp. 95-106).**

Este Reglamento establece requisitos de diseño ecológico para la introducción en el mercado o la puesta en servicio de fuentes de alimentación externas.

El Reglamento no se aplica a: i) convertidores de tensión; ii) sistemas de alimentación ininterrumpida; iii) cargadores de baterías sin función de alimentación eléctrica; iv) convertidores para iluminación; v) fuentes de alimentación externas para productos sanitarios; vi) inyectores activos de alimentación a través de Ethernet; vii) estaciones de conexión para aparatos autónomos; y viii) fuentes de alimentación externas introducidas en el mercado antes del 1 de abril de 2025 únicamente como pieza de mantenimiento o pieza de recambio para sustituir a fuentes de alimentación externas idénticas introducidas en el mercado antes del 1 de abril de 2020.

Los requisitos de diseño ecológico se establecen en el anexo II.

---

<sup>200</sup> Fuentes de alimentación externas son dispositivo que reúne cada uno de estos criterios: i) diseñado para convertir la corriente alterna (CA) de entrada suministrada por la red eléctrica en una o varias corrientes continuas (CC) o CA de salida de tensión inferior; ii) se usa con uno o varios dispositivos independientes que constituyen la carga primaria; iii) contenido en una envolvente física independiente del dispositivo o los dispositivos que constituyen la carga primaria; iv) conectado al dispositivo o los dispositivos que constituyen la carga primaria mediante conexiones eléctricas extraíbles o fijas macho/hembra, cables, hilos u otro cableado; v) potencia nominal de salida de 250 vatios como máximo; y vi) se usa con equipos eléctricos y electrónicos domésticos y de oficina incluidos en el anexo I.

El Reglamento establece el procedimiento de evaluación de la conformidad y, en el anexo II, punto 3, el método de medición y los cálculos que deben seguirse.

Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación recogidos en el anexo III cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

El anexo IV establece valores de referencia indicativos de los productos o las tecnologías más eficaces disponibles en el mercado.

La Comisión Europea debe revisar el Reglamento a la luz del progreso tecnológico y presentar los resultados de dicha evaluación, incluido, en su caso, un proyecto de propuesta de revisión a más tardar el 14 de noviembre de 2022.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35) y sus modificaciones sucesivas.

**FOMENTO DEL USO DE LA BIOMASA COMO FUENTE DE ENERGÍA ALTERNATIVA**

La biomasa puede ayudar a abordar el cambio climático al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Su uso para combustibles de calefacción, generación de electricidad y transporte permite diversificar el suministro de energía en la Unión Europea y crear empleo y crecimiento. Para que su contribución sea efectiva, debe producirse de forma sostenible.

La biomasa procede de material orgánico, como árboles, plantas o residuos agrícolas y urbanos. Su producción implica una cadena de actividades, que van del cultivo de las materias primas a la conversión final en energía. En 2012, la biomasa y los residuos representaron aproximadamente dos tercios del consumo total de energía renovable de la UE.

**Comunicación de la Comisión - Plan de acción sobre la biomasa [COM (2005) 628 final de 7.12. 2005].**

Esta Comunicación establece formas de incrementar el desarrollo de la energía de la biomasa creando incentivos para su utilización y eliminando obstáculos para su producción. Propone medidas para fomentar la biomasa en la calefacción, la electricidad y el transporte. Aborda asuntos como el suministro, la financiación y la investigación. El presente plan de acción constituye una primera etapa para poner de manifiesto la importancia de la industria.

La Comunicación ha dado lugar a iniciativas adicionales para promover los biocarburantes.

Existen criterios de sostenibilidad para asegurar que el uso de biocarburantes garantice un ahorro de carbono real y proteja la biodiversidad. En estos, se estipula que los biocarburantes:

- Deben alcanzar una reducción de los gases de efecto invernadero de como mínimo el 35 % en comparación con los combustibles fósiles, porcentaje que pasa a ser del 50 % en 2017 no pueden proceder de tierras con elevadas reservas de carbono, como humedales o bosques.
- No pueden producirse a partir de materias primas procedentes de tierras ricas en biodiversidad.



A través de regímenes voluntarios, se verifica el cumplimiento de los criterios de sostenibilidad por parte de los productores. Si estos los cumplen, pueden optar a una ayuda financiera o su producción puede tenerse en cuenta para los objetivos nacionales en materia de energías renovables y de procedimientos para la concesión de permisos, las recomendaciones prácticas proporcionan ayuda y asesoramiento a los promotores de proyectos, las ONG y las autoridades públicas para gestionar las solicitudes de construcción de plantas de biomasa.

La Hoja de ruta europea de biocarburantes avanzados tiene por objetivo promover los biocarburantes como alternativa de combustibles renovables para las aeronaves.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 16-62).
- Libro Verde - Estrategia europea para una energía sostenible, competitiva y segura [COM (2006) 105 final de 8.3.2006].

**NORMAS DE LA UNIÓN EUROPEA PARA LA IMPOSICIÓN DE LOS PRODUCTOS ENERGÉTICOS Y DE LA ELECTRICIDAD**

**Directiva 2003/96/CE del Consejo, de 27 de octubre de 2003, por la que se reestructura el régimen comunitario de imposición de los productos energéticos y de la electricidad (DO L 283 de 31.10.2003, pp. 51-70) y sus modificaciones sucesivas.**

La presente Directiva establece las normas de la Unión Europea sobre impuestos relativos a la electricidad, los carburantes de automoción y la mayoría de los combustibles para calefacción.

Tiene por objetivo garantizar el buen funcionamiento del mercado único de la energía de la UE y evitar las distorsiones del comercio y de la competencia que pudieran derivarse de las grandes diferencias en los sistemas fiscales nacionales.

Las normas contribuyen a alcanzar objetivos generales, como la transición hacia una economía competitiva de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisiones de carbono.

Los productos energéticos son gravados únicamente cuando se utilizan como carburante de automoción o combustible para calefacción.

La legislación introduce unos niveles mínimos de impuestos para los carburantes de automoción, combustibles para calefacción y electricidad aplicables desde el 1 de enero de 2004.

Los productos energéticos utilizados para calefacción, agricultura, motores estacionarios y maquinaria de construcción y obras públicas pueden ser gravados a niveles inferiores que los carburantes de automoción.

Los Gobiernos pueden aplicar un tipo de impuestos más reducido a los gasóleos de automoción comerciales (cuando se utilizan en transportes de mercancías por carretera o en transportes de pasajeros) que a los gasóleos de automoción no comerciales.

La Directiva permite exenciones fiscales y reducciones impositivas por motivos de política medioambiental y sanitaria. Los Gobiernos pueden eximir de impuestos a las fuentes de energía renovables, como los biocarburantes o los carburantes y la electricidad utilizados para el transporte de pasajeros y mercancías por ferrocarril, metro, tranvía o trolebús.

La legislación prevé la aplicación de impuestos reducidos para empresas de elevado consumo energético, que son las que han realizado el mayor esfuerzo para reducir el consumo. Antes de aplicar la legislación, se concedieron disposiciones transitorias a los países de la UE que tuvieron dificultades para aplicar las nuevas medidas (Bélgica, Alemania, Irlanda, Grecia, España, Francia, Italia, Luxemburgo, los Países Bajos, Austria y Portugal).

Se concedieron exenciones temporales y períodos transitorios parecidos a los países que se adhirieron a la UE en 2004 y 2007.

La legislación no se aplica a algunos sectores de elevado consumo energético, como la metalurgia ni a productos energéticos de doble uso, es decir, que se utilizan tanto para calefacción como para otro fin, como la producción de determinadas sustancias químicas.

## 2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA

### **LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL HORIZONTE 2020**

En marzo de 2007, los líderes de la Unión Europea se comprometieron a reducir para 2020 el consumo de energía previsto en un 20 %, cifra que equivale a cerrar 400 centrales eléctricas. En octubre de 2014, acordaron un objetivo de ahorro energético del 27 % o más para 2030.

El consumo eficiente de energía tiene muchas ventajas: contribuye a que los hogares y las empresas abaraten las facturas de combustible, reduce la dependencia europea de los proveedores externos de petróleo y gas, combate el cambio climático y hace que la economía de la UE sea más sostenible y competitiva.

**Comunicación de la Comisión, de 13 de noviembre de 2008 - Eficiencia energética: alcanzar el objetivo del 20 % [COM (2008) 772 final].**

Esta Comunicación analiza los progresos realizados por la UE para lograr una mayor eficiencia energética e identifica las fuerzas positivas y barreras existentes. Asimismo, establece los detalles del paquete sobre eficiencia energética que la Comisión prevé presentar.

El paquete incluye las siguientes medidas:

- Se ampliará la legislación existente sobre eficiencia energética en los edificios para incluir más instalaciones. La Comisión considera que es viable ahorrar un 30 % más de energía en el sector.
- La legislación sobre el etiquetado por la que se exige información del consumo de energía de los productos se aplicará no solo a aparatos

domésticos, sino también a productos de tipo comercial e industrial consumidores de energía y relacionados con la energía, tales como las ventanas y los motores utilizados en los edificios.

- Se presentará una nueva legislación sobre el etiquetado energético para fomentar el uso de neumáticos que favorezcan el consumo eficiente de combustible. Dichos neumáticos, que no requieren tanta fuerza para girar el volante, consumen menos combustible.
- Se reforzarán las medidas vigentes sobre la generación combinada de electricidad y calor (cogeneración).

Posteriormente, en 2011, la Comisión propuso un Plan de Acción para la Eficiencia Energética para garantizar el cumplimiento del objetivo de ahorro del 20 % y contribuir al establecimiento de una economía con bajas emisiones de carbono y eficiente en el uso de los recursos.

En 2012, la UE adoptó una nueva Directiva sobre eficiencia energética por la que se establecieron las normas para un suministro y uso más eficientes y se fijaron objetivos orientativos nacionales para fomentar la eficiencia energética.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, p. 1-56).
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Plan de Eficiencia Energética 2011 [COM (2011) 109 final de 8.3.2011].

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: La eficiencia energética y su contribución a la seguridad de la energía y al marco 2030 para las políticas en materia de clima y energía [COM (2014) 520 final de 23.7.2014].

### **DISEÑO ECOLÓGICO Y ETIQUETADO ENERGÉTICO: FUENTES LUMINOSAS Y MECANISMOS DE CONTROL INDEPENDIENTES**

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. Encarga a la Comisión que defina dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

El Reglamento (UE) 2017/1369 establece un marco para la definición de requisitos de etiquetado energético para los productos relacionados con la energía con el fin de permitir que los consumidores elijan productos más eficientes para reducir su consumo energético.

**Reglamento (UE) 2019/2020 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para las fuentes luminosas y los mecanismos de control independientes con arreglo a la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y se derogan los Reglamentos (CE) nº 244/2009, (CE) nº 245/2009 y (UE) nº 1194/2012 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 209-240).**

**Reglamento Delegado (UE) 2019/2015 de la Comisión, de 11 de marzo de 2019, por el que se complementa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético**

**de las fuentes luminosas y se deroga el Reglamento Delegado (UE) n° 874/2012 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 68-101).**

Una fuente luminosa es un producto accionado electrónicamente destinado a emitir, o capaz de emitir, luz utilizando la incandescencia, la fluorescencia, la descarga de alta intensidad, diodos emisores de luz inorgánicos (LED) o diodos emisores de luz orgánicos (OLED), y que incluye determinadas fuentes luminosas de sodio a alta presión.

Los mecanismos de control son dispositivos que funcionan con las fuentes luminosas para adaptar la electricidad de la red para al requisito eléctrico de la fuente luminosa. Esto puede incluir transformar la tensión de alimentación y de cebado, limitar el suministro de corriente, prevenir el arranque en frío, corregir el factor de potencia o reducir las interferencias radioeléctricas. No incluye las fuentes de alimentación.

El Reglamento (UE) 2019/2020 de la Comisión:

- Fija en el anexo II la fecha de entrada en vigor, 1 de septiembre de 2021, de los requisitos de diseño ecológico, que abarcan: i) la eficiencia energética; ii) los requisitos funcionales; y iii) la información y el etiquetado para los profesionales y los usuarios finales.
- Establece en el anexo III excepciones para las fuentes luminosas y los dispositivos de control diseñados específicamente a su funcionamiento: i) en atmósferas potencialmente explosivas; ii) en caso de emergencia; iii) en instalaciones radiológicas y de medicina nuclear; iv) en el interior o el exterior de establecimientos, equipos, vehículos terrestres, equipos marinos o aeronaves militares o de defensa civil; v) en el interior o el exterior de

vehículos de motor, sus remolques y sistemas, equipos remolcados, componentes y unidades técnicas independientes; vi) en el interior o el exterior de máquinas móviles no de carretera; vii) en el interior o el exterior de determinados equipos destinados a ser remolcados; viii) en el interior o el exterior de aeronaves civiles; ix) en el alumbrado de vehículos ferroviarios; x) en equipos marinos; y xi) en productos sanitarios.

- Establece excepciones adicionales, como: i) pantallas de visualización electrónicas como televisores, monitores de ordenador, ordenadores portátiles, tabletas, teléfonos móviles y consolas de juegos; ii) fuentes luminosas y los mecanismos de control independientes de productos de batería, como linternas, teléfonos móviles con linterna integrada, juguetes con fuentes luminosas y lámparas de mesa que solo funcionan con baterías; iii) fuentes luminosas para espectroscopia y aplicaciones fotométricas; iv) fuentes luminosas y los mecanismos de control independientes de bicicletas y otros vehículos sin motor; y v) determinadas fuentes luminosas enumeradas en el anexo III que solamente deben cumplir los requisitos de información establecidos en el Reglamento.

Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación recogidos en el anexo IV cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

El anexo V recoge valores de referencia indicativos para los aspectos medioambientales que se consideran significativos y cuantificables, con base en la mejor tecnología disponible.



La Comisión debe revisar el Reglamento a la luz de los avances tecnológicos y evaluar una serie de aspectos 5 años después de su entrada en vigor.

De conformidad con el Reglamento Delegado (UE) 2019/2015, los proveedores de fuentes luminosas deben velar por que:

- Cada fuente luminosa posea una etiqueta impresa en el embalaje, que se ajuste al formato establecido en el anexo III.
- Los parámetros de la ficha de información del producto y el contenido de la documentación técnica, conforme a lo establecido en los anexos V y VI, se consignen en la base de datos de los productos.
- A solicitud de los distribuidores, la ficha de información del producto esté disponible en formato impreso.
- La publicidad visual y todo material técnico de promoción, incluido el material técnico de promoción en internet, incluyan la clase de eficiencia energética del modelo de la fuente luminosa y el intervalo de clases de eficiencia energética disponibles en la etiqueta, de conformidad con los anexos VII y VIII.
- Se facilite a los distribuidores una etiqueta electrónica con el formato y la información que figuran en el anexo III, para cada modelo de fuente luminosa.
- Se facilite a los distribuidores una ficha de información del producto electrónica, según figuran en el anexo V, para cada modelo de fuente luminosa.

- A solicitud de los distribuidores, se faciliten etiquetas de producto reescaladas<sup>201</sup> impresas, autoadhesivas y del mismo tamaño de las etiquetas existentes.

Los distribuidores deben garantizar que:

- En el punto de venta, cada fuente luminosa lleve claramente visible la etiqueta de clase energética facilitada por los proveedores.
- En los casos de venta a distancia, se proporcionen la etiqueta y la ficha de información del producto.
- Todo material técnico de promoción o de publicidad visual, incluido el de internet, incluya la clase de eficiencia energética del modelo de la fuente luminosa y el intervalo de clases de eficiencia energética disponibles en la etiqueta.
- Las etiquetas existentes en las fuentes luminosas en los puntos de venta estén cubiertas por etiquetas reescaladas en el plazo de 18 meses desde la entrada en vigor del Reglamento.

Cuando un prestador de servicios de alojamiento de datos en internet permita la venta de fuentes luminosas a través de su sitio internet, debe hacer posible que se muestren la etiqueta electrónica y la ficha de información del producto electrónica proporcionadas por el distribuidor y debe informar al distribuidor de la obligación de exponerlas.

---

<sup>201</sup> Etiquetas de producto reescaladas son etiquetas de eficiencia energética reclasificadas, de modo que la escala previa de clasificación de los productos de A+++ a G sea sustituida por la escala desde A a G para reflejar el alto número de clases de eficiencia energética adicionales.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE (DO L 198 de 28.7.2017, pp. 1-23).
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35) y sus modificaciones sucesivas.

**DISEÑO ECOLÓGICO Y ETIQUETADO ENERGÉTICO: APARATOS DE REFRIGERACIÓN CON FUNCIÓN DE VENTA DIRECTA**

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. La Comisión debe definir dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

El Reglamento (UE) 2017/1369 establece un marco para la definición de requisitos de etiquetado energético para los productos relacionados con la energía con el fin de permitir que los consumidores elijan productos más eficientes para reducir su consumo energético.

**Reglamento (UE) 2019/2024 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico para los aparatos de refrigeración con función de venta directa con arreglo a la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 313-334).**

**Reglamento Delegado (UE) 2019/2018 de la Comisión, de 11 de marzo de 2019, por el que se complementa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de los aparatos de refrigeración con función de venta directa (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 155-186).**

El Reglamento (UE) 2019/2024 establece requisitos de diseño ecológico para la introducción en el mercado o la puesta en servicio de aparatos de refrigeración con función de venta directa que operan conectados a la red eléctrica, incluidos los aparatos que se venden para la refrigeración de productos no alimenticios.

El Reglamento Delegado (UE) 2019/2018 establece las normas de etiquetado y suministro de información adicional sobre el producto para dichos aparatos de refrigeración.

Los aparatos contemplados por los Reglamentos como los aparatos de refrigeración con función de venta directa incluyen armarios para supermercados, tipo frigoríficos o congeladores, máquinas expendedoras refrigeradas, refrigeradores de bebidas, congeladores de helados y vitrinas de helados.

Los Reglamentos no se aplican a: i) los aparatos que no funcionen con electricidad; ii) los aparatos que no usen refrigeración por compresión de vapor; iii) los componentes remotos, como unidades de condensación o compresores; iv) los aparatos que efectúen la transformación de alimentos; v) los aparatos específicos para medicamentos o muestras científicas; vi) los aparatos para productos alimenticios vivos, como peces y moluscos vivos; vii) los armarios-bufés de ensaladas (por ejemplo, unidades de servicio de fácil acceso para

ingredientes para pizza o ensaladas); viii) los mostradores horizontales diseñados para temperaturas de funcionamiento de refrigeración; ix) los aparatos que no tengan un sistema integrado para la producción de frío y funcionan insuflando aire refrigerado; x) las máquinas expendedoras diseñadas para temperaturas de funcionamiento de congelación; xi) los mostradores de pescadería con hielo en escamas; xi) los armarios de conservación refrigerados profesionales, los armarios abatidores de temperatura, las unidades de condensación y los enfriadores de procesos; y xii) los aparatos para la conservación de vinos y los minibares.

El Reglamento de la Comisión:

- Establece, en el anexo II, las fechas de entrada en vigor (inicialmente el 1 de marzo de 2021, con la introducción de nuevos requisitos a partir del 1 de septiembre de 2023) de los requisitos de diseño ecológico. Estos requisitos abarcan: i) la eficiencia energética; ii) la eficiencia en el uso de los recursos; y iii) la información para los instaladores y los usuarios finales.
- Establece el procedimiento de evaluación de la conformidad y, en el anexo III, los métodos de medición y los cálculos que deben seguirse.

Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación recogidos en el anexo IV cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

Los fabricantes, los importadores o sus representantes autorizados no deben introducir en el mercado productos que puedan detectar cuándo están siendo objeto de ensayo y cambiar su comportamiento en consecuencia.

En el anexo V se establecen unos valores de referencia indicativos basados en los productos y las tecnologías más eficaces disponibles para los aparatos de refrigeración desde el punto de vista de su índice de eficiencia energética.

La Comisión debe revisar el Reglamento a la luz de los avances tecnológicos y evaluar una serie de aspectos 4 años después de su entrada en vigor.

Este Reglamento supone la aplicación, por primera vez, de requisitos de diseño ecológico para los aparatos de refrigeración con función de venta directa.

El Reglamento Delegado complementa al Reglamento (UE) 2017/1369 en lo relativo al etiquetado energético y establece normas para los proveedores, los distribuidores y las plataformas de alojamiento de datos en internet.

Los proveedores deben garantizar que:

- Cada aparato de refrigeración con función de venta directa cuente con una etiqueta impresa en el formato establecido en el anexo III.
- La información de la ficha de información del producto, prevista en el anexo V, y el contenido de la documentación técnica (anexo VI) se consignen en la base de datos de los productos.
- La publicidad visual de un modelo particular contenga la clase de eficiencia energética y el intervalo de clases disponibles, de acuerdo con los anexos VII y VIII.
- El material técnico de promoción, incluido el de internet, relativo a un modelo particular que describa sus parámetros específicos indique la clase de eficiencia energética del aparato y el intervalo de clases disponibles de conformidad con el anexo VII.

- Para cada aparato de refrigeración con función de venta directa los distribuidores reciban una etiqueta electrónica con el formato recogido en el anexo III y una ficha electrónica de información del producto según lo previsto en el anexo V.

Los distribuidores deben garantizar que:

- Cada aparato de refrigeración con función de venta directa que se ponga a la venta, también en las ferias comerciales, vaya provisto de una etiqueta, facilitada por los proveedores, que sea claramente visible, de conformidad con el anexo III.
- En los casos de venta a distancia, la etiqueta y la ficha de información del producto cumplan con los anexos VII y VIII.
- La publicidad visual, incluida la de internet, de un modelo particular contenga la clase de eficiencia energética y el intervalo de clases disponibles de acuerdo con el anexo VII.
- El material técnico de promoción, incluido el de internet, relativo a un modelo particular que describa sus parámetros específicos indique la clase de eficiencia energética del aparato y el intervalo de clases disponibles de conformidad con los anexos VII y VIII.

Las plataformas de alojamiento de datos en internet deben garantizar que:

- La etiqueta electrónica y la ficha electrónica de información del producto facilitadas por el distribuidor se presenten claramente, de conformidad con el anexo VIII, en todos los aparatos de refrigeración con función de venta directa que se vendan directamente a través del sitio web.

Las autoridades nacionales deben aplicar el procedimiento de verificación recogido en el anexo IX cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

La clase de eficiencia energética se basa en un índice establecido en el anexo II.

La Comisión Europea debe revisar el Reglamento a la luz de los avances tecnológicos 4 años después de su entrada en vigor.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE (DO L 198 de 28.7.2017, pp. 1-23).
- Reglamento (UE) nº 517/2014 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de abril de 2014, sobre los gases fluorados de efecto invernadero y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 842/2006 Texto pertinente a efectos del EEE (DO L 150 de 20.5.2014, p. 195-230).
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (DO L 197 de 24.7.2012, pp. 38-71) y sus modificaciones.
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).



## **DISEÑO ECOLÓGICO Y ETIQUETADO ENERGÉTICO: LAVAVAJILLAS DOMÉSTICOS**

Los lavavajillas domésticos están sujetos a requisitos de diseño ecológico normas y etiquetado energético. El diseño ecológico y el etiquetado energético van de la mano a la hora de proporcionar a los consumidores europeos una información valiosa que les permita elegir con criterio y, en última instancia, aumentan el mercado de productos más eficientes desde el punto de vista energético.

La Directiva 2009/125/CE establece un marco para la definición de requisitos de diseño ecológico para los productos relacionados con la energía. Encarga a la Comisión que defina dichos requisitos para los productos que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea y tengan un impacto medioambiental importante.

El Reglamento (UE) 2017/1369 establece un marco para la definición de requisitos de etiquetado energético para los productos relacionados con la energía con el fin de permitir que los consumidores elijan productos más eficientes para reducir su consumo energético.

La Directiva RAEE establece requisitos acerca de la reutilización, el desarmado y la valorización de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) para reducir el impacto medioambiental negativo de la generación y la gestión de RAEE, así como del uso de los recursos.

**Reglamento (UE) 2019/2022 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen los requisitos de diseño ecológico aplicables a los lavavajillas domésticos con arreglo a la Directiva 2009/125/CE del**

**Parlamento Europeo y del Consejo, se modifica el Reglamento (CE) nº 1275/2008 de la Comisión y se deroga el Reglamento (UE) nº 1016/2010 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 267-284) y sus modificaciones.**

**Reglamento delegado (UE) 2019/2017 de la Comisión, de 11 de marzo de 2019, por el que se completa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de los lavavajillas domésticos y se deroga el Reglamento Delegado (UE) nº 1059/2010 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 134-154).**

En el Reglamento (UE) 2019/2022:

- Se establecen requisitos de diseño ecológico en el anexo II, que abarcan lo siguiente: i) requisitos del programa, incluidas las normas sobre la incorporación de un programa eco. El programa eco debe establecerse como el programa por defecto cuando sea posible o estar disponible para su selección directa sin necesidad de ninguna otra selección, como la de una temperatura o una carga específicas. En las denominaciones de los programas del lavavajillas doméstico no se emplearán los términos «normal», «diario», «habitual» o «estándar», ya sea de forma independiente o en combinación con otra información; ii) eficiencia energética; iii) requisitos funcionales, como la eficiencia del lavado y del secado; iv) modos de bajo consumo (modo desactivado y modo preparado); v) eficiencia en el uso de los recursos, incluida la disponibilidad de piezas de recambio, el acceso a la información sobre reparación y mantenimiento y la valorización y reciclado de materiales; e vi) información para instaladores y usuarios finales.
- Establece el procedimiento de evaluación de la conformidad en el que las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación

recogidos en el anexo IV cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado, y los métodos de medición y cálculos definidos en el anexo III.

En el anexo V se establecen valores de referencia basados en la mejor tecnología disponible en el mercado en cuanto a eficiencia energética, consumo de agua y energía, ruido acústico aéreo emitido y duración del programa eco.

El Reglamento delegado (UE) 2019/2017 completa el Reglamento (UE) 2017/1369 sobre el etiquetado energético y establece lo siguiente:

- La clase de eficiencia energética y la clase de ruido acústico aéreo emitido, que se basan en un índice recogido en el anexo II.

Los proveedores deben garantizar que: i) cada lavavajillas doméstico incluye una etiqueta impresa en el formato establecido en el anexo III; ii) los parámetros de la ficha de información del producto (anexo V) y el contenido de la documentación técnica (anexo VI) se introducen en la base de datos de los productos; y iii) los distribuidores reciben para cada modelo de lavavajillas doméstico una etiqueta electrónica en el formato recogido en el anexo III y una ficha electrónica de información del producto según lo previsto en el anexo V.

Los distribuidores deben garantizar los siguientes puntos: i) cada lavavajillas doméstico lleva la etiqueta facilitada por los proveedores de conformidad con el anexo III; y ii) en caso de venta a distancia, la etiqueta y la ficha de información del producto se presentan de conformidad con los anexos VII y VIII.

Las plataformas de alojamiento en internet deben asegurar que, la etiqueta electrónica y la ficha electrónica de información del producto facilitadas por el distribuidor se presentan claramente, de conformidad con el anexo VIII, en todos los lavavajillas domésticos que se vendan directamente a través del sitio web.

Las autoridades nacionales deben aplicar el procedimiento de verificación recogido en el anexo IX cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

La Comisión Europea debe revisar estos Reglamentos a la luz del progreso tecnológico seis años después de la entrada en vigor, en particular la posibilidad de abordar los objetivos de la economía circular.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE (DO L 198 de 28.7.2017, pp. 1-23).
- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).

**REQUISITOS DE DISEÑO ECOLÓGICO Y ETIQUETADO ENERGÉTICO:**

**LAVADORAS DOMÉSTICAS Y LAVADORAS-SECADORAS DOMÉSTICAS**

Las lavadoras y lavadoras-secadoras domésticas están sujetas a un nuevo diseño ecológico revisado: Requisitos y normas de etiquetado energético. El diseño ecológico y el etiquetado energético van juntos, proporcionando a los consumidores europeos una valiosa información que les permita elegir con conocimiento de causa y, con el tiempo, aumentar el mercado de productos más eficientes desde el punto de vista energético.

Directiva 2009/125/CE por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía. Encarga a la Comisión que defina dichos requisitos para los productos

que se vendan y comercialicen ampliamente en la Unión Europea (UE) y tengan un impacto medioambiental importante.

El Reglamento (UE) 2017/1369 establece un marco para la definición de requisitos de etiquetado energético para los productos relacionados con la energía con el fin de permitir que los consumidores elijan productos más eficientes para reducir su consumo energético.

La Directiva RAEE establece requisitos sobre, por ejemplo, la recuperación y el reciclado de los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) para reducir los efectos ambientales negativos derivados de la generación y gestión de los RAEE y de la utilización de recursos.

**Reglamento (UE) 2019/2023 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico aplicables a las lavadoras domésticas y a las lavadoras-secadoras domésticas con arreglo a la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 1275/2008 de la Comisión y se deroga el Reglamento (UE) n.º 1015/2010 de la Comisión (DO L 315, 5.12.2019, pp. 285-312).**

**Reglamento Delegado (UE) 2019/2014 de la Comisión, de 11 de marzo de 2019, por el que se complementa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las lavadoras domésticas y las lavadoras-secadoras domésticas y por el que se derogan el Reglamento Delegado (UE) n.º 1061/2010 y la Directiva 96/60/CE de la Comisión (DO L 315, 5.12.2019, pp. 29-67).**

El reglamento (UE) 2019/2023 no se aplica a las lavadoras domésticas con una capacidad inferior a 2 kilogramos (kg) y a las lavadoras-secadoras domésticas con una capacidad inferior o igual a 2 kg.

Establece en el anexo II los requisitos de diseño ecológico, que abarcan:

- Los requisitos de los programas, incluidas las normas para ofrecer un programa “eco 40-60” y para las lavadoras-secadoras un ciclo de lavado y secado. El programa “eco 40-60” estará configurado como programa por defecto cuando sea posible, o bien se pondrá a disposición para su selección directa sin necesidad de seleccionar otros parámetros como una temperatura o carga específica. Las indicaciones «normal», «diario», «habitual» y «estándar» no se emplearán en los nombres de los programas, ni solos ni en combinación con otra información.
- Ciclo de lavado y secado.
- Eficiencia energética.
- Requisitos funcionales como eficiencia del lavado y eficacia del aclarado.
- Requisitos relativos a la duración.
- Consumo de agua.
- Modos de bajo consumo, es decir, modo desactivado y modo preparado.
- Eficiencia en el uso de los recursos, incluida la disponibilidad de piezas de repuesto, el acceso a la información sobre reparación y mantenimiento, la recuperación de materiales y el reciclado.
- Información para instaladores y usuarios finales.

Establece el procedimiento de evaluación de la conformidad:

- Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación establecidos en el anexo IV al realizar los controles de vigilancia del mercado, así como los métodos de medición y los cálculos que deben seguirse incluidos en el anexo III.

En el anexo V se establecen parámetros de referencia indicativos basados en los productos y tecnologías más eficaces disponibles para esos aparatos en lo que respecta al consumo de agua y energía, la eficiencia de lavado y el ruido acústico aéreo emitido.

La Comisión Europea revisará el presente Reglamento a la luz del progreso tecnológico y evaluará una serie de aspectos, como los requisitos para reducir los microplásticos, seis años después de su entrada en vigor.

Reglamento Delegado (UE) 2019/2014 establece la clase de eficiencia energética, la clase de eficiencia de secado por centrifugado y el ruido acústico aéreo emitido en función de un índice del Anexo II.

Este acto delegado establece obligaciones para los fabricantes, entre ellas la de garantizar que:

- Cada lavadora y secadora doméstica se suministre con una etiqueta impresa en el formato establecido en el anexo III y, en el caso de una lavadora doméstica de varios tambores o una lavadora-secadora doméstica de varios tambores, de conformidad con el anexo X.
- Los parámetros de la ficha de información del producto (Anexo V) y de la documentación técnica (Anexo VI) se introducen en la base de datos de los productos.

- Se pone a disposición de los comerciantes una etiqueta electrónica con el formato y la información que figura en el anexo III para cada modelo de lavadora doméstica y de lavadora-secadora doméstica.

Establece las obligaciones de los distribuidores, incluso para asegurar que:

- Cada aparato en venta lleva una etiqueta claramente visible proporcionada por los fabricantes de acuerdo con el Anexo III.
- En caso de venta a distancia, la etiqueta y la hoja de información del producto se ajustarán a lo especificado en los anexos VII y VI.

Las plataformas de alojamiento de Internet deben garantizar que la etiqueta electrónica y la hoja de información electrónica del producto proporcionadas por el distribuidor estén claramente expuestas, de acuerdo con el Anexo VIII, en todos los aparatos de este tipo que se vendan directamente a través del portal de Internet.

Las autoridades nacionales deben aplicar el procedimiento de verificación recogido en el anexo IX cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

La Comisión deberá revisar estos Reglamentos a la luz de los avances tecnológicos seis años después de su entrada en vigor, incluyendo la posibilidad de abordar los objetivos de la economía circular.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE (DO L 198 de 28.7.2017, pp. 1-23).



- Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se instaure un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285, 31.10.2009, pp. 10-35) y sus modificaciones.

### **DISEÑO ECOLÓGICO Y ETIQUETADO: PANTALLAS ELECTRÓNICAS**

**Reglamento (UE) 2019/2021 de la Comisión, de 1 de octubre de 2019, por el que se establecen requisitos de diseño ecológico aplicables a las pantallas electrónicas con arreglo a la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, se modifica el Reglamento (CE) nº 1275/2008 de la Comisión y se deroga el Reglamento (CE) nº 642/2009 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 241-266).**

**Reglamento delegado (UE) 2019/2013 de la Comisión, de 11 de marzo de 2019, por el que se completa el Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo en lo relativo al etiquetado energético de las pantallas electrónicas y se deroga el Reglamento Delegado (UE) nº 1062/2010 de la Comisión (DO L 315 de 5.12.2019, pp. 1-28) y sus modificaciones.**

El Reglamento (UE) 2019/2021 establece requisitos de diseño ecológico para la venta o puesta en servicio de pantallas electrónicas, incluidas las televisiones, los monitores de ordenador y las pantallas digitales de señalización. El Reglamento deroga el Reglamento (CE) 642/2009, que solo se aplicaba a las televisiones y los monitores de televisión.

El Reglamento Delegado (UE) 2019/2013 establece las normas en materia de etiquetado y suministro de información adicional sobre este tipo de productos. El

Reglamento deroga el Reglamento Delegado (UE) nº 1062/2010, que solo se aplicaba a las televisiones y los monitores de televisión.

Los Reglamentos no se aplican a determinados productos de visualización como los proyectores, las pantallas para uso médico, las pequeñas pantallas electrónicas o los sistemas de videoconferencia “todo en uno”. Otros dispositivos, como las pantallas para producciones audiovisuales, de uso profesional y para aplicaciones de seguridad, las pizarras digitales interactivas o los marcos digitales para fotografías, deben cumplir solo algunos de los requisitos, como los relativos a la eficiencia de los materiales, facilidad de reparación y reciclaje.

El Reglamento (UE) 2019/2021 establece los requisitos de diseño ecológico, de acuerdo con la Directiva 2009/125/CE y en el anexo II, la fecha de entrada en vigor (1 de marzo de 2021) de los requisitos de diseño ecológico. Estos abarcan: i) la eficiencia energética; ii) los requisitos de los modos preparado y desactivado; iii) la eficiencia de los materiales, lo que incluye el diseño para el desarmado, un mejor reciclado y el aumento de la valorización de los residuos; iv) información para los reparadores y los proveedores de piezas de recambio; v) la disponibilidad de piezas de recambio; y vi) el procedimiento de evaluación de la conformidad y, en el anexo III, los métodos de medición y los cálculos que deben seguirse.

Las autoridades nacionales deben aplicar los procedimientos de verificación recogidos en el anexo IV cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

El anexo V establece índices de referencia basados en la mejor tecnología disponible en el mercado para los aspectos ambientales considerados significativos y que son cuantificables.

La Comisión debe revisar el Reglamento la luz de los avances tecnológicos y evaluar una serie de aspectos 3 años después de su entrada en vigor.

El Reglamento Delegado (UE) 2019/2013 complementa al Reglamento (UE) 2017/1369 en lo relativo al etiquetado energético y establece normas para los proveedores, los distribuidores y las plataformas de alojamiento de datos en internet.

Los proveedores deberán garantizar que:

- Toda pantalla electrónica se suministre con una etiqueta impresa que se ajuste al formato y contenga la información que se prescribe en el anexo III.
- La información de la ficha de información del producto, tal como se establece en el anexo V, y el contenido de la documentación técnica, tal como se establece en el anexo VI, se introduzcan en la base de datos del producto.
- Si así lo solicita específicamente el distribuidor, la ficha de información del producto esté disponible en forma impresa.
- Toda publicidad visual de un modelo específico de pantalla electrónica, incluso a través de internet, incluya la clase de eficiencia energética y la gama de clases de eficiencia disponible en la etiqueta.
- Se facilite a los distribuidores una etiqueta electrónica con el formato y la información establecidos en el anexo III para cada modelo de pantalla electrónica.

- Se facilite a los distribuidores, para cada modelo de pantalla electrónica, una ficha electrónica de información del producto como la que figura en el anexo V.
- Se imprima o se adhiera la etiqueta en el embalaje.

Los distribuidores garantizarán los siguientes puntos:

- En el punto de venta, incluidas las ferias comerciales, cada pantalla electrónica deberá exhibir la etiqueta facilitada por los proveedores, sea en su parte frontal, colgada de ella o colocada de manera claramente visible y asociada inequívocamente al modelo específico.
- Si la pantalla electrónica se mantiene en modo encendido cuando esté visible para los clientes de cara a su venta, la etiqueta electrónica exhibida en la pantalla podrá sustituir a la etiqueta impresa.
- Cuando un modelo de pantalla electrónica se exponga en un punto de venta sin que se muestre ninguna unidad fuera de su embalaje, deberá estar visible la etiqueta impresa o adherida en el embalaje.
- En caso de venta telefónica o a distancia, la etiqueta y la ficha de información del producto se suministrarán de conformidad con los anexos VII y VIII.
- Toda publicidad visual de un modelo específico de pantalla electrónica, incluso a través de internet, deberá contener la clase de eficiencia energética y la gama de clases de eficiencia disponible en la etiqueta, de conformidad con el anexo VII.

Las plataformas de alojamiento de datos en internet garantizarán que:

- La etiqueta electrónica y la ficha electrónica de información del producto facilitadas por el distribuidor se exhiban de conformidad con lo dispuesto en el anexo VIII.
- Informarán al distribuidor de la obligación de exhibirlas.

Las autoridades nacionales deben aplicar el procedimiento de verificación recogido en el anexo IX cuando efectúen los controles de vigilancia del mercado.

La clase de eficiencia energética se basa en un índice establecido en el anexo II.

La Comisión Europea debe revisar el Reglamento a la luz de los avances tecnológicos 3 años después de su entrada en vigor.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/1369 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2017, por el que se establece un marco para el etiquetado energético y se deroga la Directiva 2010/30/UE (DO L 198 de 28.7.2017, pp. 1-23).
- Comunicación de la Comisión: Plan de trabajo sobre diseño ecológico 2016-2019 [COM (2016) 773 final de 30.11.2016].
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones — Cerrar el círculo: un plan de acción de la UE para la economía circular [COM (2015) 614 final de 2.12.2015].
- Reglamento (UE) nº 617/2013 de la Comisión, de 26 de junio de 2013, por el que se desarrolla la Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del

- Consejo en lo relativo a los requisitos de diseño ecológico aplicables a los ordenadores y servidores informáticos (DO L 175 de 27.6.2013, pp. 13-33).
- Directiva 2012/19/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 4 de julio de 2012, sobre residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (RAEE) (DO L 197 de 24.7.2012, pp. 38-71).
  - Reglamento Delegado (UE) 1062/2010 de la Comisión, de 28 de septiembre de 2010, por el que se desarrolla la Directiva 2010/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo respecto del etiquetado energético de las televisiones (DO L 314 de 30.11.2010, pp. 64-80).
  - Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).
  - Reglamento (CE) nº 1275/2008 de la Comisión, de 17 de diciembre de 2008, por el que se desarrolla la Directiva 2005/32/CE del Parlamento Europeo y del Consejo en lo concerniente a los requisitos de diseño ecológico aplicables al consumo de energía eléctrica en los modos preparado y desactivado de los equipos eléctricos y electrónicos domésticos y de oficina (DO L 339 de 18.12.2008, pp. 45-52).

## **2.2. ENERGÍA RENOVABLE**

### **MECANISMO DE FINANCIACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA UE**

La legislación tiene por objeto ayudar a los países de la UE a cooperar más estrechamente para cumplir sus objetivos individuales y colectivos en materia de energía renovable.

**Reglamento de Ejecución (UE) 2020/1294 de la Comisión, de 15 de septiembre de 2020, relativo al mecanismo de financiación de energías renovables de la Unión (DO L 303 de 17.9.2020, pp. 1-17).**

Este Reglamento de Ejecución establece las normas de funcionamiento del nuevo mecanismo de financiación de energías renovables de la UE, de conformidad con el Reglamento (UE) 2018/1999 sobre la gobernanza de la unión de la energía. El mecanismo respalda nuevos proyectos de energía renovable en toda la UE y contribuye a la implementación de energías renovables de conformidad con la Directiva (UE) 2018/2001 sobre energía renovable.

La financiación procede de tres fuentes:

- Los gobiernos de los países de la Unión pueden realizar pagos voluntarios.
- Otros programas y fondos de la Unión pueden realizar contribuciones, especialmente para reducir el coste de capital para los proyectos de energías renovables o para apoyar la cooperación regional dentro del territorio de la UE o la cooperación con terceros países.
- El sector privado puede ofrecer financiación, con la opción de indicar el proyecto, el tipo de tecnología o el uso final que esté dispuesta a respaldar.

Toda la financiación debe respetar las normas de financiación de la UE establecidas en el Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046.

La Comisión Europea pregunta todos los años a los gobiernos de la UE si desean realizar un pago voluntario (país contribuyente) o permitir que se instalen energías renovables en su territorio (país de acogida).

Los países de acogida deben proporcionar determinada información, como:

- La capacidad total máxima o la energía renovable disponible para proyectos financiados con cargo al mecanismo.
- Las tecnologías preferidas o los sectores de uso final.
- Cualquier restricción geográfica o del emplazamiento.

Los países contribuyentes deben proporcionar determinada información, como:

- Los volúmenes de energía renovable que tengan intención de financiar y de los que pretendan beneficiarse en lo que a asignación estadística se refiere.
- La contribución financiera máxima prevista.
- La preferencia por procedimientos de concesión de subvenciones que sean tecnológicamente neutros, que abarquen diversas tecnologías, que sean específicos respecto a tecnologías concretas o específicos respecto a proyectos concretos, o bien tengan un uso final determinado.

La Comisión:

- Diseña, sobre la base de las ofertas y solicitudes recibidas, licitaciones, denominadas convocatorias de propuestas en las que se especifican, entre otros: i) los objetivos de la propuesta; ii) la modalidad de las subvenciones, como ayudas a las inversiones o de funcionamiento; iii) el precio máximo de las propuestas; iv) las tecnologías subvencionables.
- Comunica a los países de la UE su intención de organizar una convocatoria de propuestas.
- Pone en marcha la convocatoria o convocatorias de propuestas, incluidos los criterios de admisibilidad y selección, tras recibir compromisos vinculantes de los países de acogida, en virtud de los cuales permitirán que las instalaciones



en su suelo reciban el apoyo financiero, y de los países contribuyentes, en virtud de los cuales proporcionarán el dinero que ofrecieron.

Si el promotor de un proyecto no cumple con sus obligaciones, se aplican las normas de suspensión, terminación y reducción establecidas en el Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046.

El sistema de concesión de subvenciones:

- Incluye los principios para garantizar un proceso competitivo, reducir el riesgo financiero y limitar los costes de transacción.
- Establece el ámbito de aplicación para los diferentes procedimientos en función del tipo de tecnología o proyecto correspondiente.
- Asigna subvenciones con el fin de: i) aumentar la capacidad a efectos de la producción de energías renovables (ayudas a las inversiones); e ii) incentivar la explotación de instalaciones de energías renovables mediante el pago de primas pagadas como complemento a los ingresos de mercado (ayudas de funcionamiento).

Los períodos de ejecución reflejan períodos de entrega realistas de los proyectos respecto a cada tecnología y son comunes en toda la UE, a menos que la Comisión determine lo contrario.

Los proyectos financiados a través del mecanismo de financiación de energías renovables podrán recibir financiación de otros programas de la UE o nacionales, públicos o privados, siempre y cuando dichos mecanismos públicos nacionales cumplan la legislación en materia de ayudas estatales y que los mismos costes no sean financiados dos veces con cargo al presupuesto de la UE.

Los beneficios estadísticos de la energía renovable de las instalaciones financiadas por el mecanismo se reparten, en general, en una proporción de 80:20 entre los países contribuyentes y los países de acogida; no obstante, la Comisión puede modificar este reparto, durante el período de ejecución o de apoyo. Posteriormente, los beneficios estadísticos corresponderán al país de acogida en su totalidad. Estos beneficios estadísticos cuentan para la cuota nacional de energía renovable, independientemente de dónde y cómo se consuma la energía renovable real de las instalaciones.

La Comisión:

- Calcula anualmente, sobre la base de los datos de producción de energía disponibles de los países participantes de la UE y de los terceros países, los beneficios estadísticos reales que reciben los países participantes.
- Informa a más tardar el 31 de octubre de cada año a: i) el Comité de la Unión de la Energía, y hace público cómo el mecanismo de financiación contribuye al cumplimiento de los objetivos vinculantes de la UE en materia de energías renovables para 2030 y los objetivos del Pacto Verde Europeo (véase la síntesis); y ii) el Comité de la Unión de la Energía y al Parlamento Europeo sobre la financiación del mecanismo, incluidas las sumas recibidas, asignadas y remanentes.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité De Las Regiones: El Pacto Verde Europeo [COM (2019) 640 final, de 11.12.2019].

- Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 663/2009 y (CE) nº 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, y se deroga el Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 328, de 21.12.2018, pp. 1-77).
- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida) (DO L 328, de 21.12.2018, pp. 82-209) y sus modificaciones.
- Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de julio de 2018, sobre las normas financieras aplicables al presupuesto general de la Unión, por el que se modifican los Reglamentos (UE) nº 1296/2013, (UE) nº 1301/2013, (UE) nº 1303/2013, (UE) nº 1304/2013, (UE) nº 1309/2013, (UE) nº 1316/2013, (UE) nº 223/2014 y (UE) nº 283/2014 y la Decisión nº 541/2014/UE y por el que se deroga el Reglamento (UE, Euratom) nº 966/2012 (DO L 193 de 30.7.2018, pp. 1-222).

### **UNA BIOECONOMÍA PARA EUROPA**

Con un volumen de negocios anual de unos dos billones de euros y más de veintidós millones de puestos de trabajo, la bioeconomía ya es uno de los elementos más importantes de la economía de la UE.

Se estima que la financiación directa de la investigación asociada a la Estrategia de Bioeconomía dentro de Horizonte 2020 podría generar alrededor de 130 000 puestos de trabajo y 45 000 millones de euros en el 2025.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: La innovación al servicio del crecimiento sostenible: una bioeconomía para Europa [COM (2012) 60 final de 13.2.2012].**

Esta Comunicación sobre bioeconomía<sup>202</sup> traza una estrategia de amplio espectro para llevar a la Unión Europea hacia un uso mayor y más sostenible de los recursos renovables ante los desafíos medioambientales, energéticos y de seguridad alimentaria, sin dejar de estimular el crecimiento económico y la creación de puestos de trabajo.

El objetivo de la estrategia es conseguir una economía más innovadora y con bajas emisiones de carbono que concilie estos desafíos diversos e interconectados y que aproveche el uso sostenible de los recursos biológicos renovables en la industria. De esta forma, se garantizarían la biodiversidad y la protección del medio ambiente al mismo tiempo que se estimula el crecimiento económico y se crean puestos de trabajo.

Puesto que está previsto que la población mundial aumente en más de un 30 % en los próximos 40 años, la superación de estos retos complejos exige investigación e innovación a fin de lograr un cambio rápido, concertado y sostenido.

---

<sup>202</sup> Bioeconomía es una economía que utiliza recursos biológicos obtenidos de la tierra y el mar, además de residuos como restos de alimentos, como insumos para la industria y la producción de energía. También incluye el uso de procesos de base biológica en las industrias ecológicas.

Para lograrlo, la estrategia presenta un plan de acción sobre bioeconomía, que se centra en tres aspectos principales:

- Garantizar la inversión en investigación, innovación y capacitación para la bioeconomía, mediante financiación europea, financiación nacional y asociaciones con el sector privado. El apoyo al desarrollo de planes de estudios y programas de formación profesional sobre bioeconomía es un elemento importante en este sentido.
- Mejor coordinación y el compromiso con los responsables políticos y las partes interesadas en cuestiones relacionadas con la bioeconomía, mediante la creación de Paneles de Bioeconomía para el asesoramiento a todos los niveles. Un Observatorio de la Bioeconomía evaluará los progresos, mientras que la estrategia también propone conferencias periódicas de partes interesadas. Deberán fomentarse la cooperación internacional y la puesta en común de conocimientos sobre seguridad alimentaria, cambio climático y la cuestión del suministro sostenible de biomasa.
- La apertura de mercados y la mejora de la competitividad en el sector de la bioeconomía, mediante el estímulo de la producción sostenible y el fomento de la conversión de residuos en nuevos productos. La estrategia también destaca la importancia de las normas y de formas coherentes de evaluar la sostenibilidad, así como de facilitar la contratación pública ecológica.

## **FOMENTO DEL USO DE ENERGÍA PROCEDENTE DE FUENTES RENOVABLES**

Con esta Directiva, se aplica uno de los objetivos 20-20-20 del Paquete de medidas sobre clima y energía hasta 2020. Los otros dos objetivos son: i) reducir

hasta 2020 las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20 % respecto a los niveles de 1990, y ii) mejorar la eficiencia energética en un 20 %.

**Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 16-62) y sus modificaciones.**

Esta Directiva, que enmienda y deroga las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE anteriores, establece un conjunto común de normas para el uso de energías renovables en la UE con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover un transporte más limpio.

Establece objetivos nacionales vinculantes para todos los países de la UE con el propósito general de lograr que las fuentes de energía renovable representen para 2020 el 20 % de la energía de la UE y el 10 % de la energía específicamente en el sector del transporte.

Cada país de la UE debe elaborar un plan de acción nacional para 2020 en el que se exponga cómo alcanzar el objetivo nacional de energías renovables en el consumo final bruto de energía, así como el objetivo del 10 % para las fuentes de energía renovable en el transporte.

Los países de la UE pueden intercambiar energía procedente de fuentes renovables<sup>203</sup> para facilitar que se cumplan los objetivos de forma eficaz con respecto a los costes. En el marco de estos planes de acción, los países de la UE también pueden recibir energía renovable de países de fuera de la UE,

---

<sup>203</sup> Energía procedente de fuentes renovables es aquella energía procedente de fuentes no fósiles, como la energía eólica, solar, geotérmica o hidráulica, la biomasa y gases de plantas de depuración, como el metano.

siempre y cuando la energía se consuma en la UE y haya sido producida mediante instalaciones modernas y eficientes.

Por otra parte, todos los países de la UE deben ser capaces de garantizar el origen de la electricidad, la calefacción y la refrigeración producida a partir de fuentes de energía renovable.

Los países de la UE deben construir las infraestructuras necesarias para el uso de fuentes de energía renovable en el sector del transporte.

La Directiva (UE) 2015/1513 modifica las Directivas 2009/28/CE y 98/70/CE, la ley de la UE relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo. Entre otras cosas, tiene por objeto iniciar la transición de los biocarburantes convencionales<sup>204</sup> (de primera generación) hacia los biocarburantes avanzados<sup>205</sup> (de segunda generación) que emiten muchos menos GEI. Introduce un límite del 7 % sobre los biocarburantes convencionales que debe tenerse en cuenta para los objetivos de la Directiva sobre fuentes energía renovables para el consumo final de energía en transporte hasta 2020.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 98/70/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de octubre de 1998, relativa a la calidad de la gasolina y el gasóleo y por la que se modifica la Directiva 93/12/CEE del Consejo (DO L 350 de 28.12.1998, pp. 58-68).

---

<sup>204</sup> Biocarburantes convencionales son aquellos que se elaboran a partir de cultivos para alimentos, como el azúcar, el almidón y los aceites vegetales. Se producen a partir de materias primas que utilizan tierra, la cual también puede utilizarse para el cultivo de alimentos y piensos.

<sup>205</sup> Biocarburantes avanzados son aquellos que se elaboran a partir de materias primas que no compiten directamente con los cultivos para alimentos y piensos, como residuos y residuos agrícolas.

### 3. MARCO DE INNOVACIÓN

#### **PLAN ESTRATÉGICO EUROPEO DE TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA EL DESARROLLO DE TECNOLOGÍAS CON BAJA EMISIÓN DE CARBONO**

La Unión Europea ha establecido sus objetivos climáticos y energéticos fijados para 2020 en el marco de su estrategia para desarrollar una economía con baja emisión de carbono. La tecnología puede suponer una importante ayuda para cumplir dichos objetivos. El Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (EETE<sup>206</sup>) es el pilar tecnológico de la política energética y climática de la UE.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: La inversión en el desarrollo de tecnologías con baja emisión de carbono (Plan EETE) [COM (2009) 519 final de 7.10.2009].**

El Plan EETE tiene por objeto fomentar el desarrollo y el uso de tecnologías con baja emisión de carbono para 2020. Impulsa la colaboración entre los países de la UE, las empresas y las instituciones de investigación, que pueden reducir costes poniendo en común sus habilidades e instalaciones. También ayuda a la financiación de proyectos.

Existen iniciativas industriales europeas para diversos tipos de energía. El porcentaje de electricidad que podrían producir para 2020 se indica entre paréntesis: energía eólica (20 %), energía solar (15 %) y bioenergía (14 %).

---

<sup>206</sup> EETE es el Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética, presentada por la Comisión para acelerar el desarrollo y la implantación al mínimo coste de tecnologías con baja emisión de carbono. Este plan comprende medidas relativas a la planificación, la aplicación, los recursos y la cooperación internacional en el sector de las tecnologías energéticas.



La Iniciativa europea sobre la red eléctrica está diseñada para lograr que el 50 % de las redes de Europa integren las energías renovables y para ajustarse eficazmente a la oferta y a la demanda para 2020.

La iniciativa de captura y almacenamiento de carbono tiene por objeto hacer comercialmente viables las tecnologías implicadas.

La Iniciativa para una energía nuclear de fisión sostenible busca tener en marcha para 2020 los primeros prototipos de cuarta generación.

La iniciativa de eficiencia energética debería garantizar que entre veinticinco y treinta ciudades que utilizan tecnologías digitales que les permiten ofrecer unos mejores servicios públicos a los ciudadanos y un mejor uso de los recursos con un menor impacto sobre el medio ambiente, impulsen el avance hacia un futuro con bajas emisiones de carbono.

La Alianza europea para la investigación en el sector energético promueve la cooperación coordinada entre centros de investigación nacionales para la puesta en marcha de programas conjuntos. Esto se ve complementado por las acciones para crear polos de ciencia e investigación.

La Comisión está estudiando otras opciones tecnológicas como la energía renovable en alta mar como la energía eólica, los generadores de energía mareomotriz, entre otros; el almacenamiento de energía; y la calefacción y refrigeración procedentes de energías renovables. En el ámbito nuclear, está analizando los retos de una ampliación de la vida útil de las instalaciones y la eliminación de los residuos nucleares.

La UE está cooperando de forma activa con muchos de sus socios internacionales, como en el Foro Estratégico para la Cooperación Internacional en materia de Ciencia y Tecnología.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Tecnologías e innovación energéticas [COM (2013) 253 final de 2.5.2013].

**PROGRAMA NER 300: AUMENTO DEL USO DE TECNOLOGÍAS CON BAJA EMISIÓN DE CARBONO EN LA UNIÓN EUROPEA**

El NER 300 es uno de los mayores programas de financiación del mundo para proyectos innovadores de demostración de tecnologías con baja emisión de carbono, en el que apoya regímenes de captura y almacenamiento de carbono seguros para el medio ambiente y de desarrollo de tecnologías de energía renovable que podrían utilizarse a escala comercial en la Unión Europea.

**Decisión 2010/670/UE, de 3 de noviembre de 2010, de la Comisión por la que se establecen los criterios y las medidas aplicables a la financiación de proyectos comerciales de demostración destinados a la captura y al almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub>, en condiciones de seguridad para el medio ambiente, así como de proyectos de demostración de tecnologías innovadoras de energía renovable, al amparo del régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad establecido por la Directiva 2003/87/CE del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 290 de 6.11.2010, pp. 39-48).**

**Decisión (UE) 2015/191 de la Comisión, de 5 de febrero de 2015, por la que se modifica la Decisión 2010/670/UE en lo que respecta a la ampliación de determinados plazos establecidos en su artículo 9 y en su artículo 11, apartado 1 (DO L 31 de 7.02.2015, pp. 31-32).**

La presente Decisión establece las normas y las condiciones bajo las que la UE financiará proyectos comerciales de demostración para la captura y el almacenamiento geológico de dióxido de carbono, denominados captura y almacenamiento de carbono (CAC) y tecnologías de energía renovable (FER).

Los proyectos de CAC subvencionables se centran en la producción de electricidad y en sus diversas aplicaciones industriales, como en refinerías y en la producción de hierro y acero.

Los proyectos de FER subvencionables abarcan la bioenergía, la energía solar, la fotovoltaica, la geotérmica, la eólica, la marina, la hidroeléctrica (electricidad generada por agua en movimiento) y las redes inteligentes (modernas redes energéticas que controlan automáticamente los flujos de energía).

En diciembre de 2012, la primera operación de financiación de la UE dispuso 1.100 millones de euros para veinte proyectos de energías renovables, se invirtieron más de 1.900 millones de euros procedentes del sector privado.

En la segunda ronda, en julio de 2014, se concedieron 1.000 millones de euros a dieciocho proyectos de energías renovables y a uno de captura y almacenamiento de carbono. En este caso, la inversión privada fue de 860 millones de euros más.

Anualmente, el 31 de diciembre, los gobiernos de la UE deben enviar un informe a la Comisión en el que se describan los avances observados en los proyectos.

Dicho informe incluirá información relativa a la cantidad de CO<sub>2</sub> almacenada o de energías limpias producidas, al desembolso de los fondos y a los detalles de cualquier problema importante que haya surgido.

**Documentos Conexos:**

- Decisión de Ejecución de la Comisión, de 31.1.2014, por la que se modifica la Decisión de Ejecución C (2012) 9432 de la Comisión, a fin de modificar la Decisión de adjudicación en el marco de la primera convocatoria de propuestas del programa de financiación NER 300 [C (2014) 383 final].
- Decisión de Ejecución de la Comisión, de 8.7.2014 - Decisión de adjudicación de la segunda convocatoria de propuestas del programa de financiación NER 300 [C (2014) 4493 final].

## **ENERGÍA**

La política energética fomenta la conexión entre las redes de energía y la eficiencia energética, abarcando fuentes de energía que van desde los combustibles fósiles a las renovables pasando por otros tipos de energía que no se consideran ni fósiles ni renovables.

### **1. DISPOSICIONES INDICATIVAS**

#### **RECONFIGURACIÓN DEL MERCADO DE LA ENERGÍA DE LA UE**

La Unión Europea quiere ofrecer una energía fiable y asequible para toda la ciudadanía y conseguir los objetivos para 2030. Para ello, aspira a transformar su mercado de la energía, incluida la implantación de una nueva concepción del mercado de la electricidad, con el objetivo de atraer nuevas inversiones.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Lanzamiento de un proceso de consulta pública sobre la nueva configuración del mercado de la energía [COM (2015) 340 final de 15.7.2015].**

La presente Comunicación de la Comisión Europea lanza una consulta pública sobre los beneficios de una nueva configuración del mercado de la electricidad teniendo en cuenta la nueva tecnología y unas mayores inversiones.

La Comunicación enfatiza que los mercados transfronterizos a corto plazo son fundamentales para lograr un mercado de la electricidad eficiente. Su concepción debe tener presente el sistema energético del futuro, es decir, un sistema con flujos transfronterizos a gran escala y grandes volúmenes de producción a base de energías renovables variables. Estos responderían al rápido crecimiento de las energías renovables variables y a la necesidad de que la red eléctrica funcione de forma segura y estable.

Es fundamental contar con una red de energía europea bien interconectada para lograr la seguridad energética y más competencia, así como para emitir señales destinadas a la inversión.

Los proyectos de interés común son el principal instrumento para integrar los mercados nacionales de electricidad y para diversificar sus fuentes de energía.

En cuanto a la adaptación de la configuración del mercado para invertir en renovables, un mercado con precios adecuados aportaría señales sobre cuándo y dónde se podría generar electricidad renovable.

Unos mercados a corto plazo flexibles y mejor integrados ayudarían a los productores de energía renovable a competir en igualdad de condiciones con los

productores de energía tradicional, mejorando la integración de las renovables en el sistema eléctrico.

Se puede respaldar la producción de energía renovable merced a mecanismos basados en el mercado que solventen las deficiencias del mercado, garanticen la rentabilidad y eviten compensaciones excesivas y falseamientos de las condiciones del mercado, en consonancia con las Directrices sobre ayudas estatales.

Por otro lado, la coordinación regional de las políticas nacionales es fundamental para que la UE cumpla sus objetivos para 2030, para integrar su mercado interior de la energía y para reforzar la seguridad energética.

Hacen falta más interconexiones, ya que el sistema existente no puede abordar los nuevos flujos de energía posibles.

Es importante lograr una mayor cooperación regional entre los operadores del sistema, en concreto las funciones desempeñadas por las iniciativas en materia de cooperación en el ámbito de la seguridad regional y la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte<sup>207</sup> (ENTSO-E).

Es necesario ampliar la red en lo que respecta a la distribución para integrar la electricidad generada a base de energías renovables de producción local.

---

<sup>207</sup> La Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSO-E, *European Network of Transmission System Operators for Electricity*, en inglés) es la asociación europea de los gestores de transporte de electricidad. Es la sucesora de la Asociación de Gestores Europeos de Redes de Transporte de Electricidad (ETSO) fundada en 1999 como respuesta a la emergencia de un mercado eléctrico dentro de la Unión Europea.

Hace falta reforzar la función de la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía<sup>208</sup> (ACER) para supervisar el funcionamiento del mercado y adoptar decisiones vinculantes sobre las iniciativas de la UE y los problemas transfronterizos.

Por último, en cuanto a la seguridad del suministro, para determinar si los sistemas energéticos son adecuados, la Comisión solicita la evaluación del papel desempeñado por cada uno de los siguientes elementos: i) las interconexiones entre las redes de los diferentes países de la UE; ii) la generación de electricidad transfronteriza; iii) la producción a base de energías renovables variables; iv) la respuesta de la demanda (es decir, los incentivos para reducir el uso durante los periodos de mayor demanda); y v) las posibilidades de almacenamiento.

Esta evaluación podría ayudar a decidir si es necesario un mecanismo de capacidad, que supondría pagar aparte la disponibilidad de capacidad, en lugar de pagar por la electricidad suministrada. Estos pagos por la capacidad disponible están diseñados para recompensar a los proveedores de capacidad por mantener la capacidad existente o invertir en nuevas capacidades. Sin embargo, la Comisión advierte que estos mecanismos pueden ser costosos y distorsionar las condiciones de mercado.

Se podrían desarrollar normas a escala de la UE sobre la participación en los mecanismos de capacidad de los diferentes países de la UE. La Comisión recomienda que se establezca un modelo de mecanismo de capacidad de

---

<sup>208</sup> La ACER contribuye a garantizar el buen funcionamiento del mercado único europeo del gas y la electricidad ayudando a las autoridades nacionales de reglamentación de toda Europa a ejercer sus funciones y, cuando es necesario, coordinando sus labores.

referencia que se utilizaría a escala regional, facilitando la participación transfronteriza y minimizando las distorsiones del mercado.

**RECOMENDACIONES RELATIVAS A LAS TIC PARA FACILITAR LA TRANSICIÓN A UNA ECONOMÍA DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA Y BAJO NIVEL DE EMISIÓN DE CARBONO**

La Comisión Europea ha presentado un conjunto de recomendaciones para el sector de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) y los Estados miembros de la Unión Europea con el objeto de que la UE avance hacia una economía de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisión de carbono.

Las TIC desempeñan una función esencial en la consecución de dichos objetivos, dado que están presentes en prácticamente todos los ámbitos de la economía y podrían contribuir a mejorar la productividad en más de un 40 %.

**Recomendación 2013/105/CE de la Comisión, de 9 de octubre de 2009, relativa a la movilización de las tecnologías de la información y la comunicación para facilitar la transición a una economía de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisión de carbono.**

La Comisión Europea ha desarrollado dos conjuntos de recomendaciones, uno para el sector de las TIC y otro para los Estados Miembros de la UE, destinados a alcanzar la transición de la UE hacia una economía de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisión de carbono.

Las recomendaciones para el sector de las TIC son un objetivo general que consiste en demostrar una reducción mensurable y verificable de la intensidad



energética y de las emisiones de carbono en todos los procesos que intervienen en la producción, el transporte y la venta de los equipos y componentes de las TIC, como aquellas soluciones TIC que permitan mejorar el rendimiento ambiental de los edificios nuevos y existentes, así como las prácticas de construcción y renovación.

Otra recomendación señala que el sector de las TIC, en estrecha cooperación con el sector del transporte y la logística, debería encontrar las soluciones TIC que permitan mejorar el rendimiento energético y ambiental de dichos servicios.

Las recomendaciones para los Estados Miembros de la Unión Europea, se basó por parte de la Comisión en la petición a los Estados Miembros de la UE que utilizarasen soluciones basadas en las TIC para mejorar la eficiencia energética.

Las redes inteligentes y los sistemas de medición inteligente pueden mejorar la eficacia y el control de la producción, así como su distribución y consumo. Antes de que finalizase 2010, los Estados Miembros de la UE debían concertar una especificación común para la medición inteligente que facilitase a los consumidores una mejor información y les ayudase a gestionar su consumo de energía. En 2012, la Comisión presentó un inventario de proyectos de redes inteligentes y sistemas de medición inteligente en Europa. Dicho inventario incluye 281 proyectos de redes inteligentes y alrededor de noventa proyectos piloto y desarrollos de treinta países europeos.

Las administraciones públicas de los Estados Miembros de la UE a escala nacional, regional y local deberían aprovechar mejor la utilización de herramientas de TIC para la simulación y modelización energéticas, entre otras cosas mediante la formación de profesionales en sectores como la construcción,

el transporte y la logística, así como fomentar la utilización de tecnología con mayor eficiencia energética incluyéndola en los programas de contratación pública.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, y al Comité de las Regiones, de 12 de marzo de 2009, sobre la movilización de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) para facilitar la transición a una economía de alta eficiencia energética y bajo nivel de emisión de carbono [COM (2009) 111 final - No publicada en el Diario Oficial].

**ENERGÍA DE ALTO RENDIMIENTO Y BAJO COSTE, SOSTENIBLE Y CON BAJA EMISIÓN DE CARBONO**

Las tecnologías con baja emisión de carbono como la energía solar, la energía eólica o la captura y almacenamiento de carbono, ofrecen un gran potencial para reducir las emisiones de GEI, mejorar las energías sostenibles, generar puestos de trabajo y crecimiento económico, y reducir la dependencia europea de proveedores externos de energía. Sin embargo, la innovación en este ámbito suele ser costosa, arriesgada y lenta, por lo que es necesario definir una estrategia de desarrollo.

La estrategia de tecnología e innovación energética de la Unión Europea forma parte integrante de la política energética de la UE y tiene por objeto seguir desarrollando tecnología e innovación energéticas.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Tecnologías e innovación energéticas [COM (2013) 253 final de 2 de mayo de 2013].**

Esta Comunicación plantea una estrategia que complementa la legislación existente a fin de garantizar que la UE siga disponiendo de un sector de tecnología e innovación líder que pueda abordar los retos energéticos hasta 2020 y en fechas posteriores y tiene por objeto llevar al mercado tecnologías energéticas de alto rendimiento y bajo coste, sostenibles y con baja emisión de carbono, alcanzando así los objetivos de la estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

La presente Comunicación recoge los siguientes principios:

- Considerar el sistema energético en conjunto al establecer prioridades, es decir, cómo una tecnología individual incide en el conjunto del sistema energético.
- Reforzar el vínculo entre la innovación y la política energética.
- Poner recursos financieros en común para investigación e innovación.
- Centrar la atención en las tecnologías para el período posterior a 2020.

La Comisión Europea, junto con las partes interesadas que participan en el Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética de la UE, tiene por objeto garantizar la elaboración, bajo los auspicios del Grupo de Dirección del Plan EETE, de una hoja de ruta integrada que: i) consolide las hojas de ruta tecnológicas del Plan EETE; ii) contemple íntegramente la cadena de investigación e innovación (desde la investigación básica hasta la implantación en el mercado); e iii) identifique claramente las funciones y responsabilidades de

las distintas partes interesadas, como la Alianza Europea para la Investigación en el Sector Energético (EERA<sup>209</sup>) y el Instituto Europeo de Innovación y Tecnología (EIT<sup>210</sup>).

Además, se debe definir un plan de acción de inversiones conjuntas e individuales que sustenten la hoja de ruta integrada.

La Comisión y los países de la UE deben reforzar el sistema de informes y seguimiento de la hoja de ruta integrada y del plan de acción sobre la base del sistema estratégico de información sobre tecnologías energéticas (SETIS<sup>211</sup>) del Plan EETE.

La Comisión debe crear una estructura de coordinación, al amparo del Grupo de Dirección del Plan EETE, para fomentar las inversiones en investigación e innovación en el ámbito de la eficiencia energética.

La presente Comunicación pide al Parlamento Europeo y al Consejo que:

- Reafirmen su apoyo al Plan EETE.

---

<sup>209</sup> La Alianza Europea para la Investigación en el Sector Energético (EERA, *European Energy Research Alliance*, en inglés) es la comunidad de investigación energética más grande de Europa. Es una asociación sin fines de lucro basada en miembros y reúne a 250 universidades y centros públicos de investigación en 30 países. Los programas de investigación conjuntos de EERA cubren toda la gama de tecnologías bajas en carbono, así como temas sistémicos y transversales. Cuya misión es catalizar la investigación energética europea para una sociedad climáticamente neutra para 2050.

<sup>210</sup> Instituto europeo de Innovación y Tecnología (EIT, *European Institute of Innovation*, en inglés) es un organismo de la Unión Europea establecido en 2008 para “fortalecer la capacidad de innovación” de los Estados Miembros. El Instituto está integrado en *Horizon Europa*, el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE.

<sup>211</sup> El sistema estratégico de información sobre tecnologías energéticas (SETIS, *SET-Plan Information System*, en inglés) incluye una descripción de las tecnologías relacionadas con el sector de la energía, así como de las capacidades existentes a nivel europeo. SETIS, desarrollado por el Centro Común de Investigación de la Comisión Europea proporciona información sobre el impacto de la adopción de posibles decisiones de política energética, analiza la evolución de la relación coste-beneficio de las distintas opciones tecnológicas y contribuye a la información periódica sobre los avances del SET-Plan.

- Refrenden los principios y transformaciones clave exigidos por la tecnología y la innovación energéticas en toda la UE.
- Apoyen la alineación de los recursos de la UE, nacionales y privados, para contribuir a esta estrategia.

## **ESTRATEGIA PARA UNA ENERGÍA COMPETITIVA, SOSTENIBLE Y SEGURA**

Los sistemas energéticos mundiales están experimentando importantes cambios que van a tener un impacto permanente. Es fundamental que la Unión Europea conduzca sus diversas fuentes de energía a una vía segura y sostenible.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Energía 2020: estrategia para una energía competitiva, sostenible y segura [COM (2010) 639 final de 10.11.2010].**

La Comunicación propone una nueva estrategia energética para el período previo a 2020. Se basa en los avances ya logrados, identifica formas de abordar los nuevos desafíos y marca los pasos necesarios para lograr los objetivos de la política de la UE a medio plazo.

La nueva estrategia energética se articula en torno a cinco prioridades:

- Lograr una Europa eficiente desde el punto de vista energético. Se tiene que romper la actual relación entre crecimiento económico y un consumo energético cada vez mayor. La construcción y el transporte pueden

desempeñar un papel importante y las autoridades públicas deberían predicar con el ejemplo.

- Garantizar la libre circulación de la energía. Se debe crear un mercado más integrado, interconectado y competitivo. Esto se puede conseguir aplicando plenamente la actual legislación de la UE y desarrollando un plan general que permita que la energía circule de un país a otro.
- Suministrar una energía segura, fiable y asequible a los ciudadanos y las empresas. Muchos usuarios desconocen las oportunidades que puede ofrecer un mercado energético liberalizado. Una política más respetuosa con los consumidores y que se base en los beneficios que aporta la competencia, trasladaría estas ventajas a los hogares.
- Ampliar el liderazgo de Europa en la tecnología y la innovación relacionadas con la energía. Si no realiza un gran cambio tecnológico, la UE no conseguirá alcanzar sus ambiciones para 2050 de eliminar los combustibles fósiles de la electricidad y el transporte. El Plan Estratégico de Tecnología Energética y las seis iniciativas industriales europeas como eólica, solar, bioenergía, redes inteligentes<sup>212</sup>, fisión nuclear y captura y almacenamiento de carbono, pretenden estimular la innovación necesaria.
- Consolidar asociaciones internacionales sólidas. Muchos de los desafíos que afronta la UE como el cambio climático, el acceso a petróleo y gas, el desarrollo tecnológico y la eficiencia energética, también son importantes para otros países. La colaboración, con una importante aportación de la UE, hará que sea más fácil encontrar las respuestas correctas.

---

<sup>212</sup> Redes inteligentes son aquellas redes energéticas que, de manera automática, supervisan los flujos de energía y se ajustan a los cambios en la oferta y la demanda.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Hoja de Ruta de la Energía para 2050 [COM (2011) 885 final de 15.12.2011].

**CONSEGUIR ENERGÍA SEGURA, ASEQUIBLE Y SOSTENIBLE: EL PAQUETE UNIÓN DE LA ENERGÍA**

Los desafíos globales planteados al sistema energético de la Unión Europea exigen que los países de la UE se unan y cooperen para garantizar que la energía resulte segura, asequible y sostenible para los consumidores.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva [COM (2015) 80 final de 25.2.2015].**

Esta Comunicación define la estrategia que regirá el paquete Unión de la Energía propuesto. Puesto que la energía se regula a escala nacional en la UE, el objetivo de la Unión de la Energía es convertir el sistema energético de la UE, que actualmente se divide en veintiocho marcos nacionales, en un marco único europeo.

La Comunicación establece cinco dimensiones principales a partir de la estrategia de la Unión de la Energía para impulsar la seguridad, la sostenibilidad y la competitividad.

La seguridad del suministro: Para garantizar la seguridad del suministro energético, la UE debe: i) diversificar las fuentes de energía, incluido un uso más eficiente de sus fuentes autóctonas; ii) colaborar estrechamente con sus vecinos, incluidos los ocho países de fuera de la UE que son miembros de la Comunidad de la Energía, en momentos en los que haya escasez o crisis energéticas; y iii) crear un organismo que se encargue de la compra colectiva de gas durante una crisis.

La reducción de las emisiones: Entre los objetivos energéticos de la UE para el año 2030 se incluye una reducción del 40 % en las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) con respecto a los niveles de 1990. Para conseguirlos será necesario: i) revisar el Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE y fomentar las inversiones en nuevas tecnologías e infraestructuras; y ii) convertirse en líder mundial de las energías renovables como la solar y la eólica.

Un mercado interior plenamente integrado: Para realizar un mercado interior de la energía plenamente integrado hacen falta: i) más interconectores entre los países de la UE para fomentar un flujo de la energía rápido y libre; ii) más trabajo y mantenimiento en las infraestructuras básicas; y iii) una mayor competitividad entre los proveedores que permita bajar los precios.

La eficiencia energética: La UE considera que las reducciones del consumo de energía reducirán las importaciones de energía y la contaminación, y aumentarán la conservación de los recursos energéticos internos. La Comunicación subraya especialmente la necesidad de aumentar las inversiones y la sensibilización acerca del potencial de ahorro energético en los sectores del transporte y la construcción.



La investigación y la innovación: La UE aspira a lograr avances en las tecnologías hipocarbónicas. Dichos avances se lograrán coordinando la investigación y financiando proyectos en asociación con el sector privado.

## **UN ABASTECIMIENTO ENERGÉTICO ESTABLE Y ABUNDANTE PARA EUROPA**

Los ciudadanos y las economías europeas dependen de un abastecimiento de energía seguro. La estrategia de seguridad energética pretende garantizar un abastecimiento energético estable y abundante para Europa y se centra en proteger el abastecimiento energético de la Unión Europea en el actual contexto geopolítico de dependencia de las importaciones de energía.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: Estrategia Europea de la Seguridad Energética [COM (2014) 330 final de 28.5.2014].**

Es necesario adoptar ocho medidas clave:

- Medidas inmediatas para evitar problemas de abastecimiento energético durante el invierno de 2014-2015: esto es especialmente importante para los países que dependen de un único suministrador de gas; se incluyen el aumento de la capacidad de almacenaje, el desarrollo de medidas de seguridad para los planes de abastecimiento y un mayor uso del potencial del gas natural licuado.
- Reforzar los mecanismos de emergencia y solidaridad de los países de la Unión Europea: incluida la coordinación de las evaluaciones de riesgos y los planes de contingencias, y protección de las infraestructuras estratégicas y

críticas, como gasoductos, y una revisión del Reglamento relativo a la seguridad del suministro de gas.

- Moderar la demanda de energía: es necesario reforzar duramente leyes como la Directiva relativa a la eficiencia energética y la Directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios, y revisar otras leyes. Es necesario tomar medidas para identificar las posibilidades de mejora de eficiencia energética, así como las barreras para la utilización eficiente de energía. Para atraer más inversiones del sector privado, los Fondos Estructurales y de Inversión europeos cuentan con 27.000 millones de euros para invertir en una economía de bajo carbono, incluida la eficiencia energética.
- Garantizar un mercado interno eficaz e integrado: abordando, entre otras cuestiones, las deficiencias en la infraestructura energética de la UE y ampliando el objetivo de lograr una interconexión de la capacidad de producción eléctrica del 10 % en 2020 al 15 % en 2030.
- Aumentar la producción propia de energía de la UE: incluido un mayor uso de energías renovables, la producción sostenible de combustibles fósiles y la aplicación completa de la Directiva relativa a la captura y el almacenamiento de carbono.
- Desarrollar las tecnologías energéticas: para reducir aún más la demanda de energía, diversificar y consolidar las opciones de abastecimiento y optimizar las infraestructuras energéticas.
- Diversificar las fuentes externas de abastecimiento y las infraestructuras correspondientes: resulta esencial acceder a varias fuentes de gas, al igual que mantener las importaciones de proveedores fiables. Se debe prestar atención a las inversiones realizadas en nuevas centrales nucleares para

garantizar una cartera diversificada de abastecimiento de combustible nuclear y reducir así la dependencia de Rusia.

- Mejorar la coordinación de las políticas energéticas nacionales y la comunicación sobre cuestiones externas: aunque sean competencias nacionales, las decisiones sobre la combinación de energías, la progresiva integración de las infraestructuras y los mercados energéticos, la dependencia común de los proveedores externos y la necesidad de garantizar la solidaridad en tiempos de crisis implican que deban coordinarse las decisiones políticas fundamentales sobre la energía, y es necesario que la UE desarrolle mensajes coherentes sobre los aspectos externos de la política energética.

### **MECANISMO DE INTERCAMBIO DE INFORMACIÓN EN EL SECTOR DE LA ENERGÍA**

**Decisión (UE) 2017/684 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2017, por la que se establece un mecanismo de intercambio de información con respecto a los acuerdos intergubernamentales y los instrumentos no vinculantes entre los Estados miembros y terceros países en el sector de la energía y por la que se deroga la Decisión nº 994/2012/UE (DO L 99 de 12.4.2017, pp. 1-9).**

Esta Decisión establece un sistema de intercambio de información entre los países de la UE y la Comisión Europea sobre los acuerdos energéticos firmados entre uno o varios países de la UE, por una parte, y, por la otra, países no pertenecientes a la UE u organizaciones internacionales.

El objetivo consiste en garantizar que los acuerdos intergubernamentales firmados por los países de la UE con países no pertenecientes a la UE u organizaciones internacionales sean coherentes con el Derecho de la UE. Esto garantizará el correcto funcionamiento del mercado interior, mejorará la seguridad del suministro en la UE y conducirá a una mayor transparencia y coordinación sobre cuestiones relativas a la energía entre los países de la UE y con la Comisión.

Esta Decisión cubre principalmente los acuerdos jurídicamente vinculantes entre un país de la UE y un país no perteneciente a la UE o una organización internacional referidos a la compra, el comercio, la venta, el tránsito, el almacenamiento o el suministro de energía en o a un país de la UE o que afecten a la infraestructura energética de la UE.

Cuando vayan a entablar dichas negociaciones, los países de la UE deben informar lo antes posible a la Comisión de su intención e informar periódicamente a esta de la marcha de las negociaciones mediante una aplicación web específica.

Antes de cerrar un acuerdo intergubernamental o una modificación, el país de la UE interesado debe «tener en cuenta en la mayor medida posible» el dictamen de la Comisión sobre la compatibilidad del acuerdo con el Derecho de la UE.

Tras la ratificación de cualquier acuerdo energético, el país de la UE debe notificarlo a la Comisión, incluyendo las razones por las que haya desestimado el dictamen jurídico de la Comisión.

Los países de la UE pueden notificar opcionalmente los instrumentos no vinculantes a la Comisión. Dichos instrumentos son disposiciones que no son

jurídicamente vinculantes, habitualmente memorandos de acuerdo, declaraciones conjuntas, declaraciones ministeriales conjuntas o códigos de conducta comunes que fijan precios, por ejemplo, o el desarrollo de infraestructura.

**Petróleo y gas:** Cuando las conversaciones conciernan al gas y al petróleo, debe notificarse a la Comisión cualquier proyecto de acuerdo para que realice una evaluación previa (*ex-ante*). En el plazo de 5 semanas, la Comisión debe informar al país de la UE interesado de cualquier duda que abrigue sobre la compatibilidad del acuerdo con el Derecho de la UE, en particular con la legislación del mercado interior de la energía y el Derecho de la competencia. La Comisión hará un seguimiento de sus dudas y emitirá un dictamen completo en el plazo de 12 semanas desde la fecha de la notificación original.

**Electricidad:** Los países de la UE pueden realizar su propia evaluación de la compatibilidad jurídica de los acuerdos sobre electricidad con el Derecho de la UE en la fase del proyecto de acuerdo.

Cuando el país de la UE no haya podido alcanzar una conclusión firme en relación con dicha compatibilidad, debe notificar el proyecto de acuerdo a la Comisión y se seguirá el mismo procedimiento que en el caso de las evaluaciones previas *ex-ante* sobre el petróleo y el gas.

**Plazos:** Los plazos para la evaluación de cualquiera de los acuerdos mencionados, petróleo y gas, electricidad, pueden prorrogarse con el acuerdo del país de la UE, o reducirse de acuerdo con la Comisión, a fin de garantizar que las negociaciones no se retrasen indebidamente.

Acuerdos vigentes: A más tardar el 3 de agosto de 2017, los países de la UE deben notificar a la Comisión todos los acuerdos intergubernamentales en materia de energía vigentes, incluidos los acuerdos notificados relativos a la electricidad. Cuando la Comisión abrigue dudas iniciales acerca de la compatibilidad jurídica de dichos acuerdos con la legislación de la UE, informará consecuentemente a los países de la UE en el plazo de 9 meses tras la notificación.

Intercambio de información: Cuando un país de la UE no haya indicado que determinada información sea confidencial, la Comisión la pondrá a disposición de los demás países de la UE en un formato electrónico seguro. Cuando la información sea confidencial, el país de la UE pondrá a disposición una síntesis que contendrá, como mínimo, el objeto del acuerdo, su objetivo, ámbito de aplicación, duración, partes interesadas e información sobre sus principales elementos.

Las solicitudes de confidencialidad no restringen el acceso de la propia Comisión a la información confidencial. Este intercambio tiene por objeto alentar la coordinación entre los países de la UE con el fin de:

- Analizar la evolución y alcanzar la coherencia de las relaciones exteriores de la UE en el sector de la energía.
- Determinar los problemas comunes y las medidas apropiadas para abordarlos, proponiendo directrices y soluciones.
- Apoyar la elaboración de acuerdos intergubernamentales multilaterales en los que participen grupos de países de la UE o la UE en su conjunto.

Directrices: Antes del 3 de mayo de 2018, la Comisión, en consulta con los países de la UE, elaborará cláusulas modelo y directrices para mejorar la conformidad de los futuros acuerdos intergubernamentales en materia de energía con el Derecho de la UE.

## **2. NORMAS FINANCIERAS**

### **PROGRAMA ENERGÉTICO EUROPEO PARA LA RECUPERACIÓN**

El PEER forma parte del Plan de Recuperación Económica, creado para subsanar los efectos de la crisis financiera y energética que afectó a la economía europea en 2008.

**Reglamento (CE) nº 663/2009 — programa de ayuda a la recuperación económica mediante la concesión de asistencia financiera comunitaria a proyectos del ámbito de la energía.**

Este Reglamento crea el Programa Energético Europeo para la Recuperación (PEER) para financiar proyectos en campos clave del sector energético:

- Infraestructuras de gas y electricidad.
- Energía eólica marina.
- Captura y almacenamiento de carbono.

Fue establecido para brindar apoyo a:

- La recuperación económica de la UE de la crisis económica y financiera de 2008.
- Los objetivos de política energética.

El programa financia proyectos de infraestructuras de gas y electricidad que tienen como objetivos: i) asegurar y diversificar las fuentes de energía y el

abastecimiento; ii) lograr que la interoperabilidad, es decir, la interconexión de las redes sea segura y fiable; iii) desarrollar y optimizar la capacidad de la red; y iv) conectar las renovables a la red o redes energéticas.

Los proyectos de energía eólica marina reciben financiación si se ajustan a determinados criterios que tienen en cuenta la construcción de la infraestructura, las características innovadoras del proyecto y la contribución de este a la red de energía eólica.

Los proyectos de captura y almacenamiento de carbono reciben financiación cuando el proyecto demuestra que puede capturar al menos un 80 % del dióxido de carbono de centrales industriales.

El presupuesto del programa asciende a un total de 3.980 millones de euros, desglosados del siguiente modo:

- 2.300 millones de euros para proyectos de infraestructura de gas (1.400 millones de euros) y electricidad (910 millones de euros).
- 565 millones de euros para proyectos de energía eólica marina.
- 15 millones de euros para dos proyectos en islas pequeñas.
- 1.005 millones de euros para 13 proyectos de captura y almacenamiento de carbono.
- 146 millones de euros para el instrumento financiero del programa, creado posteriormente en virtud del Reglamento (UE) nº 1233/2010 por el que se modifica el Reglamento (CE) nº 663/2009, para dar apoyo a proyectos relacionados con la eficiencia energética.



El Fondo Europeo de Eficiencia Energética, creado en 2011, asumió las tareas de asignación de fondos a los proyectos de apoyo a la eficiencia energética.

Brinda apoyo a proyectos relativos a:

- Edificios públicos y privados que incorporen soluciones de eficiencia energética, energías renovables o ambas, incluidas las basadas en el uso de tecnologías de información y comunicación.
- Inversiones en redes de cogeneración de alta eficiencia energética, incluyendo la microcogeneración, y las redes de climatización distribuida, especialmente a partir de energías renovables.
- Fuentes renovables de energía descentralizadas instaladas localmente y su integración en las redes eléctricas.
- Microgeneración a partir de energías renovables.
- Transporte urbano limpio en pro de una mayor eficiencia energética e integración de fuentes renovables de energía (transporte público, vehículos eléctricos y de hidrógeno).
- Infraestructura local, incluidos el alumbrado eficiente exterior de infraestructuras públicas, como el alumbrado de calles, soluciones para el almacenamiento de la electricidad y contadores y redes inteligentes que aprovechen plenamente las TIC.
- Tecnologías de eficiencia energética y energías renovables basadas en los mejores procedimientos disponibles en materia de innovación y potencial económico.

La Comisión Europea publica informes anuales sobre la aplicación del PEER. Un informe sobre el PEER publicado en 2018 tras 7 años de aplicación muestra que se han completado 35 de 44 proyectos de infraestructura de gas y electricidad,

4 de 9 proyectos de energía eólica marina están operativos; pero solo se ha completado 1 de 6 proyectos de captura y almacenamiento de carbono y 3 han terminado prematuramente.

Infraestructuras de gas y electricidad: i) todas las líneas de alta tensión, excepto las de redes de distribución, y los enlaces submarinos, siempre que estas infraestructuras se utilicen para un transporte o conexión interregional o internacional; ii) los gasoductos de alta presión, excepto los de redes de distribución; iii) los sistemas de almacenamiento subterráneo conectados a los gasoductos de alta presión; iv) las instalaciones de recepción, almacenamiento y regasificación de gas natural licuado; y v) todo equipo o instalación indispensable para el buen funcionamiento de las infraestructuras mencionadas, incluidos los sistemas de protección, seguimiento y control.

**Documentos Conexos:**

- Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación [COM (2018) 86 final, 5.3.2018].
- Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación y del Fondo Europeo de Eficiencia Energética [COM (2016) 743 final, 28.11.2016].
- Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación y del Fondo Europeo de Eficiencia Energética [COM (2015) 484 final, 8.10.2015].
- Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación [COM (2014) 669 final, 28.10.2014].

- Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación [COM (2013) 791 final, 18.11.2013].
- Documento de trabajo de los servicios de la Comisión, Evaluación intermedia del Fondo Europeo de Eficiencia Energética, que acompaña al documento: Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre la ejecución del Programa Energético Europeo para la Recuperación [SWD (2013) 457 final, 18.11.2013].
- Comunicación de la Comisión al Consejo Europeo: Un plan europeo de recuperación económica [COM (2008) 800 final, 26.11.2008].

### **PRECIOS Y COSTES DE LA ENERGÍA EN EUROPA**

La presente Comunicación consta de un informe sobre los precios y costes de la energía en Europa, y de recomendaciones para tener controladas las facturas de energía.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Precios y costes de la energía en Europa [COM (2014) 21 final de 22.1.2014 - No publicada en el Diario Oficial].**

El análisis de los precios y costes de la energía en Europa realizado por la Comisión Europea se ha concebido para ayudar a los responsables de formular las políticas a comprender el contexto de fondo, el impacto de las recientes subidas en los consumidores y las implicaciones políticas.

El aumento del precio de la energía es una de las principales preocupaciones políticas. Representa una carga económica adicional para el sector industrial y para los hogares, ya bajo presión, y afecta a la competitividad global de Europa.

El objetivo del informe es utilizarlo para ayudar a la Unión Europea a desarrollar un marco de clima y energía para 2030 que sea ambicioso y creíble a la vez, que resulte rentable y que no ponga en peligro la competitividad de Europa.

La Comisión propone una serie de medidas de acción con vistas a garantizar que los ciudadanos y la industria de Europa puedan hacer frente con eficacia al reto de los precios de la energía, y que la UE pueda mantener su competitividad ahora, en 2030 y más adelante.

Entre las principales propuestas para tener controladas las facturas de energía, se incluye lo siguiente: i) los países de la UE deben realizar el mercado interior de la energía en 2014 con el fin de garantizar que se pueda invertir de forma eficiente y competitiva; ii) los consumidores particulares y la industria, especialmente las pymes, deben estudiar la posibilidad de reducir sus precios pasándose a proveedores de energía más baratos; iii) aumentar la eficiencia energética y ayudar a los consumidores a reducir el consumo; los hogares y la industria de Europa pueden mantener bajas sus facturas mejorando la eficiencia energética; prestar más atención a la eficiencia energética al diseñar productos, a las nuevas tecnologías y al comportamiento de los consumidores también puede contribuir al ahorro de dinero y energía; iv) para aprovechar las ventajas del mercado interior y el margen de reducción de costes, los países de la UE deben seguir desarrollando la infraestructura energética, diversificar los suministros de energía y las rutas de suministro, negociando con los principales socios energéticos mediante una única voz europea; y v) la UE y sus países

miembros deben seguir evaluando y comparando los costes y las prácticas de la red energética.

### **3. MERCADO INTERIOR DE LA ENERGÍA**

#### **AGENCIA PARA LA COOPERACIÓN DE LOS REGULADORES DE LA ENERGÍA**

**Reglamento (UE) 2019/942 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se crea la Agencia de la Unión Europea para la Cooperación de los Reguladores de la Energía (DO L 158 de 14.6.2019, pp. 22-53).**

Este Reglamento actualiza el papel y el funcionamiento de la Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía de la Unión Europea y adapta los cometidos de la Agencia al nuevo diseño del mercado de la energía introducido en el paquete Energía limpia para todos los europeos.

La Agencia para la Cooperación de los Reguladores de la Energía de la Unión Europea desempeña las siguientes funciones:

- Ayudar a las autoridades reguladoras en el ejercicio, a escala de la UE, de las funciones reguladoras desempeñadas en los países de la UE.
- Coordinar, en caso necesario, la actuación de las autoridades reguladoras y mediar en los desacuerdos y solucionarlos.
- Contribuir a la adopción de unas prácticas comunes de regulación y de supervisión de alta calidad que garanticen la aplicación coherente, eficiente y eficaz del Derecho de la Unión con el fin de alcanzar los objetivos de la Unión en materia de clima y energía.

En el desempeño de sus funciones, la ACER actúa con independencia y objetividad en aras del interés de la UE, tomando decisiones autónomas, con independencia de cualquier interés privado o empresarial.

La ACER emite dictámenes y recomendaciones dirigidos a:

- Los gestores de redes de transporte, la Red Europea de Gestores de Redes de Transporte (REGRT-E<sup>213</sup>) de Electricidad, la REGRT de Gas, la entidad de los gestores de una red de distribución de la UE, los centros de coordinación regionales y los operadores designados del mercado de la electricidad.
- Las autoridades reguladoras.
- El Parlamento Europeo, el Consejo o la Comisión Europea.

La ACER tiene competencias para adoptar decisiones relativas a, en particular, lo siguiente: i) la aprobación de las condiciones y las metodologías aplicables en todos los países de la UE, previstas en los códigos de red y directrices; ii) la revisión de las zonas de oferta; iii) el arbitraje entre autoridades reguladoras sobre cuestiones transfronterizas de regulación; iv) las exenciones de determinadas normas del mercado; v) las infraestructuras; vi) los asuntos en relación con las normas de integridad y transparencia del mercado mayorista; y vii) a efectos de los requerimientos de información.

En colaboración con la Comisión, los países de la UE y las autoridades nacionales pertinentes, incluidas las autoridades reguladoras, la ACER

---

<sup>213</sup> La REGRT-E, Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Electricidad (ENTSO-E, *European Network of Transmission System Operators for Electricity*, en inglés) es la asociación europea de los gestores de transporte de electricidad. Sucesora de la Asociación de Gestores Europeos de Redes de Transporte de Electricidad (ETSO) fundada en 1999 como respuesta a la emergencia de un mercado eléctrico dentro de la Unión Europea.

supervisa los mercados mayoristas y minoristas de la electricidad y el gas natural, incluido los siguientes aspectos:

- Los precios al por menor de la electricidad y el gas natural.
- El respeto de los derechos del consumidor.
- El impacto de la evolución del mercado en los clientes domésticos.
- El acceso a las redes incluido el acceso a la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables.

La ACER publicará informes de supervisión anuales en los que se identificará cualquier posible obstáculo a la realización de los mercados interiores de la electricidad y del gas natural.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2019/941 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre la preparación frente a los riesgos en el sector de la electricidad y por el que se deroga la Directiva 2005/89/CE (DO L 158 de 14.6.2019, pp. 1-21).
- Reglamento (UE) 2019/943 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, relativo al mercado interior de la electricidad (DO L 158 de 14.6.2019, pp. 54-124).
- Directiva (UE) 2019/944 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, sobre normas comunes para el mercado interior de la electricidad y por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE (DO L 158 de 14.6.2019, pp. 125-199).
- Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la

Acción por el Clima y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 663/2009 y (CE) nº 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, por la que se deroga el Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 1-77).

- Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 82-209).
- Directiva (UE) 2018/844 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (DO L 156 de 19.6.2018, pp. 75-91).
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56) y sus modificaciones sucesivas.
- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (DO L 153 de 18.6.2010, pp. 13-35).



### 3.1. REDUCCIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

#### **MERCADO INTERIOR DEL GAS**

Dos Comunicaciones de la Comisión de 2007 relativas a las perspectivas del mercado interior del gas y la electricidad y a la investigación sectorial en los mercados del gas y la electricidad mostraron que las actuales normas y medidas en vigor sobre el mercado interior del gas son insuficientes y que era necesario adoptar nuevas normas.

**Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE (DO L 211 de 14.8.2009, pp. 94-136) y sus modificaciones.**

La presente Directiva tiene como objetivo establecer normas comunes en materia de transporte, distribución, suministro y almacenamiento de gas natural<sup>214</sup> con el objetivo de ofrecer acceso al mercado y permitir la competencia equitativa y no discriminatoria. Se aplica al gas natural, al gas natural licuado (GNL), al biogás y al gas obtenido a partir de la biomasa.

Las normas de organización del sector tienen como objetivo la creación de un mercado del gas natural competitivo, seguro y sostenible desde el punto de vista medioambiental.

---

<sup>214</sup> Gas natural es un gas inflamable que se encuentra naturalmente bajo tierra, que contiene principalmente metano y otros hidrocarburos y que se usa esencialmente como combustible.

Los países de la Unión Europea pueden imponer a las empresas del sector del gas obligaciones de servicio público en relación con: i) la seguridad técnica y la seguridad de abastecimiento; ii) la regularidad y la calidad del servicio; iii) los precios; iv) la protección del medio ambiente; y v) la eficiencia energética.

Los países de la UE deben garantizar que:

- Todos los clientes tengan derecho a elegir a su proveedor de gas y a cambiarlo fácilmente, con ayuda de su operador, en un plazo máximo de tres semanas.
- Los clientes reciban los datos pertinentes sobre el consumo.

Los países de la UE se encargarán de realizar un seguimiento en materia de seguridad de abastecimiento, sobre todo en relación con lo siguiente:

- El equilibrio entre la oferta y la demanda en el mercado nacional.
- Las reservas disponibles.
- El mantenimiento de las redes.
- Las medidas en caso de problemas de abastecimiento.

Podrá establecerse una cooperación regional o internacional para garantizar la seguridad del abastecimiento.

Los países de la UE asegurarán la integración de los mercados nacionales en uno o más niveles regionales, como primer paso hacia un mercado interior plenamente liberalizado. También se integrarán los sistemas aislados de gas. En este contexto, las autoridades reguladoras nacionales colaborarán con la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía.

A partir del 3 de marzo de 2012, los países de la UE tienen la obligación de establecer una separación<sup>215</sup> entre las redes de transporte y sus gestores. Esto significa que las empresas activas en la producción o el abastecimiento de gas o electricidad no pueden ejercer ningún derecho sobre un gestor de redes de transporte, y viceversa.

Los países de la UE y las autoridades competentes tienen derecho a acceder a la contabilidad de las empresas de gas natural, aunque deberán preservar el carácter confidencial de algunos datos. Las empresas de gas natural deberán llevar cuentas separadas para cada una de sus actividades relacionadas con el suministro de gas, como el transporte y la distribución.

Las empresas tienen que ser previamente autorizadas y designadas oficialmente como gestores de la red de transporte. Posteriormente, debe publicarse una lista de los gestores de la red de transporte designados por los países de la UE en el Diario Oficial de la Unión Europea, así mismo, y cuando proceda, los países de la UE deben designar uno o varios gestores de almacenamiento y de redes de GNL.

Los gestores de redes se encargan de:

- Gestionar, mantener y desarrollar redes de transporte, instalaciones de GNL y/o almacenamiento teniendo en cuenta el medio ambiente.
- Garantizar la no discriminación entre los usuarios de la red.

---

<sup>215</sup> Separación es la separación entre las redes de distribución del gas y las actividades de abastecimiento y de producción de las empresas del sector del gas.

- Proporcionar información a cualquier otro gestor de la red de transporte, de almacenamiento, de GNL y/o de distribución para garantizar la interconexión del transporte y el almacenamiento de gas natural.
- Proporcionar a los usuarios de la red la información que necesiten para acceder a ella.

Los gestores de la red de transporte deberán crear suficiente capacidad transfronteriza para integrar la infraestructura de transporte europea. Cada año presentarán a la autoridad reguladora un plan decenal de desarrollo de la red donde indicarán las principales infraestructuras que sea necesario construir o renovar, así como las inversiones que haya que realizar en los siguientes diez años.

Los países de la UE designarán a los gestores de redes de distribución, o pedirán a las empresas propietarias o encargadas de las redes de distribución que lo hagan.

Los gestores de la red de distribución se encargarán, sobre todo, de lo siguiente:

- Garantizar que la red esté en condiciones de satisfacer a largo plazo las solicitudes en materia de distribución de gas, explotación, mantenimiento, desarrollo y respeto del medio ambiente.
- Garantizar la transparencia en lo que respecta a los usuarios de la red.
- Proporcionar información a los usuarios de la red.
- Cubrir las pérdidas de energía y mantener una reserva de capacidad.

Los gestores de la red de distribución deberán ser independientes de las demás actividades no relacionadas con la distribución, al menos en lo que se refiere a la personalidad jurídica.

Los países de la UE o las autoridades reguladoras competentes se encargarán de organizar un sistema de acceso no discriminatorio de terceras partes a las redes de transporte y distribución basado en tarifas publicadas. Deberán garantizar el acceso de los clientes cualificados a las redes de gasoductos previas. Además, deberán definir las condiciones de acceso a las instalaciones de almacenamiento y al gas almacenado en los gasoductos, es decir, el gas almacenado por compresión en las redes de transporte y distribución.

La Directiva (UE) 2019/692 busca abordar los obstáculos a la plena realización del mercado interior del gas natural que se derivan de la inaplicabilidad de las normas de mercado de la UE a los gasoductos de transporte con destino u origen en terceros países. Las modificaciones introducidas por esta Directiva pretenden garantizar que las normas aplicables a los gasoductos de transporte que conectan dos o más países de la UE también sean aplicables, dentro de la UE, a los gasoductos que tienen destino u origen en terceros países.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (CE) nº 713/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, por el que se crea la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía (DO L 211 de 14.8.2009, pp. 1-14).
- Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo: Perspectivas del mercado interior del gas y la electricidad [COM (2006) 841 final de 10.1.2007].
- Comunicación de la Comisión: Investigación de conformidad con el artículo 17 del Reglamento (CE) nº 1/2003 en los sectores europeos del gas y la electricidad (informe final) [COM (2006) 851 final de 10.1.2007].

## **REDES DE TRANSPORTE DE GAS NATURAL**

**Reglamento (CE) nº 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre las condiciones de acceso a las redes de transporte de gas natural y por el que se deroga el Reglamento (CE) nº 1775/2005 (DO L 211 de 14.8.2009, pp. 36-54) y sus modificaciones sucesivas.**

Este Reglamento establece las normas para el acceso a:

- Las redes de transporte de gas natural.
- Las instalaciones de almacenamiento de gas y de gas licuado.

Estas normas tienen por objeto contrarrestar los obstáculos a la competencia en el mercado de la Unión Europea para el gas natural y garantizar su buen funcionamiento.

El Reglamento determina lo siguiente: i) la forma en que se fijan las tarifas (únicamente para el acceso a las redes); ii) los servicios que se deben ofrecer; iii) la asignación de la capacidad a los gestores de redes de transporte<sup>216</sup> (GRT); iv) los requisitos de transparencia, como las normas sobre la publicación de la forma como llegan a sus tarifas y su estructura tarifaria; y v) las normas y tarifas de balance<sup>217</sup> del mercado.

Las autoridades reguladoras nacionales (ARN) deben notificar a la Comisión Europea las decisiones relativas a la certificación de un GRT. La Comisión tiene un plazo de dos meses para remitir a la ARN su dictamen. Después, esta

---

<sup>216</sup> Gestor de redes de transporte (GRT) es una entidad que transporta energía, como gas natural, ya sea a escala nacional o regional, usando una infraestructura fija.

<sup>217</sup> Balance consiste en igualar las recepciones y los suministros de gas de una empresa. El balance puede lograrse de forma diaria, mensual o estacional, con la aplicación de sanciones por balances excesivamente desequilibrados.

autoridad adopta una decisión firme sobre la certificación del GRT, que se publica junto con el dictamen de la Comisión.

Los GRT de gas debían entregar a la Comisión y a la Agencia de Cooperación de los Reguladores de la Energía (ACER) el proyecto de estatutos de la REGRT de Gas, una lista de sus miembros y el proyecto de reglamento interno a más tardar el 3 de marzo de 2011.

La Comisión consultará a la ACER y la REGRT de Gas con el fin de elaborar una lista anual de prioridades para formular conjuntos de normas, denominados códigos de red. Estos códigos se crean mediante una directriz no vinculante que la ACER transmite a la Comisión. Los códigos se refieren en particular a lo siguiente: i) las normas de asignación de capacidad y de gestión de la congestión; ii) las normas de interoperabilidad entre los gestores de sistemas de transporte; iii) las normas de balance; iv) las normas de transparencia; y v) las estructuras tarifarias de transporte armonizadas.

La REGRT de Gas adoptará:

- Herramientas de gestión de la red comunes.
- Un plan decenal de desarrollo de la red.
- Recomendaciones para la coordinación de la cooperación técnica entre los GRT de la UE.
- Un programa de trabajo anual.
- Un informe anual.
- Unas perspectivas anuales de suministro para invierno y verano.

Las autoridades reguladoras determinarán las tarifas o las metodologías para calcularlas. Los países de la UE pueden tomar decisiones sobre las tarifas, como su fijación mediante procedimientos basados en el mercado.

Los GRT ofrecerán sus servicios de forma no discriminatoria para todos los usuarios de la red.

Las normas de asignación detalladas se establecen en el código de red sobre los mecanismos de asignación de capacidad.

Los gestores de instalaciones de GNL y de almacenamiento también ofrecerán sus servicios de forma no discriminatoria y los harán compatibles con el uso de las redes de transporte de gas interconectadas. Los países de la UE pueden decidir si debe regularse o negociarse el acceso al almacenamiento.

Se pondrá a disposición de todos los participantes en el mercado la capacidad máxima de las redes, de los almacenamientos y las instalaciones de GNL.

Los GRT deben ejercer y publicar unos procedimientos de gestión de la congestión<sup>218</sup> transparentes que garanticen que los intercambios transfronterizos de gas se realizan de forma no discriminatoria.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2017/459 de la Comisión, de 16 de marzo de 2017, por el que se establece un código de red sobre los mecanismos de asignación de capacidad en las redes de transporte de gas y por el que se deroga el Reglamento (UE) nº 984/2013 (DO L 72 de 17.3.2017, pp. 1-28).

---

<sup>218</sup> La gestión de la congestión garantiza el uso de la potencia disponible sin sobrepasar las limitaciones del sistema. Cuando la congestión se produce el sistema de transporte resulta insuficiente para transferir la potencia según pide el mercado.



- Reglamento (UE) 2017/460 de la Comisión, de 16 de marzo de 2017, por el que se establece un código de red sobre la armonización de las estructuras tarifarias de transporte de gas (DO L 72 de 17.3.2017, pp. 29-56).
- Reglamento (UE) 2015/703 de la Comisión, de 30 de abril de 2015, por el que se establece un código de red sobre las normas de interoperabilidad y de intercambio de datos (DO L 113 de 1.5.2015, pp. 13-26).
- Reglamento (UE) nº 312/2014 de la Comisión, de 26 de marzo de 2014, por el que se establece un código de red sobre el balance del gas en las redes de transporte (DO L 91 de 27.3.2014, pp. 15-35).

### **SEGURIDAD DEL SUMINISTRO DE GAS EN LA UNIÓN EUROPEA**

**Reglamento (UE) 2017/1938 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2017, sobre medidas para garantizar la seguridad del suministro de gas y por el que se deroga el Reglamento (UE) nº 994/2010 (DO L 280 de 28.10.2017, pp. 1-56).**

Este Reglamento tiene por objetivo reforzar la seguridad de la energía de la Unión Europea ayudando a prevenir posibles interrupciones del suministro y a responder a ellas cuando se produzcan, con el fin de garantizar que los hogares y otros consumidores vulnerables dispongan siempre de suministro.

El Reglamento forma parte del paquete Unión de la Energía, que tiene por objetivo que la energía resulte segura, asequible y sostenible a través de una cooperación más estrecha entre los países de la UE.

La seguridad del abastecimiento de gas es responsabilidad compartida de las empresas de gas natural, los países de la UE y la Comisión Europea.

Los principales elementos del Reglamento son los siguientes:

- Una mejor cooperación y coordinación entre los grupos de países de la UE en grupos regionales para evaluar juntos los riesgos comunes de suministro y para desarrollar medidas preventivas y de emergencia conjuntas.
- La introducción del mecanismo de solidaridad a través del cual los países de la UE deben ayudarse entre sí para garantizar siempre el suministro de gas a los consumidores más vulnerables, incluso en graves situaciones de suministro de gas, en condiciones de justa compensación por parte del país que recibe la solidaridad.
- La mejora de la transparencia gracias a la obligación impuesta a las compañías de gas de notificar a la autoridad nacional sus principales contratos de suministro de gas a largo plazo que puedan ser pertinentes para la seguridad del suministro.
- La Red Europea de Gestores de Redes de Transporte de Gas llevará a cabo una simulación a escala de toda la UE cada cuatro años de casos de interrupción del suministro de gas e indisponibilidades de las infraestructuras.
- Los países de la UE tienen obligaciones específicas en el marco de la Comunidad de la Energía, mientras que la Comisión coordina las normas jurídicas.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva [COM (2015) 80 final de 25.2.2015].

- Reglamento (UE) nº 347/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de abril de 2013, relativo a las orientaciones sobre las infraestructuras energéticas transeuropeas y por el que se deroga la Decisión nº 1364/2006/CE y se modifican los Reglamentos (CE) nº 713/2009, (CE) nº 714/2009 y (CE) nº 715/2009 (DO L 115 de 25.4.2013, pp. 39-75).
- Directiva 2009/73/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 13 de julio de 2009, sobre normas comunes para el mercado interior del gas natural y por la que se deroga la Directiva 2003/55/CE (DO L 211 de 14.8.2009, pp. 94-136).

### **3.5. ENERGÍAS RENOVABLES**

#### **ENERGÍAS RENOVABLES**

El fomento de las formas renovables de energía es una de las metas de la política energética de la UE. La mayor utilización de energía procedente de fuentes renovables constituye una parte importante del paquete de medidas necesarias para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y para cumplir con el Acuerdo de París de 2015 sobre el Cambio Climático y el Marco estratégico de la UE en materia de clima y energía (2020-2030).

**Directiva (UE) 2018/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (versión refundida) (DO L 328, 21.12.2018, pp. 82-209).**

Esta Directiva refunde y deroga la legislación anterior (Directiva 2009/28/CE, Directiva (UE) 2015/1513 y Directiva 2013/18/UE del Consejo).

Establece un sistema común para promover la energía procedente de fuentes renovables<sup>219</sup> en todos los sectores. En particular, tiene por objeto:

- Establecer un objetivo vinculante para la UE sobre sus cuotas en la combinación energética para 2030.
- Regular el autoconsumo por primera vez.
- Establecer un conjunto común de normas para el uso de renovables en electricidad, calefacción, refrigeración y transporte dentro de la UE.

La mayor utilización de energía procedente de fuentes renovables será crucial para combatir el cambio climático, proteger el medio ambiente y reducir nuestra dependencia energética, así como para contribuir al liderazgo tecnológico e industrial de la UE, al crecimiento y a la creación de puestos de trabajo, incluyendo zonas rurales y aisladas.

Esta Directiva refundida, junto con la Directiva de Eficiencia Energética revisada y un nuevo Reglamento de Gobernanza, forma parte del paquete Energía limpia para todos los europeos, que busca proporcionar una nueva y exhaustiva normativa sobre regulación de la energía para la próxima década.

La Directiva: i) garantiza que se cumpla el objetivo vinculante de la UE de una forma rentable; ii) pone en práctica un enfoque europeo, estable y orientado al mercado de la energía renovable; iii) brinda seguridad a largo plazo a los inversores y acelera los procedimientos de obtención de permisos para construir proyectos; iv) permite que los consumidores participen en la transición

---

<sup>219</sup> Energía procedente de fuentes renovables es la energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, energía solar térmica y fotovoltaica y energía geotérmica, calor ambiente, energía mareomotriz, energía undimotriz y otros tipos de energía oceánica, energía hidráulica y energía procedente de biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración, y biogás.

energética con el derecho a producir su propia energía renovable; v) pretende aumentar el uso de renovables en los sectores de la climatización y el transporte; y refuerza los criterios de sostenibilidad de la UE para la bioenergía.

La Directiva, además, incluye: i) un objetivo vinculante global de la UE para 2030 del 32 % como mínimo de energía procedente de fuentes renovables; ii) normas sobre ayudas financieras rentables basadas en el mercado destinadas a la electricidad procedente de fuentes renovables; iii) sistemas de apoyo y protección de las modificaciones que pusieron proyectos en curso en riesgo; iv) mecanismos de cooperación entre los países de la UE, y entre países de la UE y extracomunitarios; v) simplificación de los procedimientos administrativos de proyectos de renovables, incluyendo ventanilla única, plazos y digitalización; vi) un sistema de garantías de origen mejorado y ampliado a todas las renovables; vii) normas que permiten a los consumidores producir su propia electricidad, individualmente o en el marco de comunidades de energías renovables, sin restricciones indebidas; viii) dentro del sector de la climatización incluye un incremento anual de 1,3 puntos porcentuales en la cuota de energías renovables del sector, el derecho de los consumidores a desconectarse de sistemas de climatización urbanos ineficientes y el acceso de terceros para proveedores de renovables y calor y frío residuales a las redes urbanas de calefacción y refrigeración; ix) dentro del sector del transporte incluye un objetivo vinculante del 14% con un subobjetivo específico para biocarburantes avanzados del 3,5 % y topes a los biocarburantes convencionales y los de alto riesgo de cambios en usos indirectos del suelo<sup>220</sup>; x) criterios sostenibles de la UE sobre bioenergía

---

<sup>220</sup> Riesgo de cambios en usos indirectos del suelo son los cambios en el uso del suelo traen consigo un crecimiento de los cultivos de producción de etanol y biodiésel en respuesta a la creciente demanda global

que se han reforzado y amplían su ámbito de aplicación hasta cubrir todos los carburantes, independientemente del uso energético final.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima y por el que se modifican los Reglamentos (CE) nº 663/2009 y (CE) nº 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, por la que se deroga el Reglamento (UE) nº 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 1-77).
- Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 210-230).
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56).
- Directiva 2009/28/EC del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (DO L 140, 5.6.2009, pp. 16-62).

---

de biocarburantes. Puede haber consecuencias no deseadas, incluyendo la liberación de más emisiones de carbono.

## **LA ENERGÍA AZUL: ENERGÍA RENOVABLE OCEÁNICA**

La energía oceánica tiene un potencial enorme. Existen varias tecnologías distintas para utilizar este potencial, como la energía de las olas y de las corrientes de marea, la energía eólica marina y la conversión de las diferencias de temperatura y de salinidad en electricidad.

Varios obstáculos que deben abordarse se interponen en el camino hacia un próspero sector de la energía oceánica. Estos incluyen: i) el coste elevado de la tecnología; ii) la necesidad de ampliar la red eléctrica de la UE; iii) los complejos procesos de concesión de licencias; iv) la necesidad de realizar largas investigaciones sobre las repercusiones medioambientales; y v) el difícil acceso a la financiación (apoyo reducido a los ingresos y a las subvenciones).

Los programas existentes, como la Alianza Europea para la Investigación en el Sector Energético, la ERA-NET<sup>221</sup> de energía oceánica y Horizonte 2020 serán importantes a la hora de facilitar unos elevados volúmenes de electricidad con baja emisión de carbono a Europa a partir de sus mares y océanos.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: La energía azul  
Medidas necesarias para aprovechar el potencial de la energía oceánica de los mares y océanos europeos hasta 2020 y en adelante [COM (2014) 8 final de 20.1.2014].**

---

<sup>221</sup> El esquema ERA-NET surge como nueva herramienta cuyo objetivo fundamental es fomentar la cooperación y la coordinación de las actividades y políticas de investigación desarrolladas en los Estados Miembros y Estados Asociados a través de sus respectivos programas de investigación, nacionales y regionales, contribuyendo a la materialización del Espacio Europeo de Investigación.

La presente Comunicación define el plan de acción de la Unión Europea para aprovechar el potencial de los mares y océanos como fuentes de energía limpia.

Establece una línea de actuación para liberar el potencial económico y medioambiental de la energía oceánica, y está diseñada para contribuir a los objetivos de reducción de los gases de efecto invernadero de la UE y a la Estrategia Europa 2020 para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador.

Esta Comunicación propone dos fases del plan de acción para aprovechar el potencial de la energía oceánica:

La primera fase, de 2014 a 2016, tiene por objeto crear:

- Un foro que aborde las cuestiones tecnológicas, administrativas y medioambientales del desarrollo del sector de la energía renovable oceánica.
- Una hoja de ruta estratégica que establezca objetivos claros para el desarrollo industrial, así como un calendario para conseguirlos.

La segunda fase, de 2017 a 2020, tiene por objeto:

- Establecer iniciativas para atraer la inversión en la energía renovable oceánica.
- Desarrollar unas directrices sectoriales específicas para la aplicación de la legislación pertinente.

El crecimiento de los sectores de la energía eólica y solar en los últimos años demuestra claramente que establecer una política y financiación adecuadas puede proporcionar los incentivos necesarios para que la industria genere resultados.



## **AVANCES HACIA LA CONSECUCIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA UNIÓN EUROPEA PARA 2020 EN MATERIA DE ENERGÍAS RENOVABLES**

La UE aprobó la primera legislación sobre energías renovables en 2001 con la Directiva 2001/77/CE, que promovía la electricidad generada a partir de fuentes renovables. A esta le siguió la Directiva 2003/30/CE, que estableció la base jurídica para el uso de los biocarburantes y otras fuentes renovables en el transporte. Estas Directivas prepararon el terreno para la Directiva relativa a las energías renovables de 2009.

**Informe de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Informe de situación en materia de energías renovables (COM (2015) 293 final de 15.6.2015).**

El presente informe expone una evaluación de los avances de la Unión Europea y sus países hacia la consecución de los objetivos del 20 % del consumo total de energía y del 10 % del consumo de energía en el transporte procedentes de fuentes renovables para 2020. El informe es conforme a los requisitos de la Directiva relativa a las energías renovables de 2009, la cual exige informes de situación en materia de energías renovables cada dos años.

Este informe señala que, en 2014, la UE tenía una cuota de consumo total de energía procedente de fuentes renovables del 15,3 %, lo cual significa que la Unión Europea en su conjunto está en el buen camino para la consecución del objetivo del 20 %.

Los países de la UE establecen sus propios objetivos de energías renovables y el enfoque para alcanzarlos. En estos planes de acción nacionales se incluyen distintos elementos, tales como:

- Los objetivos individuales de energías renovables para los sectores de la electricidad, la calefacción o la refrigeración, y el transporte.
- Las medidas necesarias para alcanzar los objetivos nacionales.
- La combinación de fuentes renovables que el país de la UE tiene pensado utilizar.

Se prevé que veinticinco de los veintiocho países de la UE<sup>222</sup> alcancen sus objetivos para 2020 y se espera que diecinueve de estos veinticinco países los superen.

Los avances para lograr un mínimo del 10 % del consumo de energía en el transporte procedente de fuentes renovables para 2020 han sido más lentos, con una cuota media de la UE del 5,7 % en 2014.

Los países de la UE establecieron objetivos intermedios cada dos años hasta 2020. Estos objetivos serán más ambiciosos, de manera que puede que algunos países de la UE tengan que intensificar sus esfuerzos o cooperar con otros países de la UE para alcanzarlos.

Este informe confirma, asimismo, que la Directiva relativa a las energías renovables funciona bien, ya que ha reducido las emisiones de CO<sub>2</sub> y la dependencia de los combustibles fósiles. Además, el informe concluye que los

---

<sup>222</sup> El Reino Unido se retira de la Unión Europea y se convierte en un tercer país (no perteneciente a la UE) a partir del 1 de febrero de 2020.

objetivos para 2020 son el principal impulsor de las inversiones en energías renovables a nivel internacional.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE (DO L 140 de 5.6.2009, pp. 16-62) y sus modificaciones.

**3.3. PETRÓLEO / HIDROCARBUROS**

**SEGURIDAD DE LAS OPERACIONES RELATIVAS AL PETRÓLEO Y AL GAS**

**MAR ADENTRO**

Los accidentes relativos al petróleo y al gas mar adentro son una posibilidad constante. El presente reglamento establece unos requisitos de seguridad mínimos para prevenirlos y limitar las consecuencias que puedan tener sobre el medio marino y las economías costeras en caso de que se produzcan.

**Directiva 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 12 de junio de 2013, sobre la seguridad de las operaciones relativas al petróleo y al gas mar adentro, y que modifica la Directiva 2004/35/CE.**

Esta Directiva de la Unión Europea sobre la seguridad de las operaciones mar adentro, adoptada en junio de 2013, requiere que los operadores tomen todas las medidas necesarias para prevenir accidentes graves y que dispongan de recursos físicos, humanos y financieros suficientes para limitar las consecuencias cuando se produzcan. Es aplicable a todas las instalaciones existentes y futuras.

Para desarrollar actividades relativas al petróleo y al gas mar adentro, los operadores deben recibir una licencia de una autoridad independiente. Para evitar conflictos de intereses, los Estados Miembros deben garantizar que exista una clara separación entre este reglamento sobre seguridad mar adentro y los factores ambientales y otras funciones relacionadas con el desarrollo económico, el otorgamiento de concesiones y la gestión de los ingresos.

Antes de iniciar cualquier actividad, el operador o el propietario de una instalación debe proporcionar a la autoridad pertinente:

- Una copia de la política corporativa de prevención de accidentes graves.
- El sistema de gestión de la seguridad y el medio ambiente.
- Un informe sobre los riesgos graves.

Los operadores deben preparar, también, planes internos de respuesta de emergencia para responder a cualquier riesgo grave. Deben incluir un análisis acerca de cómo tratar los vertidos de petróleo. Además, las autoridades nacionales deben desarrollar planes de respuesta de emergencia que incluyan todas las instalaciones e infraestructuras de petróleo y gas mar adentro, junto con las áreas que se pudiesen verse afectadas dentro de su jurisdicción.

La Agencia Europea de Seguridad Marítima puede ayudar a los países de la UE a elaborar sus planes de respuesta de emergencia, así como a detectar y supervisar los vertidos de petróleo y gas. Debido al posible impacto transfronterizo de un accidente, las autoridades nacionales deben intercambiar conocimientos, información y experiencia regularmente con homólogos de otros países de la UE, y consultar con la industria, otras partes interesadas y la Comisión Europea.

## **PROSPECCIÓN, EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS**

Los países de la UE gozan de derechos soberanos sobre los recursos de hidrocarburos situados en su territorio. Así pues, corresponde a cada país determinar las zonas geográficas donde pueden ejercerse los derechos de prospección, exploración o producción de hidrocarburos, así como autorizar a las entidades a ejercer estos derechos.

**Directiva 94/22/CE del Parlamento Europeo y el Consejo, de 30 de mayo de 1994, sobre las condiciones para la concesión y el ejercicio de las autorizaciones de prospección, exploración y producción de hidrocarburos (DO L 164 de 30.6.1994, pp. 3-8).**

Esta Directiva establece un conjunto de normas comunes para toda la UE a fin de garantizar un acceso no discriminatorio a las actividades de prospección, exploración y producción de hidrocarburos.

Estas normas pretenden:

- Continuar integrando el mercado interior de la energía de la UE.
- Fomentar una mayor competencia.
- Mejorar la seguridad de abastecimiento.

La Directiva afecta a las autorizaciones para conceder derechos de prospección, exploración o producción de hidrocarburos.

Establece que los límites geográficos de una autorización, así como la duración de la misma, deben determinarse con arreglo a la mejor manera posible para desarrollar estas actividades desde un punto de vista económico y técnico. Se trata de evitar que una única entidad goce de un derecho exclusivo sobre una

zona cuyos procesos de prospección, exploración y producción puedan ser ejecutados de forma más eficaz por varias entidades.

Las leyes que reservaban a una única entidad el derecho a obtener autorizaciones sobre una zona geográfica específica dentro del territorio de un país de la UE tuvieron que ser suprimidas por los países afectados antes del 1 de enero de 1997.

Los procedimientos de concesión de las autorizaciones deben ser transparentes y basarse en criterios objetivos y no discriminatorios. Así pues, deben estar abiertos a todas las entidades interesadas.

La selección entre las distintas entidades debe basarse en los criterios siguientes:

- Sus capacidades técnicas y financieras.
- La manera en la que prevén llevar a cabo las actividades de prospección, de exploración y/o de producción de la zona geográfica en cuestión.
- El precio que la entidad está dispuesta a abonar para obtener la autorización (en caso de que dicha autorización se ponga a la venta).

Toda la información relativa a la autorización, como el tipo de autorización, la zona geográfica solicitada total o parcialmente, la fecha límite prevista para la concesión de la autorización, criterios de selección, etc., se publica en el Diario Oficial de la Unión Europea al menos 90 días antes del final del plazo para la presentación de solicitudes.

No obstante, los países de la UE conservan su derecho a supeditar el acceso a estas actividades y el ejercicio de las mismas a consideraciones como: i) la seguridad nacional; ii) la seguridad pública; iii) la salud pública; iv) la seguridad

de los transportes; v) la protección del medio ambiente; vi) la protección de los recursos biológicos; y vii) la gestión planificada de los recursos de hidrocarburos o el pago de una contribución financiera o de una contribución en hidrocarburos.

Se establecen procedimientos para alcanzar acuerdos mutuos con terceros países, de tal modo que las entidades de los países de la UE puedan beneficiarse, en estos terceros países, de un trato comparable al que las entidades de terceros países reciben en la UE.

La Directiva 94/22/CE complementa la Directiva 2014/25/UE: Adquisición pública: normas para los sectores del agua, la energía, los transportes y los servicios postales.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2014/25/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, relativa a la contratación por entidades que operan en los sectores del agua, la energía, los transportes y los servicios postales y por la que se deroga la Directiva 2004/17/CE (DO L 94 de 28.3.2014, pp. 243-374) y sus modificaciones.

**RESERVAS DE PETRÓLEO DE EMERGENCIA**

**Directiva 2009/119/CE del Consejo, de 14 de septiembre de 2009, por la que se obliga a los Estados miembros a mantener un nivel mínimo de reservas de petróleo crudo o productos petrolíferos (DO L 265 de 9.10.2009, pp. 9-23).**

Esta Directiva tiene por objeto garantizar el suministro de petróleo de la Unión Europea al exigir a los Gobiernos mantener un nivel mínimo de petróleo crudo o

reservas de petróleo, estableciendo los procedimientos para movilizar las reservas si hay una escasez grave.

Los países de la UE deben:

- Mantener unas reservas totales de petróleo equivalentes a, al menos, noventa días de importaciones medias diarias o sesenta y un días de consumo, según cual fuera la más alta.
- Asegurar que las reservas están disponibles y accesibles en caso de una emergencia.
- Mantener un registro actualizado de sus reservas de emergencia y enviar los datos a la Comisión Europea antes del 25 de febrero de cada año.
- Mantener un registro actualizado de las reservas específicas, tales como gasolina de automoción y aviación, dentro de sus territorios y facilitar a la Comisión la información en un plazo de quince días desde la recepción de la solicitud.
- Remitir a la Comisión los resúmenes mensuales del nivel de las reservas comerciales contenidas en sus territorios.
- Mantener planes de contingencia para hacer frente a una interrupción importante en el suministro y ser capaces de movilizar una parte o la totalidad de sus reservas de emergencia de manera rápida y eficaz.
- Permitir que las empresas y otras entidades que tienen la obligación de mantener reservas de petróleo deleguen parte de esa responsabilidad, con sujeción a determinadas condiciones.

Los países de la UE pueden establecer entidades centrales de almacenamiento para adquirir, mantener o vender las reservas para cumplir con los requisitos de la Directiva, contando, además, con un grupo de coordinación para el petróleo y



los productos petrolíferos de asesoramiento ayuda a la Comisión a analizar la seguridad del abastecimiento en la UE. La Comisión, en colaboración con las autoridades nacionales, puede revisar el grado de preparación de los procedimientos de emergencia.

## **COLABORACIÓN PÚBLICO-PRIVADA SOBRE PILAS DE COMBUSTIBLE E HIDRÓGENO**

La Empresa Común Pilas de Combustible e Hidrógeno <sup>223</sup> (EC FCH 2) ejecuta una colaboración público-privada con la participación de la Comisión Europea, la industria de las pilas de combustible e hidrógeno (*NEW Industry Grouping*) y la comunidad investigadora (*Research Grouping N.ERGHY*). Su objetivo es acelerar el desarrollo y el despliegue de las tecnologías relacionadas con pilas de combustible e hidrógeno.

**Reglamento (UE) nº 559/2014 del Consejo, de 6 de mayo de 2014, por el que se establece la Empresa Común Pilas de Combustible e Hidrógeno 2.**

---

<sup>223</sup> La Empresa Común FCH 2 (*Fuel Cells and Hydroge*, en inglés) es una empresa cuyo objetivo general para el período 2014-2024 es desarrollar en la Unión Europea un sector de pilas de combustible e hidrógeno sólido, sostenible y competitivo a escala mundial, en concreto para: i) reducir el coste de producción de los sistemas de pilas de combustible para uso en aplicaciones de transporte, y a la vez aumentar su vida útil a niveles competitivos con las tecnologías convencionales; ii) aumentar la eficiencia eléctrica y la durabilidad de las diferentes pilas de combustible utilizadas para producir energía, y reducir a la vez los costes hasta niveles competitivos con las tecnologías convencionales; iii) aumentar la eficiencia energética de la producción de hidrógeno a partir de la electrolisis del agua reduciendo al mismo tiempo los costes de capital; y iv) demostrar a gran escala la viabilidad del uso del hidrógeno para apoyar la integración de las fuentes de energía renovables en los sistemas energéticos, en particular mediante su uso como medio de almacenamiento energético competitivo para la electricidad producida a partir de fuentes de energía renovables.

El objetivo de la EC FCH 2 es utilizar los beneficios de las pilas de combustible, una tecnología de conversión eficiente, y de hidrógeno, un vector de energía limpio, para ayudar a abordar los retos a los que se enfrenta Europa. Potencialmente, las pilas de combustible e hidrógeno ofrecen muchas ventajas, tales como:

- Permitir que la tecnología de las energías renovables se aplique al transporte.
- Facilitar la generación de energía distribuida (es decir, a pequeña escala).
- Abordar la naturaleza intermitente de las renovables, como la energía eólica.

El aprovechamiento de su uso debe ayudar a combatir las emisiones de carbono, reducir la dependencia de los hidrocarburos principalmente importados y contribuir al crecimiento y el empleo.

Tras el éxito de la primera generación que vio cómo algunas de las primeras aplicaciones llegaban al mercado, la EC FCH 2 pretende acelerar el despliegue comercial de la energía y las soluciones de transporte basadas en hidrógeno en toda Europa. La EC FCH 2 se creó para el período que concluye el 31 de diciembre de 2024.

Esta fase abarca la mejora del rendimiento y la reducción de los costes de los productos, así como la demostración a mayor escala de la preparación de la tecnología para el transporte y la energía.

La EC FCH 2 es una entidad jurídica creada en virtud del artículo 187 del Tratado de Funcionamiento de la UE, que prevé la creación de colaboraciones público-privadas<sup>224</sup> (CPP) a escala de la UE en el ámbito de la investigación industrial.

---

<sup>224</sup> Una alianza público-privada, colaboración público-privada, iniciativa público-privada o asociación público-privada es un acuerdo entre al menos un actor del sector público y al menos un actor del sector privado para la prestación de un servicio público.

Establece su propio programa estratégico de investigación y financia los proyectos seleccionados en convocatorias de propuestas publicadas en el sitio web de la EC FCH 2. La EC aplica las normas de participación de Horizonte 2020.

La EC es gestionada por un director ejecutivo con el apoyo del personal de la oficina del programa. La EC tiene un consejo de administración, formado por representantes de la industria y la Comisión Europea, que asume la responsabilidad general de la EC, supervisa la ejecución de sus actividades y recibe asesoramiento de un comité científico acerca de las prioridades científicas. Además, existe un grupo de representantes de los Estados, que representa a los países participantes, y un foro de interesados. Las decisiones se toman de acuerdo con las normas de votación establecidas por la EC.

El artículo 209 del Reglamento financiero de la UE [Reglamento (UE, Euratom) nº 966/2012] prevé nuevas normas menos estrictas adaptadas a los organismos de las CPP de la UE.

La contribución financiera de la UE, incluida la AELC, a la EC FCH 2 para financiar los costes administrativos y de operaciones asciende a 665 millones de euros, complementados por un importe similar de los participantes. Además, la EC busca desarrollar sinergias con los fondos estructurales y de inversión europeos.

**Documentos Conexos:**

---

- Reglamento (UE) nº 1291/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2013, por el que se establece Horizonte 2020, Programa Marco de Investigación e Innovación (2014-2020) y por el que se deroga la Decisión nº 1982/2006/CE (DO L 347 de 20.12.2013, pp. 104-173).

**PRINCIPIOS MÍNIMOS PARA LA EXPLORACIÓN Y PRODUCCIÓN DE HIDROCARBUROS UTILIZANDO LA FRACTURACIÓN HIDRÁULICA DE ALTO VOLUMEN (FRACKING)**

Los riesgos asociados al *fracking* llevaron a la Comisión Europea a lanzar la iniciativa del gas de esquisto, que incluye una recomendación relativa a las garantías mínimas.

El gas de esquisto está atrapado entre estructuras rocosas, que deben romperse para poder extraer el gas. El proceso utilizado para ello es lo que se conoce como fracturación hidráulica o *fracking*. Este proceso implica la fracturación de la roca mediante la introducción de un volumen elevado de agua, arena o sustancias químicas a través de una perforación.

Dado que Europa cuenta con una experiencia limitada con el *fracking*, existen preocupaciones relativas a la seguridad y el medio ambiente dado que los riesgos asociados a los recursos de gas de esquisto podrían extenderse de manera transfronteriza.

**Recomendación 2014/70/UE de la Comisión, de 22 de enero de 2014, relativa a unos principios mínimos para la exploración y producción de hidrocarburos (como el gas de esquisto) utilizando la fracturación hidráulica de alto volumen.**

Esta Recomendación está destinada a garantizar que los países de la Unión Europea que utilizan el proceso de *fracking* pongan en práctica unas medidas adecuadas de protección de la seguridad y el medio ambiente. Esto podría ayudar a aumentar la transparencia de cara a los ciudadanos, a establecer un marco más claro para los inversores y una igualdad de condiciones en lo que respecta a la reglamentación de la industria.

Otro componente de la iniciativa de gas de esquisto de la Comisión es su Comunicación relativa a la fracturación hidráulica de alto volumen. En ella se evalúan los potenciales beneficios de esta técnica en cuanto a la seguridad energética, la competitividad y los ingresos. También se tratan los retos para el medio ambiente en relación con el agua, la contaminación del aire y el uso de la tierra.

Si bien se basa en la legislación existente de la UE, la Recomendación establece las responsabilidades de los países de la UE que utilicen la fracturación hidráulica de alto volumen. Dichas responsabilidades incluyen: i) planificar por adelantado y llevar a cabo una evaluación estratégica del impacto medioambiental antes de conceder licencias; ii) verificar la calidad del aire, del agua y del terreno antes de comenzar a usar la fracturación hidráulica de alto volumen; iii) capturar los gases para controlar las emisiones atmosféricas; iv) garantizar la transparencia pública al informar sobre cualquier sustancia química empleada; y v) garantizar la aplicación de las mejores prácticas como norma durante el proceso de perforación.

Los principios de la Recomendación deben aplicarse en un plazo de seis meses en los países que estén empleando la técnica de *fracking*. A partir de diciembre de 2014, deben presentar anualmente un informe ante la Comisión en el que

expliquen las medidas que se hayan puesto en práctica. La Comisión supervisará las medidas y revisará la eficacia de la Recomendación durante los dieciocho meses siguientes a su publicación.

**Documentos Conexos:**

Comunicación de la Comisión al Consejo y al Parlamento Europeo sobre la exploración y producción de hidrocarburos (como el gas de esquisto) utilizando la fracturación hidráulica de alto volumen en la UE [COM (2014) 23 final/2, de 17.3.2014 - No publicada en el Diario Oficial].

**3.4. SECTOR NUCLEAR**

**3.4.1. SECTOR NUCLEAR**

**ESTATUTOS REVISADOS DE LA AGENCIA DE ABASTECIMIENTO DE EURATOM**

La Agencia de Abastecimiento de Euroatom (AAE) es el organismo de la UE responsable de la gestión de la oferta y la demanda de: i) minerales; ii) materiales básicos, como el uranio natural, entre otros); y iii) materiales fisionables especiales, como el uranio enriquecido y el plutonio, entre otros).

La AAE tiene el derecho exclusivo de refrendar contratos de suministros de materiales nucleares, como los mencionados anteriormente, procedentes de dentro o de fuera de la UE. De conformidad con el Tratado Euratom, también dispone de un derecho de opción para adquirir materiales nucleares.

La AAE tiene personalidad jurídica, es decir, es una entidad independiente por sí misma.

**Decisión 2008/114/CE, Euratom del Consejo, de 12 de febrero de 2008, por la que se establecen los Estatutos de la Agencia de Abastecimiento de Euratom (DO L 41, 15.2.2008, pp. 15-20) y sus modificaciones.**

**Versión consolidada del Tratado constitutivo de la Comunidad Europea de la Energía Atómica — Título II — Disposiciones destinadas a promover el progreso en el ámbito de la energía nuclear — Capítulo 6 — Abastecimiento — Artículo 52 (DO C 203, 7.6.2016, p. 24).**

Estos Estatutos de la Agencia de Abastecimiento de Euratom (AAE), que fue creada directamente por el Tratado Euratom de 1957, establecen que para tomar en consideración el aumento del número de países de la UE, así como para modernizar las normas financieras de la Agencia y establecer su sede en Luxemburgo.

El artículo 52 del Tratado de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom), que pretende garantizar un abastecimiento regular y equitativo de materiales nucleares para los usuarios de los países de la UE mediante una política común de abastecimiento, es la base jurídica de la AAE.

La AAE tiene como objetivos:

- Recibir todos los contratos relativos al abastecimiento de materiales nucleares dentro de la UE; tras ser evaluados, el Director general de la AAE decide si concede el visto bueno de la Agencia, condición necesaria para su validez.
- Ser informada de todos los contratos relativos a servicios prestados en la industria nuclear.

Asimismo, la AAE:

- Presta a la UE conocimientos, información y asesoramiento sobre el mercado de los materiales y servicios nucleares.
- Controla el mercado nuclear e identifica las orientaciones del mercado que pudieran afectar a la seguridad del suministro de materiales y servicios nucleares.
- Publica un informe anual de sus actividades del año anterior, así como su programa de trabajo para el próximo, y ambos se envían al Parlamento Europeo, al Consejo y a la Comisión Europea.
- Trabaja en estrecha cooperación con su Comité consultivo.

La AAE también puede crear su propia reserva de materiales nucleares. Está sometida al control de la Comisión, que tiene derecho a darle directrices y a vetar sus decisiones.

La AAE es una entidad sin ánimo de lucro, pudiendo adoptar medidas relativas a su propia organización interna por iniciativa propia para llevar a cabo sus actividades dentro y fuera de la UE y que actúa en virtud de la capacidad jurídica más amplia disponible de conformidad con la legislación de cada país de la UE y puede, en particular, adquirir o enajenar bienes y constituirse en parte en procedimientos jurídicos.

El director general de la AAE es responsable de: i) garantizar la realización de las tareas de la Agencia; ii) ejercer el derecho exclusivo de la AAE para celebrar contratos de suministro de materiales nucleares y su derecho de opción; iii) la administración y gestión diaria de los recursos de la Agencia; iv) mantener regularmente informado al Comité consultivo y consultarle asuntos pertinentes;



v) preparar proyectos de previsiones de gastos e ingresos de la AAE, y ejecutar su presupuesto; y vi) realizar estudios y elaborar informes (incluido un informe anual) en cooperación con el Comité y remitirlo al Parlamento Europeo, al Consejo y a la Comisión.

El director general y el personal de la AAE son funcionarios de la Comisión Europea y están sujetos a una habilitación de seguridad.

En cuanto a la financiación, la AAE:

- Se financia de manera autónoma.
- Está directamente regulada por las normas financieras que se aplican al presupuesto general de la UE [actualmente, el Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046].

Actualmente, el presupuesto de la Agencia consiste exclusivamente en una contribución de la UE, siendo adoptado por la Comisión, adquiriendo carácter definitivo tras adopción final del presupuesto general de la UE.

De conformidad con los Estatutos de la Agencia, cada país de la UE (a excepción de Luxemburgo y Malta) elige a entre uno y cuatro representantes para el Comité consultivo. Los miembros del Comité se designan sobre la base de su experiencia y conocimientos en materia de comercio de materiales nucleares o generación de energía nuclear o su regulación.

Por regla general, el director general de la AAE convoca el Comité dos veces al año. Debe ser consultado antes de que el director general de la Agencia adopte decisiones importantes, sobre los asuntos enumerados en los Estatutos de la AAE.

El Comité asiste a la AAE mediante sus opiniones y ofreciendo análisis e información.

**Documentos Conexos:**

- Reglamento (UE, Euratom) 2018/1046 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 18 de julio de 2018, sobre las normas financieras aplicables al presupuesto general de la Unión, por el que se modifican los Reglamentos (UE) n° 1296/2013, (UE) n° 1301/2013, (UE) n° 1303/2013, (UE) n° 1304/2013, (UE) n° 1309/2013, (UE) n° 1316/2013, (UE) n° 223/2014 y (UE) n° 283/2014 y la Decisión n° 541/2014/UE y por el que se deroga el Reglamento (UE, Euratom) n° 966/2012 (DO L 193, 30.7.2018, pp. 1-222).

**CONVENCIÓN SOBRE SEGURIDAD NUCLEAR**

La Convención sobre seguridad nuclear es una Convención internacional cuyo objetivo es mejorar la seguridad nuclear a escala mundial. Todos los países de la Unión Europea (UE) forman parte de la Convención. La Comunidad creada por el Tratado de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) comparte determinadas competencias con los países de la UE en las materias reguladas por la Convención.

**Convención sobre seguridad nuclear — Declaración de la Comunidad Europea de la Energía Atómica con arreglo a lo dispuesto en el inciso iii) del apartado 4 del artículo 30 de la Convención sobre seguridad nuclear (DO L 318 de 11.12.1999, pp. 21-30).**

**Decisión 1999/819/Euratom de la Comisión, de 16 de noviembre de 1999, relativa a la adhesión de la Comunidad Europea de la Energía Atómica**

**(Euratom) a la Convención sobre la seguridad nuclear de 1994 (DO L 318 de 11.12.1999, p. 20) y sus modificaciones sucesivas.**

La Decisión aprueba la adhesión de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom) a la Convención. Se modificó en 2004 para tomar en consideración el acceso de los nuevos países miembros de la UE.

Euratom no posee instalaciones nucleares en el sentido de la Convención.

La seguridad de las instalaciones nucleares es responsabilidad principal del titular de la correspondiente licencia del país de la UE en cuyo territorio se ha establecido la instalación.

Las competencias de Euratom en el ámbito de la Convención derivan de las disposiciones del Tratado Euratom (Capítulo 3, Título II) en materia de protección de la salud de la población y de los trabajadores frente a los peligros derivados de las radiaciones ionizantes, tal como lo ha confirmado el Tribunal de Justicia de la Unión Europea (Sentencia C-29/99).

La Convención tiene como objetivos:

- Alcanzar y mantener un alto nivel de seguridad nuclear a través de la mejora de las medidas nacionales y la cooperación técnica.
- Establecer y mantener, en las instalaciones nucleares, defensas eficaces contra los riesgos radiológicos con el fin de proteger a los seres vivos y al medio ambiente.
- Prevenir los accidentes nucleares y, en su caso, limitar sus consecuencias.

La Convención no establece normas detalladas de seguridad, pero representa un compromiso para aplicar los principios fundamentales de seguridad de las instalaciones.

La Convención se aplica a la seguridad de las centrales nucleares para usos civiles situadas en tierra, incluidas las instalaciones de almacenamiento, mantenimiento y tratamiento de los materiales radiactivos que se encuentran en el mismo emplazamiento y están directamente relacionadas con la explotación de la central.

Para garantizar la seguridad de las instalaciones, las Partes de la Convención se comprometen a aplicar un marco legislativo, reglamentario y administrativo que prevé: i) el establecimiento de requisitos y reglamentos adecuados de seguridad nacional; ii) un sistema de concesión de autorizaciones para las instalaciones nucleares y la prohibición de explotarlas sin autorización; iii) un sistema de inspección y evaluación. Antes de la construcción y entrada en funcionamiento de la instalación, y durante todo su periodo de explotación, se realizarán evaluaciones detalladas; y iv) medidas para hacer respetar los reglamentos y las condiciones de autorización.

Las Partes deberán crear un órgano independiente de regulación que otorgue las licencias y vele por la adecuada aplicación de los reglamentos. Las funciones de este órgano deben estar efectivamente separadas de las de cualquier otro órgano encargado del fomento o la utilización de la energía nuclear.

Los titulares de las licencias deben establecer políticas para priorizar la seguridad y diseñar un programa de garantía de la calidad que asegure el cumplimiento de los requisitos. También se deberán aplicar medidas de

emergencia que contengan planes para informar a las autoridades competentes, como por ejemplo los hospitales.

Cada Parte de la Convención deberá presentar a las demás Partes un informe sobre las medidas que haya adoptado para cumplir con sus obligaciones en virtud de la Convención. Los informes se someten a examen en el curso de las reuniones periódicas de las Partes.

En cuanto a la seguridad de las instalaciones, el órgano de regulación se encargará de conceder las autorizaciones para la explotación de las instalaciones nucleares. La Convención precisa determinados criterios de evaluación según las diferentes fases de vida de la instalación: la elección del emplazamiento, el diseño, la construcción y la explotación.

A la hora de elegir el emplazamiento, es preciso considerar, entre otras cosas, sus efectos sobre la seguridad de la instalación y los efectos de la instalación sobre las personas y el medio ambiente. También hay que consultar a las partes contratantes vecinas siempre que sea probable que resulten afectadas por dicha instalación.

En cuanto al diseño y la construcción, es preciso aplicar medidas de seguridad contra la liberación de materiales radiactivos y verificar las técnicas y equipos por medio de pruebas específicas o de la experiencia.

La autorización para explotar una instalación nuclear se basa en un análisis de seguridad y en un programa de entrada en servicio. La gestión de la instalación ha de ser conforme a los reglamentos adoptados por las autoridades nacionales. También hay que establecer programas de recogida y análisis de datos.

Cada instalación deberá contar con un plan de emergencia interna y externa, en caso de situación de emergencia radiológica, para garantizar la protección de los trabajadores, la población, el medio ambiente, etc.

Las reuniones entre las Partes se celebrarán como mínimo una vez cada tres años. La Comisión Europea representa a Euratom en estas reuniones en que las Partes informan acerca de las medidas adoptadas para cumplir con las obligaciones del Tratado. El Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) desempeña las funciones de secretaría para la Convención.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/71/Euratom del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares (DO L 172 de 2.7.2009, pp. 18-22).

**EMPRESA COMÚN EUROPEA PARA EL ITER Y EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA DE FUSIÓN NUCLEAR**

La energía de fusión nuclear es, junto con las energías renovables y la energía de fisión nuclear, una de las tres alternativas a los combustibles fósiles.

El proyecto Tokamak<sup>225</sup> JET<sup>226</sup> (*Joint European Torus*), puesto en marcha en 1978, contribuyó durante años a la investigación avanzada en el ámbito de la energía de fusión.

---

<sup>225</sup> El Tokamak o cámara toroidal con bobinas magnéticas, es un aparato cuyo objetivo es obtener la fusión de partículas de plasma, lo que generaría grandes cantidades de energía, para así conseguir la reacción nuclear de fusión de dos partículas ligeras en una partícula más estable de peso medio y producir una energía en relación con la equivalencia de Einstein:  $E = m \cdot c^2$ .

<sup>226</sup> El toro común europeo o tokamak europeo (JET, *Joint European Torus*, en inglés), ubicado en Culham (Reino Unido), constituye la mayor instalación de fusión nuclear del mundo y es la única capaz de operar con el combustible de los futuros reactores de fusión, el tritio. JET mantiene el récord mundial de potencia de fusión, con 16 MW.

Se ha puesto en marcha un experimento internacional a gran escala, conocido como reactor termonuclear experimental internacional<sup>227</sup> (ITER), para demostrar la viabilidad de la fusión nuclear como fuente de energía de la que la UE podría obtener un beneficio significativo, especialmente para conseguir la seguridad y la diversidad del abastecimiento de energía a largo plazo. La Unión Europea ha creado la Empresa Común para el ITER y el Desarrollo de la Energía de Fusión para gestionar la contribución de la UE al ITER. En noviembre de 2003, la UE propuso a Francia como país anfitrión del ITER y a la localidad de Cadarache como su sede.

**Decisión 2007/198/Euratom del Consejo, de 27 de marzo de 2007, por la que se establece la Empresa Común Europea para el ITER y el desarrollo de la energía de fusión y por la que se le confieren ventajas.**

Esta Decisión crea la Empresa Común para el ITER y el Desarrollo de la Energía de Fusión para un período de treinta y cinco años, a partir del 19 de abril de 2007. La Empresa Común tiene su sede en Barcelona (España).

Los miembros de la Empresa Común son la Comunidad Europea de la Energía Atómica (Euratom), representada por la Comisión Europea, los veintiocho países de la UE (1) y Suiza, que ha celebrado acuerdos de cooperación con Euratom en el campo de la fusión nuclear controlada.

---

<sup>227</sup> El Reactor Termonuclear Experimental Internacional (ITER, *International Thermonuclear Experimental Reactor*, en inglés), es un experimento científico a gran escala que intenta producir un plasma de fusión que tenga diez veces más potencia térmica que la potencia necesaria para calentar el plasma. Como sistema de reactor, el ITER será equivalente a un reactor de potencia cero (neto).<sup>3</sup> Los participantes en el diseño conceptual de actividades del ITER eligieron esta palabra para expresar sus esperanzas comunes en que el proyecto podría conducir al desarrollo de una nueva forma de energía. Es un proyecto de gran complejidad ideado en 1986 en la URSS (TOKAMAK), para demostrar la factibilidad científica y tecnológica de la fusión nuclear.

El objetivo es aportar la contribución de Euratom a la Organización Internacional de la Energía de Fusión ITER y a las actividades del «planteamiento más amplio» realizadas con Japón para la rápida consecución de la energía de fusión, así como preparar y coordinar un programa de actividades para preparar la construcción de un reactor de fusión de demostración y las instalaciones conexas, incluida la Instalación Internacional de Irradiación de Materiales<sup>228</sup> (*International Fusion Materials Irradiation Facility*).

Entre sus actividades, la Empresa Común tiene como funciones principales: i) supervisar la preparación del emplazamiento del Proyecto ITER; ii) aportar materiales y recursos económicos y humanos a la Organización ITER; iii) coordinar las actividades científicas y técnicas de investigación y desarrollo en materia de fusión; y iv) relacionarse con la Organización ITER.

La contribución de Euratom a la Empresa Común para el período 2014-20 está fijada en 2.915 millones de euros.

Los recursos financieros indicativos para la Empresa Común para el período 2007-2041 se calculan en 9.653 millones de euros, con una contribución de Euratom por valor de 7.649 millones de euros, de los cuales se destina un máximo del 15 % para gastos administrativos.

La Empresa Común tiene personalidad jurídica y dispone de un consejo de administración, formado por representantes de los miembros de la Empresa Común. A este le asisten: i) la Mesa; ii) el Comité de Administración y Gestión;

---

<sup>228</sup> La Instalación Internacional de Irradiación de Materiales es una instalación de pruebas para materiales candidatos para el prototipo de reactor de fusión nuclear DEMO (*Demonstration Power Plant*), proyecto que en torno al año 2030 sucederá al ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*).



iii) el Comité de Adquisición y Contratos; iv) el Grupo Consultivo Técnico; v) el Comité de Auditoría. El consejo es responsable de la supervisión de la Empresa Común en la ejecución de sus actividades; y vi) un director, encargado de representar a la Empresa Común y de la gestión cotidiana de la organización, incluida la firma de los contratos.

La responsabilidad contractual de la Empresa Común se rige por el contrato correspondiente y la legislación aplicable a este.

El Tribunal de Justicia de la Unión Europea es competente para estudiar los asuntos y recursos presentados contra la Empresa Común.

### **3.4.2. RESÍDUOS NUCLEARES Y COMBUSTIBLE NUCLEAR GASTADO**

#### **LOS RESIDUOS RADIATIVOS Y EL COMBUSTIBLE NUCLEAR GASTADO:**

##### **REGLAS DE SEGURIDAD**

**Directiva 2011/70/Euratom del Consejo, de 19 de julio de 2011, por la que se establece un marco comunitario para la gestión responsable y segura del combustible nuclear gastado y de los residuos radiactivos.**

Esta Directiva establece:

- Los principios rectores de las políticas nacionales de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado que proceden de actividades nucleares civiles.
- El ámbito de aplicación de los marcos legislativos, reglamentarios y organizativos nacionales.
- Las reglas sobre el almacenamiento definitivo.

La Directiva exige que las políticas nacionales de los países de la Unión Europea en materia de residuos radiactivos y combustible nuclear gastado se basen en los siguientes principios: i) se reducirán al mínimo posible las cantidades generadas; ii) todas las etapas de la generación y la gestión son interdependientes; iii) la seguridad es una prioridad; iv) los productores deben asumir todo el coste de los requisitos de seguridad; y v) deben documentarse todos los procesos decisorios.

Cada país de la UE es responsable de la gestión de sus residuos radiactivos y de su combustible nuclear gastado. Además, deben crear su propio marco legislativo, reglamentario y organizativo nacional para este tipo de materiales, que incluya: i) un programa nacional de gestión; ii) medidas de gestión de la seguridad; iii) un sistema de concesión de licencias para las actividades de gestión; iv) medidas de ejecución de los requisitos de seguridad; v) el reparto de las responsabilidades de las diferentes etapas de la gestión; vi) información y participación del público; y vii) una financiación adecuada.

El Programa nacional de gestión debe incluir información acerca de: i) los objetivos generales de las políticas con calendarios claros; ii) un inventario de todos los residuos radiactivos y el combustible nuclear gastado, y estimaciones relativas a las cantidades futuras; iii) los planes para la fase posterior al cierre de una instalación de almacenamiento; iv) el reparto de responsabilidades en la aplicación del programa; v) la evaluación de los costes de aplicación de un programa nacional; vi) uno o varios regímenes de financiación; vii) los acuerdos alcanzados con otros países (pertenecientes o no a la UE); y viii) una política de información transparente.

Por otro lado, la Autoridad reguladora debe funcionar de manera independiente de los productores y promotores de materiales radiactivos y energía nuclear.

Las empresas que manipulan residuos radiactivos deben solicitar una licencia para realizar esta actividad. Una vez obtenida, se convierten en los principales responsables de su gestión segura.

Para obtener una licencia, una empresa debe demostrar que puede:

- Crear, explotar y desmantelar de forma segura una instalación nuclear.
- Garantizar que la fase posterior al cierre de una instalación es segura.

Se realizarán revisiones periódicas cada diez años. Cada país deberá organizar autoevaluaciones y una revisión internacional inter pares de sus marcos nacionales, autoridades reguladoras o programas nacionales, a fin de garantizar que se alcancen altos niveles de seguridad.

Los residuos radiactivos deben almacenarse definitivamente en el país que los haya generado, excepto si se han celebrado acuerdos con otros países.

Si los residuos se trasladan a un país de fuera de la UE, la responsabilidad de su seguridad sigue correspondiendo al país de la UE que los haya generado.

Ese país debe comprobar que el país que recibe los residuos:

- Ha celebrado un acuerdo con la UE acerca de la correcta manipulación de los residuos radiactivos y del combustible nuclear gastado.
- Dispone de programas de gestión y almacenamiento definitivo que respetan los niveles de seguridad estipulados en la presente Directiva.
- Cuenta con instalaciones autorizadas en funcionamiento antes del traslado del material.

### 3.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA

#### **PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA UE**

La eficiencia energética es un componente clave de la política energética de la Unión Europea y una herramienta eficaz para combatir el cambio climático, reducir las facturas de energía y crear una menor dependencia de los proveedores externos.

Este plan forma parte de los objetivos 20-20-20 del paquete de energía y cambio climático 2020 de la UE. Los otros dos objetivos consisten en alcanzar, hasta 2020, una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero del 20 % en comparación con los niveles de 1990 y un 20 % de la energía de la UE procedente de fuentes renovables.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Plan de Eficiencia Energética 2011 [COM (2011) 109 final de 8.3.2011].**

Esta Comunicación define planes que fomenten una economía respetuosa con los recursos del planeta, aplica un sistema de bajas emisiones de carbono, aumenta la independencia energética de la UE y mejora la seguridad del abastecimiento energético.

Se debe consumir poca energía en el sector de la construcción, ya que este es responsable de casi el 40 % del consumo final de energía. El presente documento pone de relieve las maneras de mejorar la eficiencia energética en este sector, como la formación de arquitectos e ingenieros a través de la Agenda de nuevas cualificaciones y empleos y permitiendo que las empresas de

servicios energéticos den dinero a las administraciones públicas para reducir el consumo de energía.

Con respecto a la industria, este documento recomienda el uso de nuevos equipos e infraestructuras que cumplan con la Directiva del régimen de comercio de derechos de emisión y la Directiva relativa a emisiones industriales.

El presente documento propone reforzar la Directiva sobre diseño ecológico y definir medidas estrictas para aparatos domésticos como calentadores de agua u ordenadores. Mientras tanto, ayudar a los consumidores a comprender en qué consiste la etiqueta ecológica debería contribuir a fomentar los productos eficientes desde el punto de vista energético.

Este documento menciona los instrumentos financieros, como el programa Energía inteligente - Europa y el Programa Energético Europeo para la Recuperación como maneras para financiar la eficiencia energética. Sin embargo, en virtud de la Directiva sobre eficiencia energética, que se basó en el presente documento, la financiación de la eficiencia energética procede de regímenes de financiación como Horizonte 2020, el Fondo Europeo de Eficiencia Energética y los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2009/125/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía (DO L 285 de 31.10.2009, pp. 10-35).
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican

las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56).

## **TRATADO SOBRE LA CARTA DE LA ENERGÍA Y PROTOCOLO DE LA MISMA**

El Tratado sobre la Carta de la Energía es un marco multilateral para la cooperación en materia de energía diseñado para fomentar la seguridad energética mediante unos mercados de la energía más abiertos y competitivos, respetando los principios de desarrollo sostenible y la soberanía sobre los recursos energéticos, y basado en los principios de la Carta de la Energía.

La Decisión del Consejo y de la Comisión aprueba el Tratado sobre la Carta de la Energía y el Protocolo de la Carta de la Energía en nombre de la Comunidad Europea (UE) y Euratom.

**Decisión 98/181/CE, CECA y Euratom, del Consejo y de la Comisión, de 23 de septiembre de 1997, relativa a la conclusión, por parte de las Comunidades Europeas, del Tratado sobre la Carta de la Energía y el Protocolo de la Carta de la Energía sobre la eficacia energética y los aspectos medioambientales relacionados (DO L 69 de 9.3.1998, pp. 1-116).**

**Acta final de la Conferencia Internacional y Decisión de la Conferencia de la Carta de la Energía en relación con la enmienda de las disposiciones comerciales del Tratado sobre la Carta de la Energía - Declaraciones conjuntas - Anexo I: Enmiendas de las disposiciones comerciales del Tratado sobre la Carta de la Energía - Anexo II: Decisión en relación con la**

**adopción de la enmienda a las disposiciones relacionadas con el comercio del Tratado sobre la Carta de la Energía (DO L 252 de 12.9.1998, pp. 23-46).**

**Acta final de la Conferencia sobre la Carta Europea de la Energía - Anexo 1: El Tratado sobre la Carta de la Energía - Anexo 2: Decisiones con respecto al Tratado sobre la Carta de la Energía (DO L 380 de 31.12.1994, pp. 24-88).**

Las cláusulas más importantes del el Tratado sobre la Carta de la Energía se refieren a la protección de las inversiones, el comercio de materias y productos energéticos, el tránsito y la solución de controversias.

Las disposiciones del Tratado incluyen en cuanto a comercio, inversiones y protecciones los siguientes aspectos: i) fomentar el acceso a los mercados internacionales en términos comerciales y, en general, desarrollar un mercado abierto y competitivo de materias y productos energéticos; ii) proteger la inversión extranjera, sobre la base de un tratamiento que no sea menos favorable que el concedido por las mejores condiciones nacionales de inversión, y frente a riesgos no comerciales clave; iii) trabajar para disminuir las distorsiones y obstáculos del mercado a la competencia en las actividades económicas del sector energético; iv) garantizar unos flujos de tránsito energético transfronterizos fiables mediante oleoductos, redes y otras formas de transporte; v) reconocer la importancia de la apertura de los mercados de capitales para atraer capitales hacia la financiación del comercio de materias y productos energéticos e inversiones en actividades económicas en el sector de la energía; y vi) fomentar y crear unas condiciones estables, justas y transparentes para que los inversores de otras Partes realicen inversiones en el ámbito cubierto por el Tratado.

Por otro lado, el Tratado reconoce los derechos de soberanía de los países sobre los recursos energéticos y reafirma que estos deben ejercerse de conformidad con el Derecho Internacional, sin afectar al objetivo general de fomentar el acceso a los recursos energéticos, y su exploración y desarrollo comercial.

En cuanto a los aspectos medioambientales, las Partes del Tratado acuerdan fomentar la eficiencia energética, e intentan minimizar el impacto medioambiental de la producción y uso de la energía. El que contamine debe pagar, en principio, el coste de la contaminación, incluida la contaminación transfronteriza, sin distorsionar la inversión en el ciclo de la energía ni el comercio internacional.

Las Partes del Tratado deben designar uno o varios servicios de información al que se podrán dirigirse consultas sobre las leyes, reglamentos y resoluciones judiciales y administrativas de aplicación general en lo que se refiere a las materias y los productos energéticos.

El Tratado incluye disposiciones para resolver controversias entre los Estados participantes a través de canales diplomáticos y tribunales ad hoc, así como, en el caso de inversiones, entre inversores y Estados anfitriones. Si no se puede solucionar una controversia relativa a un inversor de forma amigable en un plazo de tres meses, los inversores pueden optar para su solución las siguientes actuaciones:

- Remitirlo ante los tribunales ordinarios o administrativos.
- Utilizar un procedimiento de solución de controversias previamente acordado.
- Mediante arbitraje o conciliación internacional.



Los signatarios del Tratado incluyen a países de la UE y a organizaciones regionales de integración económica comprometidos con el respeto de sus principios relativos a unos mercados de la energía abiertos y no discriminatorios.

Las Partes se reúnen periódicamente en la Conferencia sobre la Carta de la Energía en la cual cada una tendrá derecho a un representante. Las reuniones ordinarias se celebrarán con una periodicidad que determinará la Conferencia sobre la Carta.

Las Partes no deben realizar inversiones relacionadas con el comercio que contravengan lo dispuesto en el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio de 1994 (GATT<sup>229</sup>) que creó la OMC, y nada de lo dispuesto en el Tratado exime a los miembros de la OMC del Acuerdo.

El Tratado no impide a ningún signatario adoptar medidas necesarias para proteger la vida o la salud humanas, animales o vegetales: i) esenciales para la adquisición o distribución de materias y productos energéticos en situaciones de escasez motivadas por causas externas; y ii) destinadas a beneficiar a inversores, o a sus inversiones, que sean poblaciones aborígenes o individuos o grupos en inferioridad de condiciones económicas o sociales.

El Protocolo de la Carta de la Energía fue adoptado de conformidad con el Tratado. Sus objetivos incluyen: i) el fomento de principios de eficacia energética compatibles con el desarrollo sostenible; ii) la creación de condiciones que induzcan a los productores y consumidores a utilizar la energía de forma

---

<sup>229</sup> El Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, *General Agreement on Tariffs and Trade*, en inglés) se basa en las reuniones periódicas de los Estados miembros, en las que se realizan negociaciones tendientes a la reducción de aranceles, según el principio de reciprocidad. Las negociaciones se hacen miembro a miembro y producto a producto, mediante la presentación de peticiones acompañadas de las correspondientes ofertas.

económica, eficaz y ecológica; iii) el estímulo de la cooperación en el campo de la eficacia energética; y iv) establecer políticas de eficacia energética y marcos legales y reglamentarios para fomentar aspectos como el funcionamiento eficaz de los mecanismos de mercado, con inclusión de la determinación de precios basados en el mercado.

### **Carta Internacional de la Energía**

En 2015, más de sesenta y cinco países y organizaciones, incluida la UE y todos los países de la Unión, adoptaron y firmaron una nueva Carta Internacional de la Energía. El objetivo de esta nueva Carta de la Energía es implicar al mayor número posible de países que deseen cooperar en el ámbito de la energía y que reconozcan la importancia de la seguridad energética para los países que participan en la producción, el tránsito y el consumo de la energía.

### **Documentos Conexos:**

- Conferencia sobre la Carta de la Energía - Normas relativas a los procedimientos de conciliación aplicables a las controversias sobre cuestiones de tránsito (DO L 11 de 16.1.1999, pp. 39-44).
- Decisión 2001/595/CE del Consejo, de 13 de julio de 2001, relativa a la aprobación por la Comunidad Europea de la enmienda a las disposiciones comerciales del Tratado sobre la Carta de la Energía (DO L 209 de 2.8.2001, pp. 32).
- Decisión 1999/37/CE del Consejo, de 26 de noviembre de 1998, sobre la posición que deberá adoptar la Comunidad Europea en relación con las normas que aprobará la Conferencia sobre la Carta de la Energía en relación

con los procedimientos de conciliación en controversias sobre tránsitos (DO L 11 de 16.1.1999, pp. 37-38).

## **LA EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56) y sus modificaciones.**

**Directiva (UE) 2018/2002 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 11 de diciembre de 2018, por la que se modifica la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética (DO L 328 de 21.12.2018, pp. 210-230).**

El objetivo de la Directiva 2012/27/UE, junto con su modificación, es adaptar la legislación de la Unión Europea en materia de energía a los objetivos de eficiencia energética y clima para 2030 y contribuir a la Estrategia de la Unión de la Energía con el fin de: i) reducir la dependencia de la UE con respecto a las importaciones de energía; ii) disminuir las emisiones; iii) estimular el empleo y el crecimiento; iv) reforzar los derechos de los consumidores; y v) atenuar la pobreza energética.

Además de mejorar la eficiencia energética en un 20 % para 2020 con respecto a los niveles de 1990 incluyendo la obligación de que todos los países de la UE fijasen objetivos nacionales de eficiencia energética para lograrlo, fomenta la eficiencia energética a nivel de la UE a través de un marco común de medidas

que cubre todas las fases de la cadena de la energía, desde la generación hasta la distribución y el consumo final.

Esta Directiva, modificada por la Directiva (UE) 2018/2002, junto con la Directiva sobre energía renovable y un nuevo Reglamento sobre la Gobernanza, forman parte del paquete Energía limpia para todos los europeos.

Entre las principales modificaciones a la Directiva de 2012, se encuentran: i) la consecución de un objetivo de eficiencia energética del 32,5 % para 2030 y la planificación de mejoras ulteriores más allá de dicha fecha; ii) la eliminación de obstáculos en el mercado de la energía que dificultan la eficiencia en el abastecimiento y el uso de la energía; iii) el establecimiento, por parte de los países de la UE, de sus propias contribuciones nacionales para 2020 y 2030; iv) a partir de 2020, los países de la UE exigirán a las empresas de servicios públicos que ayuden a sus clientes a utilizar un 0,8 % menos de energía al año, excepto Malta y Chipre con un 0,24 %, lo que atraerá inversión privada y propiciará la participación de nuevos competidores en el mercado; v) normas más claras sobre la medición y la facturación de la energía, reforzando los derechos de los consumidores, en particular de las personas que residen en edificios de apartamentos; vi) los países de la UE deben disponer de normas nacionales transparentes y a disposición del público relativas al reparto de los costes de los servicios de calefacción, refrigeración y agua caliente en edificios de apartamentos y edificios polivalentes donde se compartan estos servicios; y vii) el refuerzo de los aspectos sociales de la eficiencia energética teniendo en cuenta la pobreza energética en el diseño de los programas de eficiencia energética y las medidas alternativas.

**Documentos Conexos:**

- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Energía limpia para todos los europeos [COM (2016) 860 final de 30.11.2016].
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo, al Comité de las Regiones y al Banco Europeo de Inversiones: Estrategia Marco para una Unión de la Energía resiliente con una política climática prospectiva [COM (2015) 80 final de 25.2.2015].
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: Aplicación de la Directiva de eficiencia energética — Orientaciones de la Comisión [COM (2013) 762 final de 6.11.2013].

### **CALDERAS DE AGUA CALIENTE EFICIENTES Y SEGURAS**

Las calderas de agua caliente están sujetas a los requisitos de diseño ecológico de la Unión Europea.

**Directiva 92/42/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos y sus modificaciones.**

La presente Directiva establece los requisitos de eficiencia energética para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas con combustibles líquidos o gaseosos.

Esta Directiva se aplica a las calderas con una potencia nominal igual o superior a 4 kW e igual o inferior a 400 kW, es decir: i) calderas estándar; ii) calderas de baja temperatura; y iii) calderas de gas de condensación.

Se excluyen del ámbito de aplicación: i) las calderas de agua caliente alimentadas con diferentes combustibles entre los cuales haya combustibles sólidos; ii) los equipos de preparación instantánea de agua caliente sanitaria; iii) las calderas diseñadas para ser alimentadas con combustibles distintos de los combustibles líquidos y gaseosos que se comercializan normalmente; iv) las cocinas y los aparatos diseñados para calentar principalmente el local en el que están instalados y que suministran igualmente, pero con carácter accesorio, agua caliente para uso sanitario; v) los aparatos con una potencia útil inferior a 6 kW diseñados únicamente para la alimentación de un sistema de acumulación de agua caliente sanitaria de circulación por gravedad; vi) las calderas producidas por unidades, esto es, fabricadas una única vez y, por tanto, que no forman parte de una serie; y vii) las unidades de cogeneración<sup>230</sup> (Directiva 2004/8/CE).

Toda caldera fabricada de conformidad con las normas europeas armonizadas debe ajustarse a los requisitos esenciales estipulados en la Directiva. Antes de adjudicar el marcado de conformidad «CE», se realiza una evaluación que corresponde a:

- Los organismos que designen los países de la UE según unos criterios mínimos de evaluación, y que son notificados a la Comisión y a los demás países de la UE.
- Los propios fabricantes.

La Directiva ha devenido una medida de ejecución de la Directiva Marco 2009/125/CE sobre el diseño ecológico, que establece los requisitos de

---

<sup>230</sup> Cogeneración es la producción simultánea de electricidad y calor para el aprovechamiento de ambos.

eficiencia para grupos de productos individuales. Esta última suprime la posibilidad para los países de la UE de aplicar un sistema específico de etiquetas a las calderas que presentan rendimientos superiores a las calderas estándar. Los sectores de la industria también pueden alcanzar acuerdos voluntarios para reducir el consumo de energía de sus productos. La Comisión aprueba formalmente esos acuerdos y comprueba su aplicación.

La Directiva relativa a la eficiencia energética en la UE fija objetivos obligatorios para los países de la UE, de forma que se logre un objetivo de eficiencia energética del 20 % de aquí a 2020. En el marco de esta política, en 2013 se publicó una serie de reglamentos de eficiencia energética para calderas, que establecía los estándares mínimos y un sistema de etiquetado de la energía.

El Reglamento (UE) nº 813/2013, que modifica la Directiva 92/42/CEE, establece los requisitos de diseño ecológico aplicables a los aparatos de calefacción<sup>231</sup> y a los calefactores combinados<sup>232</sup> que no utilizan biomasa y que tienen una potencia calorífica nominal inferior a 400 kW.

#### **Documentos Conexos:**

- Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios (DO L 153 de 18.6.2010, pp. 13-35).
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican

---

<sup>231</sup> Aparato de calefacción es un dispositivo, equipado con uno o varios generadores de calor, que suministra calor a un sistema central de calefacción a base de agua para mantener un nivel de temperatura determinado en el interior de un espacio cerrado.

<sup>232</sup> Calefactor combinado es un aparato de calefacción diseñado para suministrar igualmente agua caliente potable o sanitaria y que está conectado a un suministro externo de agua potable o sanitaria.

las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (DO L 315 de 14.11.2012, pp. 1-56).

**EFICIENCIA ENERGÉTICA: AYUDANDO A REDUCIR LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO Y A MEJORAR LA SEGURIDAD ENERGÉTICA**

La Directiva de eficiencia energética de la UE introduce medidas vinculantes para conseguir una mejora del 20 % de la eficiencia energética hasta 2020. Este objetivo forma parte de los objetivos más ambiciosos en materia de clima y energía de la UE, que incluyen una reducción del 20 % de las emisiones de gases de efecto invernadero y una cuota de energías renovables del 20 % en la combinación energética de la UE.

El 22 de enero de 2014, en su Comunicación «Un marco para las políticas de clima y energía para el período 2020-2030», la CE propuso nuevos objetivos para la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y las energías renovables para 2030; un 40 % y al menos un 27 %, respectivamente.

La Comisión Europea establece un objetivo de ahorro de energía para la Unión Europea del 30 % para 2030. La eficiencia energética desempeña un papel esencial en la transición hacia un sistema energético más competitivo, seguro y sostenible, centrado en el mercado interior de la energía de la UE.

**Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo: La eficiencia energética y su contribución a la seguridad de la energía y al marco 2030 para las políticas en materia de clima y energía [COM (2014) 520 final de 23.7.2014].**



La presente Comunicación evalúa los avances respecto al objetivo de la UE para 2020 en materia de eficiencia energética y propone un nuevo objetivo del 30 % para 2030. Según la Comisión, el objetivo acordado de un ahorro energético del 20 % para 2020 sigue siendo posible siempre y cuando todos los países de la UE apliquen la legislación que ya está aprobada.

Entre los beneficios de las políticas existentes destacan:

- La intensidad energética de la industria de la UE se redujo en casi un 19 % entre 2001 y 2011.
- En la actualidad, los edificios nuevos consumen la mitad de lo que consumían los edificios de la década de los 80.
- Los países de la UE se han comprometido a desplegar cerca de 200 millones de contadores inteligentes de electricidad y 45 millones de gas hasta 2020. Estos contadores registran el consumo energético a intervalos regulares durante el día y permiten que los consumidores adapten el uso de energía a lo largo del día a los distintos precios y, con ello, ahorren dinero en sus facturas de energía.
- Se espera que los aparatos más eficientes, como neveras y lavadoras, supongan un ahorro de 100 000 millones de euros anuales, de aquí a 2020, en las facturas de energía de los consumidores, lo que equivale a unos 465 euros por hogar.

En cuanto a los beneficios a largo plazo se prevén las siguientes repercusiones positivas para los próximos dieciséis años:

- Se espera que las importaciones de gas de la UE se reduzcan un 2,6 % por cada 1 % adicional de ahorro de energía. Esto significa una menor dependencia de los proveedores externos.
- Los edificios más eficientes energéticamente ofrecerán beneficios adicionales a las personas que vivan y trabajen en ellos además de reducir sus facturas de energía.
- Las políticas de eficiencia energética crearán nuevas oportunidades para las empresas europeas, tales como las empresas de construcción y los fabricantes de equipos, lo cual generará nuevos puestos de trabajo en el ámbito local.

La UE pondrá a disposición fondos sustanciales para las medidas de eficiencia energética del período 2014-2020 a través de los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos<sup>233</sup>, el programa Horizonte 2020<sup>234</sup>, el programa ELENA<sup>235</sup> y el Fondo Europeo de Eficiencia Energética (FEEE<sup>236</sup>).

---

<sup>233</sup> Los Fondos Estructurales y de Inversión Europeos son unos fondos del ámbito de la Unión Europea que funcionan de modo conjunto a fin de apoyar la cohesión económica, social y territorial. En la actualidad son cinco los fondos estructurales: FEADER, FEMP, FEDER, FSE y FC. Los tres últimos son los fondos directamente relacionados con la Política de Cohesión, mientras que el FEADER está directamente relacionado con la Política Agraria Común y el FEMP con la Política Pesquera Común.

<sup>234</sup> El Programa Horizonte 2020 es el programa que financia proyectos de investigación e innovación de diversas áreas temáticas en el contexto europeo, contando con casi 80.000M€ para el periodo 2014-2020. Investigadores, empresas, centros tecnológicos y entidades públicas tienen cabida en este programa.

<sup>235</sup> El instrumento ELENA (*European Local ENergy Assistance*, en inglés), fue financiado a través del programa Energía Inteligente para Europa con el fin de facilitar la movilización de fondos y atraer financiación para inversiones en energía sostenible a nivel local por la Comisión Europea y el Banco Europeo de Inversiones (BEI). Se trata de un instrumento que proporciona asistencia técnica a entes locales para el desarrollo de programas de inversión en eficiencia energética y energías renovables en el ámbito local, otorgando subvenciones para la preparación de estos programas.

<sup>236</sup> El Fondo Europeo de Eficiencia Energética (FEEE) tiene como misión apoyar los objetivos de la Unión Europea en promover un mercado sostenible de energía y de protección del clima.

**Documentos Conexos:**

- Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (Diario Oficial L 315 de 14.11.2012, p. 1-56).
- Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones: Marco estratégico en materia de clima y energía para el período 2020-2030 [COM (2014) 15 final de 22.1.2014].



# APÉNDICE A2

## NUEVAS TECNOLOGÍAS RENOVABLES

### TENOLOGÍAS RENOVABLES

La tecnología renovable, ambiental, verde o limpia es aquella que se utiliza sin dañar el medio ambiente y frenar los impactos negativos de la acción del hombre.

Como resumen, se puede decir que las tecnologías hidráulica, eólica y biomasa han alcanzado un nivel en el que no se esperan cambios importantes ni en su coste de desarrollo ni en sus características tecnológicas, mientras que en tecnología solar tanto fotovoltaica como térmica siguen en un proceso de desarrollo y mejora, en el resto de tecnologías renovables aún continúa en fase experimental y de investigación y desarrollo, si bien se van integrando lentamente en la actividad energética con muy buenos resultados.

A continuación, se han expuesto las últimas tecnologías por cada sector energético.

#### 1. ENERGÍA SOLAR

Las nuevas tecnologías en energía solar son las siguientes:

- **Nanopartículas sensibles a la luz:** Recientemente, un grupo de científicos de la Universidad de Toronto reveló un nuevo tipo de nanopartículas

sensibles a la luz llamadas puntos cuánticos coloidales<sup>237</sup>, que muchos creen que ofrecerán un material menos costoso y más flexible para las células solares. Los nuevos materiales utilizan semiconductores de tipo n<sup>238</sup> y tipo p<sup>239</sup>, pero en realidad pueden funcionar al aire libre. Este es un descubrimiento único ya que los diseños anteriores no eran capaces de funcionar al aire libre y, por lo tanto, no eran prácticos para el mercado solar. Los investigadores de la Universidad de Toronto descubrieron que los materiales de tipo n se unen al oxígeno, esto quiere decir que los nuevos puntos cuánticos coloidales no se unen al aire y, por lo tanto, pueden mantener su estabilidad en el exterior, ayudando a aumentar la absorción de luz radiante.

Por otro lado, se encontró que los paneles que utilizan esta nueva tecnología son hasta un 8 % más eficientes al convertir la luz solar, lo que implicaría, aproximadamente, un 23 % de eficiencia.

- **Arseniuro de galio:** Investigadores del Imperial College de Londres estiman que el arseniuro de galio podría hacer que los sistemas solares fotovoltaicos

---

<sup>237</sup> Los puntos cuánticos coloidales (CQD, en inglés) son partículas o cristales semiconductores extremadamente pequeños, solamente de unos pocos nanómetros de tamaño, y que poseen unas propiedades ópticas y electrónicas únicas. Son excelentes absorbedores y emisores de luz, y sus propiedades cambian en función de su tamaño y forma: los puntos cuánticos más pequeños emiten en el rango azul mientras que los más grandes lo hacen en rojo.

<sup>238</sup> Los semiconductores tipo N son aquellos a los que se le agregan impurezas dadoras (que donan un electrón). Estas impurezas suelen tener cinco electrones. De estos cinco electrones cuatro formarían una unión con los átomos vecinos y uno quedaría libre. De esta forma este material contiene un mayor número de electrones libres comparados con los huecos libres. Este material es de tipo N debido a que la conducción eléctrica se produce debido a su gran número de electrones (portadores mayoritarios) de polaridad negativa.

<sup>239</sup> Se les llama semiconductores de tipo P a los semiconductores contaminados con impurezas receptoras. Las impurezas receptoras son aquellas que agregan un hueco en el material. Estas son impurezas con tres electrones en su órbita de valencia. Al tener solo tres electrones queda una unión incompleta dejando un hueco para que un electrón libre pueda tomar ese lugar. Este material es de tipo P debido a que la conducción eléctrica se produce debido a su gran número de huecos (portadores mayoritarios). Comparados con los electrones los huecos tienen polaridad positiva.

En ambos casos la conducción se hace por medio de los electrones, pero se puede decir que en el material tipo P la conducción se produce por el movimiento de huecos ya que los electrones se desprenden de una unión dejando un hueco para pasar a otro. El material semiconductor (silicio o germanio) tiene cuatro electrones en su última órbita. Con fines electrónicos se contamina estos materiales con impurezas del tipo N electrones y tipo P protones.

sean casi tres veces más eficientes que los productos existentes en el mercado. Las células solares se denominan "células de triple unión" y son mucho más eficientes, ya que pueden modificarse químicamente de una manera que optimiza la captura de luz solar. El modelo utiliza una persiana de ventana accionada por sensores que pueden rastrear la luz solar junto con "tubos de luz" que guían la luz.

- **Diseleniuro de tungsteno:** Investigadores de la Universidad de Illinois en Chicago (UIC), han diseñado una célula solar que convierte de forma barata y eficiente el dióxido de carbono atmosférico directamente en combustible de hidrocarburo utilizable, sólo gracias a la luz del sol. A diferencia de las células solares convencionales, que convierten la luz solar en electricidad que debe almacenarse en baterías pesadas, el nuevo dispositivo hace esencialmente el trabajo de las plantas, es decir, convertir dióxido de carbono atmosférico en combustible, solucionando dos problemas cruciales a la vez, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la obtención de combustible de alta densidad energética de manera eficiente. El autor principal del estudio, Amin Salehi-Khojin, profesor de Ingeniería Mecánica e Industrial en la UIC<sup>240</sup>, la denomina como la nueva célula solar fotovoltaica fotosintética. Se centraron en una familia de compuestos nanoestructurados llamados dicalcogenuros de metales de transición<sup>241</sup> (TMDCs) como catalizadores, vinculándolos con un líquido iónico no convencional como electrolito dentro de uno de dos compartimentos de una célula electroquímica de tres electrodos. El mejor de varios catalizadores

---

<sup>240</sup> *University of Illinois at Chicago*

<sup>241</sup> Los TMD tienen una brecha de energía que permite controlar el flujo de electrones, para que la corriente se encienda y se apague. Esta brecha hace a los TMDs ideales para su uso en transistores. Los TMDs también son muy buenos absorbentes de luz circularmente polarizada, por lo que podrían ser utilizados en detectores.

estudiados resultó ser el diseleniuro de tungsteno<sup>242</sup>, siendo más activo y más capaz de romper los enlaces químicos del dióxido de carbono. De hecho, el nuevo catalizador es mil veces más rápido que los catalizadores de metales nobles y alrededor de 20 veces más barato. La hoja artificial de la UIC se compone de dos células fotovoltaicas de silicio de triple unión de 18 centímetros cuadrados para recoger la luz; un sistema de co-catalizador de diseleniuro de tungsteno y líquido iónico en el lado del cátodo<sup>243</sup> y óxido de cobalto en el electrolito de fosfato de potasio en el lado del ánodo<sup>244</sup>. Cuando la luz de cien vatios por metro cuadrado da energía a la célula, el hidrógeno y el monóxido de carbono borbotean desde el cátodo, mientras que se producen iones de oxígeno e hidrógeno libres en el ánodo.

Científicos de la Universidad Tecnológica de Viena han creado unas capas ultrafinas de tungsteno y selenio que pueden utilizarse como células solares flexibles, convirtiéndolas así en las placas más finas del mundo.

El grafeno<sup>245</sup> está compuesto de una capa que tiene el espesor de un átomo de carbono, y presenta unas cualidades electrónicas muy especiales, ya que puede soportar tensiones mecánicas extremas y tiene grandes propiedades

---

<sup>242</sup> El diseleniuro de tungsteno es un compuesto inorgánico con la fórmula  $WSe_2$ .

<sup>243</sup> Un cátodo es un electrodo que sufre una reacción de reducción, mediante la cual un material reduce su estado de oxidación al recibir electrones. La polaridad del cátodo, positiva o negativa, depende del tipo de dispositivo. A veces la condiciona el modo de operación, pues se establece según la dirección de la corriente eléctrica, atendiendo la definición universal de corriente eléctrica. En consecuencia, en un dispositivo que consume energía el cátodo es negativo, y en un dispositivo que proporciona energía, como una pila voltaica el cátodo es positivo.

<sup>244</sup> El ánodo es un electrodo en el que se produce una reacción de oxidación, mediante la cual un material, al perder electrones, incrementa su estado de oxidación. Faraday utilizó por primera vez el término, con el significado de «camino ascendente» o «de jugar o entrada», pero referido exclusivamente al electrolito de una celda electroquímica. En consecuencia, en un dispositivo que consume energía el ánodo es positivo, y en un dispositivo que proporciona energía, como una pila voltaica el ánodo es negativo.

<sup>245</sup> El grafeno es una sustancia compuesta por carbono puro, con átomos organizados en un patrón regular hexagonal, parecido al grafito. Es un material casi transparente. Una lámina de un átomo de espesor es unas 200 veces más resistente que el acero actual más fuerte, siendo su densidad más o menos la misma que la de la fibra de carbono, y unas cinco veces más ligero que el aluminio.



optoelectrónicas. Así pues, centrándose en el wolframio o tungsteno y en el selenio, los investigadores lograron crear un diodo de diseleniuro de tungsteno que absorbe la luz al igual que el grafeno, pero cuya luz puede utilizarse para crear energía eléctrica. El material resultante forma una capa tan delgada que el 95 % de la luz pasa a través de ella, pero de ese 5 % restante, una décima parte es absorbida por el material y convertida en energía eléctrica. Teniendo en cuenta que las células solares estándar están compuestas, principalmente, de silicio y son bastante voluminosas y poco flexibles, este material tiene visos de convertirse en imprescindible, tal y como ha sucedido con el grafeno.

El almacenaje de la energía producida por los sistemas solares fotovoltaicos es otra cuestión importante en el análisis. La electricidad una vez que se genera mediante un sistema fotovoltaico solar o cualquier tipo de fuente de combustible, entra en la red y debe usarse de inmediato o perderse, debido a que la mayoría de los sistemas fotovoltaicos solares solo están cumpliendo con las demandas eléctricas durante una parte del día, perdiéndose la electricidad no utilizada. Para ello, existe una cantidad de baterías en el mercado que pueden almacenar esta energía, pero incluso las de alta tecnología son bastante ineficientes, caras y tienen una vida útil corta, por lo que no son las opciones adecuadas para las empresas de servicios públicos y los consumidores. Por ello, los científicos están explorando diferentes maneras de almacenar esta electricidad para poder utilizarla según las necesidades de los consumidores.

Se destacan dos nuevos tipos de almacenamiento:

- **Tecnología de almacenamiento de sal fundida:** La empresa *Novatec Solar* encargó una solución prometedora de almacenamiento de energía para sistemas fotovoltaicos solares utilizando una tecnología de almacenamiento de sal fundida. El proceso utiliza sales inorgánicas<sup>246</sup> para transferir la energía generada por los sistemas de energía solar fotovoltaica a la energía solar térmica utilizando un fluido de transferencia de calor en lugar de aceites. El resultado es que las plantas solares podrían llegar a operar a temperaturas de más de 500 °C, lo que daría lugar a una producción de energía mucho mayor, significando que los costes de almacenamiento de energía solar se reducirían significativamente y las empresas de servicios públicos podrían utilizar las plantas de energía solar como plantas de carga en lugar de satisfacer la demanda máxima durante las horas de mayor luz del día.
- **Panel solar con batería incorporada:** En un proyecto financiado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos, investigadores de la Universidad del Estado de Ohio anunciaron recientemente la creación de una batería un 20 % más eficiente y un 25 % más barata que cualquier otra en el mercado actual. El secreto del diseño es que la batería es recargable y está integrada en el propio panel solar, en lugar de funcionar como dos sistemas independientes.

---

<sup>246</sup> Principales sales inorgánicas: Cloruro de sodio – NaCl (sal de mesa), Carbonato de sodio – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Bicarbonato de sodio – NaHCO<sub>3</sub> (carbonato ácido de sodio), Carbonato cálcico – CaCO<sub>3</sub>, Nitrato de sodio – NaNO<sub>3</sub> o Sulfato de calcio – CaSO<sub>4</sub>.

El proceso de fabricación de las células solares ha encarecido el coste de la tecnología solar fotovoltaica, comparada con la tecnología de combustibles fósiles.

Los científicos se centran en formas de mejorar la eficiencia en la fabricación de los componentes solares, utilizando:

- **Cloruro de magnesio:** Más del 90 % de los paneles solares en el mercado actual están compuestos por semiconductores de silicio, sin embargo, se ha investigado una tecnología de película delgada que utiliza revestimientos estrechos de telururo de cadmio<sup>247</sup> y una capa de semiconductor diseñada para absorber y convertir la luz solar en electricidad. Un obstáculo importante para las células de película delgada de telururo de cadmio es que se vuelven altamente inestables durante el proceso de fabricación, que actualmente utiliza cloruro de cadmio. Los investigadores han ideado una forma nueva, segura y de bajo coste aparente para superar este obstáculo mediante el uso de un material llamado cloruro de magnesio en reemplazo del cloruro de cadmio. El cloruro de magnesio se recupera del agua de mar, un recurso abundante, que hace que el recurso sea muy económico, no siendo tóxico, aumentando la eficiencia de estas células solares entre un 2 y 15 %.
- **Células solares biohíbridas:** Una célula solar biohíbrida es una célula solar fabricada con una combinación de materia orgánica y materia inorgánica. Las capas múltiples del fotosistema reúnen energía fotónica, la convierten en energía química y crean una corriente que atraviesa la célula. La célula

---

<sup>247</sup> El telururo de cadmio es compuesto cristalino formado por cadmio y telurio. Se utiliza como ventana óptica de infrarrojos y como material de célula solar. Por lo general se intercala con sulfuro de cadmio para formar una célula fotovoltaica de unión pn. Normalmente, las células de CdTe utilizan una estructura n-i-p.

biohíbrida todavía está en fase de investigación. La mayor ventaja que tiene la célula solar biohíbrida es la forma en que convierte la energía solar en electricidad con una eficiencia de casi el 100% en comparación con solo un 40 % de eficiencia para las células solares tradicionales, el coste es mucho menor para producir células biohíbridas porque extraer la proteína de las espinacas y otras plantas es más barato en comparación con el coste de los metales necesarios para producir otras células solares, sin embargo, la vida útil de las células solares biohíbridas es muy corta, y dura desde unas pocas semanas hasta unos nueve meses, lo que resulta un problema, en comparación con las células solares actuales que pueden durar mucho más tiempo.

- **Células solares plasmónicas:** Una célula solar plasmónica (PSC) es una clase de dispositivo fotovoltaico que convierte la luz en electricidad mediante el uso de plasmones<sup>248</sup> que mejoran la absorción al dispersar la luz utilizando nanopartículas de metal excitadas. Los PSC son un tipo de célula solar de película fina, que suele tener entre 1 y 2 micrómetros ( $\mu\text{m}$ ) de espesor. Un método que se ha explorado en los últimos años es dispersar la luz utilizando nanopartículas de metales excitadas por su resonancia de plasmón superficial, lo que permite que la luz se absorba de forma más directa y sin la capa adicional gruesa requerida en otros tipos de células solares de película delgada. Esta tecnología está en fase experimental, aunque presenta ventajas como: i) Aumento de la eficiencia, ii) Combinación con otras

---

<sup>248</sup> En física, un plasmón es un cuanto de oscilación del plasma. El plasmón es la cuasipartícula resultado de la cuantización de las oscilaciones del plasma, de la misma forma que un fotón o un fonón son cuantizaciones de ondas electromagnéticas y mecánicas. Por tanto, los plasmones son oscilaciones de la densidad del gas de Fermi (gas de electrones libres), usualmente a frecuencias ópticas.

tecnologías y iii) Pueden usar sustratos más baratos que los de silicio, como vidrio, plástico o acero.

Los investigadores también están explorando una serie de aplicaciones solares no convencionales que podrían transformar la industria, destacando:

- **Carreteras solares:** Los científicos están explorando formas de alinear carreteras con paneles solares que luego se usarían para desplegar grandes cantidades de electricidad a la red. Esto ayudaría a superar una barrera importante para la energía solar a escala industrial. Las carreteras solares ya han aparecido en los Países Bajos.
- **Planta solar flotante:** Se trata de instalar plantas solares en el agua, ampliando así la superficie de instalación. Algunas compañías tienen proyectos establecidos en Francia, Japón e Inglaterra, y proyectos piloto en India y California.
- **Planta solar espacial:** Los científicos están resucitando una tecnología que se probó por primera vez hace más de cuarenta años, en la que los satélites espaciales capturan la luz solar y la convierten en energía de microondas que se transmite a la Tierra. Este tipo de tecnología promete capturar una mayor cantidad de luz solar, del orden del 90%, ya que los satélites se pueden posicionar para optimizar la captura de luz durante todo el día. Países como India, China y Japón están invirtiendo fuertemente en esta tecnología.

En cuanto a las innovaciones aplicadas en tecnología solar fotovoltaica, los avances en la última década han hecho posibles muchas más aplicaciones de menor escala para la vida cotidiana, como mejoras en el diseño y la configuración, el almacenamiento de energía, la eficiencia y el tamaño de la

batería. A continuación, se presentan innovaciones de bajo coste en los que la energía solar se utiliza para mejorar la calidad de vida:

- **Luces exteriores:** Como las farolas alimentadas con energía solar, donde el sol carga las baterías durante el día, que luego alimenta los diodos emisores de luz (LED) por la noche para iluminar las calles. En la actualidad se están incorporando sensores inteligentes en las luces exteriores que pueden dirigir a los conductores a abrir espacios de estacionamiento y ayudarlos a responder en situaciones de emergencia. La combinación de sensores conectados a Internet con farolas que funcionan con energía solar ahorra tiempo y dinero.
- **Refrigeradores para vacunas y trasplantes:** En los países en vías de desarrollo, la electricidad durante las 24 horas del día no está garantizada y, en muchos casos, no existe una red eléctrica, por ello, algunas compañías privadas han fabricado refrigeradores para este fin con energía solar para que los trabajadores de la salud en áreas remotas puedan administrar medicamentos críticos a quienes los necesitan. Esta solución tecnológica ha estado salvando vidas durante más de cuatro décadas.
- **Hornos solares:** Llamados cocinas solares, reflejan la energía del sol para cocinar los alimentos. Pueden ser estructuras parabólicas o cuadradas revestidas con un material reflectante que dirige los rayos hacia la caja, donde calienta los alimentos de manera uniforme. La tapa en la parte superior suele estar fabricada de vidrio para enfocar mejor los rayos del sol, utilizándose en países en vías de desarrollo. Reduce la contaminación del aire que resulta de la quema de combustible.

- **Cargador de telefonía móvil:** Los cargadores de teléfonos móviles tipo USB pueden cargar un teléfono casi por completo después de solo unas horas de exposición a la luz solar ultravioleta. Estos paneles solares portátiles tienen aproximadamente el tamaño de una tablet y pueden cargar rastreadores de GPS, tablets e incluso ordenadores portátiles. Se puede recolectar energía solar al aire libre.
- **Pintura solar:** En lugar de construir celdas solares de silicio típicas, los polímeros disueltos en un solvente crean una pintura o recubrimiento que se puede aplicar a cualquier tipo de superficie. Es barato y versátil. A diferencia de los paneles solares fotovoltaicos voluminosos, la pintura solar utiliza nanopartículas de película delgada en lugar de silicio como conductor solar. Cuando se aplican a los lados de las estructuras que miran hacia el sol, las células solares delgadas generan una energía limpia y verde.
- **Mochila solar:** Los paneles solares de película delgada adheridos al exterior de las mochilas brindan hasta, aproximadamente, cuatro vatios de potencia, suficiente para cargar teléfonos, cámaras y otros dispositivos electrónicos. Estas células solares exteriores pueden acoplarse a maletines y bolsos.
- **Tienda de campaña solar:** Las carpas con energía solar son, en esencia, versiones más grandes de las mochilas con energía solar, que tienen celdas fotovoltaicas incrustadas que almacenan la energía solar durante el día, usándose durante la noche para iluminar la carpa y para cargar o alimentar dispositivos y pequeños electrodomésticos, incluidos los calentadores.
- **Candado solar de bicicleta:** El *Ellipse Skylock* es el primer candado de bicicleta con energía solar del mundo. Funciona con un panel solar incorporado que proporciona suficiente energía para una semana después

de solo hora de carga. El *Skylock* se conecta de forma inalámbrica al teléfono del conductor para proporcionar entrada sin llave.

- **Tejido solar:** El tejido solar es una aplicación de tecnología solar con una amplia gama de aplicaciones. Las células solares se tejen en fibras textiles y generan electricidad solar de manera conveniente. La empresa *FTL Solar*, ha lanzado una tienda de campaña para proporcionar refugio y electricidad, en operaciones militares, de rescate, de socorro en casos de desastre, opciones recreativas, unidades médicas e incluso viviendas temporales. En cualquier lugar donde se necesite energía solar conveniente y flexible, el tejido solar es muy adecuado.
- **Tejado solar:** Un tejado solar es un conjunto de tejas solares conectadas entre sí que cumplen un doble propósito: i) protección de las inclemencias meteorológicas y ii) generar energía eléctrica gracias a unas placas solares acopladas en las mismas tejas. La teja solar está compuesta por una estrecha lámina de aluminio. Está fabricada con Acrilonitrilo estireno acrilato<sup>249</sup> (ASA) y en la que la célula fotovoltaica, incorporada encima de la teja; va unida a través de grapas o *clips*. Estos módulos solares van conectados al inversor de la misma manera que una placa solar convencional y se puede montar en cualquier superficie.
- **Células solares impresas o tinta solar:** A diferencia de la mayoría de los paneles solares que utilizan células de silicio, se pueden imprimir tintas solares en rollos de plástico hasta un tamaño A3. La tinta puede ser aplicada

---

<sup>249</sup> Acrilonitrilo estireno acrilato o estireno acrilonitrilo es un polímero que se caracteriza por una serie de características: Buena resistencia térmica y química, mejor resistencia al impacto que el poliestireno sin modificar, es transparente, tiene muy buena procesabilidad, es decir, se puede procesar por el método de conformado empleado para los termoplásticos, como inyección y extrusión y copia detalles de molde con gran fidelidad.



a través de varios métodos, incluyendo una capa de aerosol. Es ligera, flexible y de bajo coste, aplicándose a una amplia gama de materiales y dispositivos. Esta tecnología está lista para aplicaciones de baja potencia, aunque está lejos de los estándares de rendimiento de los dispositivos utilizados basados en silicio y siendo mucho menos eficiente.

- **Tejas solares fotovoltaicas:** Similar a las tejas convencionales, que incorporan mini paneles solares en su interior. Actualmente a la venta, la mayoría de ellas están hechas de cerámica y poseen 4 celdas fotovoltaicas, la instalación pasa debajo del tejado hasta el convertidor.
- **Esferas solares que generan energía incluso con luz de luna:** *Rawlemon* es una lente en forma de esfera generadora de energía solar. Su sistema de concentración y amplificación de los rayos solares le permite ser un 70 % más eficiente que los paneles solares tradicionales. Según su creador, las esferas solares son la innovación más importante en el campo de la energía solar desde la invención de los paneles fotovoltaicos.
- **Globos solares:** Durante desastres humanitarios, la generación de energía es una prioridad inmediata para los equipos de socorro. En los campos de refugiados, que están a menudo en lugares remotos lejos de acceso a la red eléctrica, los generadores diésel son los más recurridos. Los globos de *Zéphyr*<sup>250</sup> fotovoltaicos tienen un diámetro de 4 m y podrían proporcionar energía suficiente para 50 personas, un hospital de campaña o una instalación de telecomunicaciones. La electricidad es enviada a tierra donde puede ser almacenada en una batería o usada inmediatamente. Sus usos

---

<sup>250</sup> El *Zéphyr Photovoltaic Balloon* es un proyecto desarrollado por tres estudiantes que plantea el uso de globos aerostáticos compactos para suministrar electricidad en zonas afectadas por desastres o catástrofes naturales.

pueden ser muchos, además de los campos de refugiados o como apoyo ante desastres naturales.

- **Paneles solares inspirados en la técnica japonesa del kirigami:** Los paneles solares que pueden seguir el movimiento del sol se sabe que capturan significativamente más energía, pero esto no es una innovación. La tecnología que se utiliza actualmente puede ser engorrosa, pesada, cara y sólo se puede usar en ciertos tipos de instalaciones. Los investigadores Max Shtein et al. (2015) de la Universidad de Michigan están desarrollando una solución, inspirada en el kirigami, arte japonés del corte de papel. Después de trabajar con el artista del papel Matt Shlian, estos investigadores han creado un diseño de panel solar en el que los elementos individuales se pueden mover alrededor los unos de los otros. Creen que sería más fácil de instalar que los paneles convencionales y pueden ser fabricados de materiales más baratos y ligeros.
- **Alumbrado público eliminador de mosquitos:** Investigadores de Malasia han creado una luz que no sólo combate el cambio climático, sino que combate también las enfermedades transmitidas por los mosquitos. Esta luz en forma de farola usa tecnología LED y un sistema híbrido con un panel solar y una turbina eólica incorporada, además de un sistema que atrae a los mosquitos y los elimina.
- **Hydricity:** Se trata de una innovación para generar electricidad y combustible de hidrógeno al mismo tiempo, realizada y diseñada por científicos de Suiza y de Estados Unidos. Poder producir hidrógeno y electricidad es un gran avance en el aprovechamiento de la energía solar, ya que se podría producir energía tanto de día como de noche en forma efectiva. Con *Hydricity* se

persigue que la energía termosolar llegue a ser, aproximadamente, un 46 % más eficiente.

- **Hydrostor:** Son globos de aire comprimido bajo el agua, situados al menos a 25 metros de profundidad e idóneamente a 100 m o más, en la que el peso del agua presuriza el aire de forma natural, permitiendo entrar más aire, y por lo tanto energía, que es almacenada en un determinado volumen. A profundidades mayores de 500 m, el coste de este tipo de almacenamiento se vuelve insignificante en comparación con los costes de la maquinaria de conversión en energía.
- **Makani:** Se trata de un proyecto de Google<sup>251</sup> para generar energía eólica con el uso de cometas especialmente diseñadas para ello. Esta tecnología puede producir un 50% más de energía con solo un 10% de los costes que necesitan las turbinas eólicas tradicionales. Las cometas están conectadas mediante cables a las centrales terrestres, pudiendo generar una potencia de 600 kilovatios una vez se encuentran a altura suficiente, así como aprovechar corrientes de viento mucho más potentes y generar mayor cantidad de energía.

## 2. AVANCES EN LA TECNOLOGÍA DE TURBINAS EÓLICAS

Recientemente, las turbinas eólicas se han vuelto más potentes, más eficientes y más asequibles para los productores de energía. Esas diferencias se muestran en muchas áreas diferentes como rotores, controles, electrónica y cajas de engranajes, pero la tecnología avanzada utilizada en la producción de energía eólica siempre ha apuntado al mismo objetivo, y es hacer de la energía eólica

---

<sup>251</sup> Makani Technologies LLC era una empresa con sede en Alameda, California, que desarrollaba turbinas eólicas aerotransportadas. Fundada en 2006, Makani fue adquirida por Google en mayo de 2013.

una buena opción para la generación de energía. Para ello se decidió un aumento en el tamaño de los rotores utilizados en las turbinas eólicas, aumentando desde los 70 m hasta los 100 m. Sin embargo, aumentar el tamaño de los rotores de la turbina crea nuevos desafíos para los fabricantes, ya que el coste puede aumentar más rápido que los ingresos generados por el aumento del factor de capacidad. Los rotores de la turbina se ven afectados por dos fuerzas diferentes, lo que se denomina par de fuerzas, que hacen girar los rotores y generan la energía y el empuje que hace girar la turbina. El enfoque de aumentar la potencia producida por los aerogeneradores parece pivotar en torno al factor de capacidad. Las necesidades de la producción eólica marina requieren soluciones diferentes a la producción eólica de la costa.

El uso de diferentes tecnologías para proyectos de energía eólica en tierra y en alta mar es otro de los cambios que se ha producido en los últimos años. Mientras que algunas compañías solían tomar la misma turbina eólica utilizada en tierra e instalarla en alta mar, otras están intentando optar por un enfoque diferente mediante la construcción de turbinas eólicas flotantes, que utilizan estructuras flotantes en lugar de requerir que las torres eólicas se coloquen en una base debajo del agua.

Por otro lado, los diseñadores están haciendo variar la geometría de la pala, la torsión y el ángulo de giro, por lo que la simulación permite a los diseñadores ver el coeficiente de elevación y arrastre a través de la hoja tanto en la superficie superior como en la inferior. Aunque el emplazamiento puede ser menos importante en proyectos de energía eólica marina, el software puede usarse para

ayudar a decidir la mejor manera de determinar la estrategia correcta para instalar la torre en el fondo del océano.

A continuación, se exponen algunos avances en el campo de la energía eólica:

- **Leviathan Energy:** Es una forma idónea de aumentar la eficiencia de un aerogenerador sin necesidad de aumentar el tamaño de la turbina. Esta innovación está desarrollada por *Daniel Farb*, CEO de *Leviathan Energy*. Denominada como "*Wind Energizer*", esta innovación es capaz de aumentar la producción de energía eólica en un 30 %. La idea es modificar el entorno alrededor de la turbina para garantizar que los vientos de mayor velocidad golpeen la pala en lugar de tener que aumentar el tamaño de la pala de la turbina.
- **Advanced Turbine System (ATS):** Esta corporación ha desarrollado una técnica innovadora para aumentar la potencia de un aerogenerador incrementando su altura. Se solía aumentar el tamaño de la pala para aumentar la eficiencia de la turbina, lo que resultó ser una opción costosa por la disponibilidad limitada de espacio. Sin embargo, con esta técnica se puede aumentar la eficiencia de la turbina en un 20 %.
- **Turbina de viento Fuller sin aspas:** Una empresa de investigación en New Hampshire (USA) patentó su turbina eólica sin aspas, que se basa en una patente de Nikola Tesla (1913). Esta turbina eólica se denomina turbina de viento Fuller y es desarrollada por la empresa *Solar Aero Technology Inc.* La especialidad de la turbina eólica Fuller es que tiene una sola pieza giratoria, conocida como eje de transmisión de turbina. Toda la maquinaria está montada dentro de una carcasa. La industria eólica está tratando de

desarrollar métodos para medir y mitigar el efecto de la energía eólica en las aves.

Las ventajas que presenta la turbina de viento Fuller sobre las tradicionales que tienen palas son: i) Tiene una entrada y una salida filtradas, ii) el único movimiento visible es el que se ajusta para rastrear el viento, por lo que puede ser utilizado por la vigilancia militar e instalaciones de radar porque no hay palas en movimiento que causen dificultades, iii) es un sistema de bajo coste, iv) su mantenimiento es muy aceptable, dando como resultado menores costes operativos de por vida, ya que la turbina se apoya principalmente en cojinetes magnéticos, v) todos los equipos generadores se mantienen a nivel del suelo, lo que conduce a un fácil mantenimiento de los equipos y vi) la turbina Tesla tiene discos extremadamente finos para reducir la turbulencia en los bordes, haciéndolos muy efectivos.

- **El árbol de viento:** Es una innovadora turbina eólica con forma de árbol. Básicamente se compone de una estructura de acero de 10 metros de alto por 7,5 de ancho, cuyas ramas contienen 63 hojas de material plástico muy resistente que capturan el viento y transfieren la energía a través de un generador situado en la base. Un solo árbol de viento es capaz de generar 3 kilovatios de potencia instantánea, y unos 1.900 kWh en un año. Existen algunos árboles de viento instalados en el distrito parisino de Le Bourget y en las instalaciones deportivas de Roland Garros. Este tipo de generador eólico puede instalarse en cualquier parque o calle sin romper la estética de la ciudad.
- **Aerogeneradores flotantes marinos:** Este es el caso de *Hywind Scotland*, el primer parque eólico marítimo del mundo capaz de flotar, construido por la

empresa pública noruega de petróleo Statoil en colaboración con la firma de energías renovables de Emiratos Árabes *Masdar*. El problema de la energía eólica offshore es desafiar la profundidad del mar. Según el operador Statoil, hasta el 80 % de los posibles lugares con viento en alta mar se encuentran en aguas de más de 60 m de profundidad. Las turbinas fijas que pueblan los parques eólicos marinos convencionales solo son óptimas para una profundidad no superior a 50 m, pero para un parque eólico flotante, estas estructuras facilitan la captura de energía en entornos con profundidad de más de 500 m. Las cinco turbinas instaladas en el primer proyecto con el sello *Hywind* miden 253 m de altura, de los cuales 78 quedan bajo la superficie. Su ventaja es el menor coste respecto a la eólica marina tradicional.

### 3. ÚLTIMOS AVANCES EN ENERGÍA GEOTÉRMICA

La energía geotérmica es la energía térmica natural de la Tierra. Los recursos geotérmicos de la Tierra son enormes y, a diferencia de otras fuentes de energía convencionales y renovables, la energía geotérmica tiene características únicas, es decir, está disponible, es estable en todo momento durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas, y tiene una capacidad de almacenamiento inherente. Entre los últimos avances se encuentran los siguientes:

- **Sistema Geotérmico Mejorado (EGS):** Este proceso simple implica perforar un agujero en la roca de esquisto, que contiene gas natural. La broca luego continúa a través de la roca durante varios kilómetros. Posteriormente, cuando el orificio está lo suficientemente presurizado, se retira la broca y la roca se fractura hidráulicamente. Este proceso libera el gas, que luego fluye a la superficie. Hoy en día, los científicos geotérmicos están experimentando

con una versión modificada de la técnica del gas natural para conseguir energía geotérmica, técnica conocida como Sistema Geotérmico Mejorado (EGS). En pocas palabras, esta técnica consiste en bombear agua fría por un pozo, que la roca subterránea calienta a medida que el agua fluye. Después el agua regresa a la superficie a través de un segundo pozo. El resto del proceso es el mismo que el geotérmico convencional. Utilizando la tecnología disponible en la actualidad, los científicos del MIT<sup>252</sup> estimaron que la energía recuperable total de los recursos de EGS podría ser de hasta 12.200 Gigavatios.

- **Tecnologías y técnicas de perforación avanzadas:** La energía geotérmica aprovecha una inmensa cantidad de energía que se encuentra bajo tierra, energía que también es renovable y casi libre de emisiones. Pero debido al calor existente en el subsuelo profundo, a veces es difícil trabajar en las condiciones adecuadas. Para superar estos desafíos, se desarrolló y se demostró con éxito un sistema avanzado de perforación diseñado para estas condiciones críticas. Esta tecnología puede perforar direccionalmente a temperaturas extremadamente altas, a unos 300 ° C, aproximadamente. El sistema utiliza un lubricante de alta temperatura en el fluido de perforación, una broca metálica completa para romper la formación y un motor de perforación de metal conocido en la industria de la perforación como motor de metal a metal, pudiendo funcionar durante 270 horas continuas. Esta tecnología no solo hace avanzar el estado de las tecnologías geotérmicas y abre más áreas de recursos geotérmicos

---

<sup>252</sup> El Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT, *Massachusetts Institute of Technology*, en inglés) es una universidad privada localizada en Cambridge, Massachusetts (Estados Unidos) considerada por numerosos rankings como una de las mejores y más prestigiosas universidades a nivel mundial.



para el desarrollo, incluido el de EGS, y otros sectores del subsuelo, como energía fósil y nuclear. Estos sectores pueden aprovechar el trabajo financiado por el sector de la energía geotérmica para sus propios beneficios.

- **Otras novedades en EGS:** Durante el Proyecto Geotérmico de *Newberry* en Bend, Oregón, Trenton, T. et al. (2018), se realizó un procedimiento de adición de agua fría, cuidadosamente controlado y a alta presión, rompió una roca caliente a una profundidad superior a 400 m, mientras producía microseismos. Esto hizo que el proceso de EGS, quedara en suspenso en 2010 debido a que los proyectos de California y Suiza estaban causando terremotos. Con posterioridad se avanzó aún más en el control del proceso, se inyectó plástico reciclado en la roca fracturada en *Newberry*, sellando los depósitos separados y frackeando de manera individual. El EGS, si se demuestra que es seguro, convertiría el calor profundo de la tierra en energía geotérmica productiva incluso en ausencia de depósito de agua adyacente a la fuente de calor, lo que hace que un pozo hidrotérmico convencional sea viable.

#### 4. ENERGÍAS MARINAS

Dentro de las energías marinas, destacan como dispositivos fijos:

- **Columna de agua oscilante o CAO (*Oscillating Water Column, OWC*):**  
Según la Real Academia de Ingeniería<sup>253</sup>, la columna de agua oscilante es una envolvente sin fondo en la que el agua puede entrar y salir libremente y

---

<sup>253</sup> La Real Academia de Ingeniería de España, RAI, es una institución «a la vanguardia del conocimiento técnico, que promueve la excelencia, la calidad y la competencia de la ingeniería española en sus diversas disciplinas y campos de actuación», según «Historia de la RAI». 19 de febrero de 2013.

de la que sobresale una columna abierta en su parte superior y donde el movimiento de las olas hace que suba y baje el agua contenida en la columna, comprimiendo y descomprimiendo el aire que hay sobre el agua, lo que produce una corriente de aire que sale y entra por un orificio accionando una turbina neumática, que gira siempre en el mismo sentido. Se suelen poner en zonas donde la energía de la ola es muy fuerte, como rompeolas o defensas costeras. Al llegar la ola presiona el aire de las cámaras y este asciende pasando por las turbinas y haciéndolas girar. Cuando la ola se retira, el aire es succionado y también pasa por la turbina. En ambos casos produce un movimiento giratorio de cada turbina, siempre en el mismo sentido, que se aprovecha para mover generadores y producir electricidad. La CAO está formada por dos turbinas de contrarotación asociadas a un generador de 250 kilovatios del que se obtiene una producción máxima de 500 kW. El agua de mar nunca entra en contacto con los elementos electromecánicos de la instalación.

- **Dispositivo de energía de onda de canal cónico o desborde de canal (*Tapered Channel Wave Power Device, Tapchan*):** Consiste en un embalse construido sobre un acantilado que es alimentado a través de un canal estrecho por medio del cual se genera un aumento de la amplitud de la ola al acercarse a la pared del acantilado. Las olas se desbordan sobre las paredes del canal dentro del embalse, haciendo que la energía cinética de la ola que se mueve se convierta en energía potencial cuando se almacena en el embalse. Cuando el agua se descarga a través de una turbina, se produce la generación de electricidad.

- **Sistema CETO:** Consiste en un conjunto de boyas ancladas al fondo marino y sumergidas. El movimiento axial de la boya se convierte en un bombeo que succiona agua de mar, impulsándola a la costa, alcanzando una alta presión que mueve una turbina, generando electricidad. La quinta generación de la tecnología CETO, denominada CETO.5 es un conjunto modular de 3 boyas, totalmente sumergido, y donde cada boya es capaz de generar 240 kilovatios de potencia. Las olas mueven las boyas, que a su vez activan las bombas, empujando el agua a presión a través de las turbinas generando electricidad.
- **Ola rodillo o Wave Roller:** Consiste en una placa atada al fondo marino que oscila hacia adelante y atrás a través de una bisagra con el movimiento de las olas bajas. La energía cinética producida se conecta con una bomba de pistón y puede ser convertida en electricidad mediante un generador unido al dispositivo o por un sistema hidráulico cerrado en combinación con un sistema generador/turbina. Se trata de un sistema modular, por lo que su capacidad puede ser aumentada gradualmente.
- **Sistema ola eco o Eco Wave Power (EWP):** Este sistema utiliza el movimiento de las olas para la producción de presión hidráulica para, con una turbina, generar electricidad. El sistema es optimizado según la velocidad, la envergadura, la profundidad, la altura y la caída de la ola y además tiene en cuenta el flujo de retorno producido cuando la ola rompe.
- **Sistema de cono de ranura para energía de onda marina o Sea-Wave Slot-Cone Generator (SSG):** Es un convertidor de la energía de las olas basado en el llenado de tres tanques, colocados uno sobre otro y que se llenan cuando la altura de las olas sobrepasa las paredes de los tanques. La

energía potencial de esta agua almacenada es convertida en energía cinética al pasar por una turbina, generando energía eléctrica.

Como dispositivos flotantes, los más comunes son:

- ***Pelamis*<sup>254</sup>**: Este sistema consiste en una serie de cilindros articulados y parcialmente sumergidos alineados en paralelo a la dirección de la ola. Tiene 150 m de longitud por 3,5 m de diámetro. Está formado por tres generadores, cada uno de ellos tiene una potencia de 250 kW siendo la potencia total de 750 kW. La fuerza de la ola induce un movimiento relativo entre los cilindros activando un sistema hidráulico que bombea aceite a alta presión a través de un sistema de motores hidráulicos que están conectados a generadores que producen electricidad. La corriente es transportada por un solo cable a una base situada en el lecho oceánico. Varios cables de corriente de distintos Pelamis se pueden unir para trasladar la energía producida a la costa mediante un único cable submarino. Se usan en zonas con condiciones marinas muy adversas.
- ***Salter Duck*<sup>255</sup>**: Es un sistema que rota con un movimiento de cabeceo a medida que pasa la ola, bombeando un fluido hidráulico que activa un motor hidráulico acoplado a un generador eléctrico. Se montan alineados con la cresta de la ola. El dispositivo tiene la capacidad de convertir la energía cinética y potencial de la ola en energía mecánica, con lo que el nivel de absorción de energía es alto, teóricamente sobre el 90 %.
- ***Wave Dragon*<sup>256</sup>**: Es un dispositivo flotante grande, con un peso de unas 150 toneladas, más, aproximadamente, 87 toneladas de agua en los reservorios,

---

<sup>254</sup> *Pelamis*, es una especie de serpiente marina.

<sup>255</sup> *Salter Duck*, su traducción es “patp salado”.

<sup>256</sup> *Wave Dragon*, se traduce como “dragón de olas”.

de 250 m de largo, con un par de aletas de unos 126 m de largo, que permite concentrar el agua de las olas incidentes sobre la estructura hacia una rampa, para ser almacenada a objeto de hacer girar una serie de turbinas acopladas a generadores de energía eléctrica. El agua se conserva a un nivel por encima de la superficie del mar, lo que permite usar la energía potencial para hacer girar las turbinas.

- **Boya undimotriz:** Esta boya absorbe el movimiento vertical de las olas. Está formada por una boya exterior que se mueve verticalmente siguiendo las ondas de las olas. Tienen un diámetro aproximado de entre 4 y 12 m. Se encuentra fijado al fondo marino por un ancla de unas 100 toneladas. En el interior del poste que une la boya y el pie se encuentra un sistema hidráulico y un generador. El movimiento de la boya hace que el sistema hidráulico comprima el fluido contenido en la estructura, provocando la activación del generador, que produce energía eléctrica.
- **Ola oscilante de Arquímedes o *Archimedes Wave Swing (AWS)*:** El sistema se encuentra totalmente sumergido entre 40 y 100 m de profundidad. Está formado por una estructura fija anclada al fondo oceánico con hormigón y una estructura móvil llena de aire que se mueve verticalmente por la acción de las olas. El movimiento vertical entre la parte móvil o flotador y la parte fija hace que el aire que contiene el flotador se comprima para equilibrar las presiones. Este movimiento se transforma en electricidad por la acción de un sistema hidráulico y un conjunto motor-generador. Cada boya es capaz de generar una potencia de 40 kW. La potencia que se desea obtener de cada una de las estructuras está entre 50 y 100 kW. La corriente es transmitida a tierra por un cable submarino.

- **Searaser<sup>257</sup>**: El dispositivo aprovecha la energía de las olas en la costa para bombear agua tierra adentro, por lo que puede ser aprovechado para ser utilizada en pequeñas centrales hidráulicas para generación de electricidad. El dispositivo no requiere ningún tipo de aporte de energía eléctrica exterior, utiliza la energía potencial cuando retorna el agua al mar. Los costes de mantenimiento son muy bajos. En las pruebas realizadas se han obtenido elevaciones del agua de hasta 50 m. Actualmente se trabaja para lograr alturas de 200 m. Otra utilidad adicional es la de usar el agua de mar para su desalinización.

Por otro lado, hay otro tipo de generadores como los rotores de flujo axial, destacando los siguientes sistemas:

- **Sistema SeaGen**: Este sistema es predecesor del proyecto *SeaFlow*<sup>258</sup>, es un generador de dos hélices, bipala, de 16 m de diámetro ubicado en el Estrecho de Strangford (Irlanda del Norte). Es el mayor generador del mundo que emplea las corrientes marinas, pudiendo llegar a generar 1,2 MW de potencia al día, frente a los 300 kW de potencia del *SeaFlow*. Tiene una altura total de 40 m, aunque los 10 últimos sobresalen por encima del nivel del agua. A fin de facilitar las operaciones de mantenimiento, las hélices se pueden izar fuera del agua. Existe un proyecto denominado *SeaGen Wales*, que se encargará de construir un campo de 7 generadores *SeaGen* en Anglesey, Gales (UK).
- **Sistema THAWT**: El prototipo turbina de agua transversal horizontal axial (THAWT) se presenta como un cilindro que, gracias al flujo del agua, puede

---

<sup>257</sup> *Searaser*, se traduce como “marinero”

<sup>258</sup> *Seaflow* es la primera turbina de marea *offshore*, instalada en Lynmouth, Devon en mayo del 2003.

girar alrededor de su eje. Los generadores se encuentran localizados cada 60 m. Una matriz de rotores THAWT de 1 km puede generar hasta 60 MW de potencia, ya que el diseño de las turbinas permite la corriente en ángulo, son más baratos pues requieren un 60 % menos de costes de construcción y un 40 % menos de costes de mantenimiento.

- **Sistema *Lanstrom*:** Se trata de turbinas diseñadas por la empresa *Hammerfest Strøm* de 30 m de altura con unas hélices de 20 m de diámetro, que se colocan en sentido contrario al flujo, pudiendo llegar a generar 1 MW de potencia. Estos aparatos fueron desarrollados en Noruega, donde se consiguieron excelentes resultados y llevan suministrando energía durante siete años.
- **Sistema *Vivace*:** Vivace significa vibraciones inducidas por vórtex para la obtención de energía acuática limpia. Se basa en la forma que tienen de nadar los peces aprovechando los remolinos que causan los fluidos en torno a un cuerpo. El sistema consiste en una serie de cilindros, colocados horizontalmente y unidos a unos resortes tales que, a medida que circula el agua por ellos, se generan unos vórtices que los impulsan hacia arriba y hacia abajo. Mediante este modelo se podría generar energía con corrientes de agua de aproximadamente 1 metro por segundo, lo que permite su uso tanto en corrientes marinas como en ríos, siendo este su emplazamiento idóneo. Los costes de construcción y mantenimiento son reducidos, y el impacto medioambiental también es muy bajo.
- **Sistema *GESMEY*:** Ya dentro del panorama español, destaca el proyecto denominado Generador Eléctrico Submarino con Estructura en Y (*GESMEY*). Fue financiado por SOERMAR, y recibió en 2008 un accésit en la

convocatoria de premios a las mejores patentes de la Fundación Madri+d. El GESMEY es capaz de generar una potencia de 1 MW. El generador cuenta con una forma en Y, teniendo en los extremos unos flotadores llamados torpedos, que permiten a la turbina trabajar sumergida y suspendida en equilibrio dinámico a cierta profundidad en el mar y aprovechar mejor la energía de las corrientes marinas. La turbina se encuentra localizada en el centro de la estructura y la energía es generada por una hélice de tres palas. Los torpedos se pueden vaciar, permitiendo a la estructura salir a flote para tareas de mantenimiento, lo que reduce así el coste de estos. El sistema trata de mejorar los sistemas de primera generación en profundidades de entre 30 y 50 metros y está anclado al fondo. Frente a ello, GESMEY permite su empleo en zonas con media profundidad y fondo complejo, minimiza el impacto ambiental, reduce el impacto de las olas, se adapta al perfil de velocidad de la corriente, es de construcción simple y robusta, y es de fácil instalación, mantenimiento y desmontaje.

En la actualidad, existen cuatro tipos de tecnologías complementarias, basadas en la utilización de membrana osmótica (energía por ósmosis o energía azul) y que están actualmente en desarrollo:

- **Retardo de la presión osmótica (*Pressure Retarded Osmosis* – PRO):**  
Consiste en el bombeo del agua de mar a un depósito donde la presión es inferior a la presión osmótica entre el agua salada y la dulce, entonces el agua dulce fluye a través de una membrana semipermeable, aumentando el volumen de agua en el depósito y se genera electricidad por medio de una turbina hidráulica.



- **Electrodiálisis inversa (*Reverse Electrodialysis* – RED):** Consiste en un proceso inverso a la desalación de agua, utilizando membranas selectivas de iones, creando electricidad en forma de corriente continua. Se trata de la creación de una batería de sal. Este método puede usarse para generar energía eléctrica a partir de la energía libre del agua de río y de mar.
- **Método capacitivo:** Un tercer método es el método capacitivo de Doriano Broglioli<sup>259</sup>, relativamente nuevo y que hasta ahora solo se ha probado a escala de laboratorio. Con este método, se puede extraer energía de la mezcla de agua salada y agua dulce cargando cíclicamente los electrodos en contacto con el agua salada, seguido de una descarga en agua dulce. Dado que la cantidad de energía eléctrica que se necesita durante el paso de carga es menor que la que se obtiene durante el paso de descarga, cada ciclo completado produce energía de manera efectiva. Una explicación intuitiva de este efecto es que la gran cantidad de iones en el agua salada neutraliza eficientemente la carga en cada electrodo formando una fina capa de carga opuesta muy cerca de la superficie del electrodo, que se conoce como doble capa eléctrica. Por lo tanto, el voltaje sobre los electrodos permanece bajo durante el paso de carga y la carga es relativamente fácil. Entre el paso de carga y descarga, los electrodos se ponen en contacto con agua dulce. Después de esto, hay menos iones disponibles para neutralizar la carga en cada electrodo de manera que la tensión sobre los electrodos aumenta. La etapa de descarga que sigue es por lo tanto capaz de entregar una cantidad relativamente alta de energía.

---

<sup>259</sup> Doriano Broglioli, físico e investigador independiente. Desarrolló una técnica para extraer energía de la diferencia de salinidad, basada en la expansión de la doble capa eléctrica en la superficie de un electrodo sumergido en una solución salina, llamado CAPMIX.

- **Nanotubos de nitruro de boro:** Un equipo de investigación del *Institut Lumière Matière* en Lyon (CNRS<sup>260</sup>/Universidad *Claude Bernard Lyon Une*) y colaboradores del *Institut Néel* (CNRS) han construido un sistema experimental que usa nitruro de boro que produce mucha más potencia que el prototipo de Statoil<sup>261</sup> al respecto. Se utilizó una membrana impermeable y eléctricamente aislante perforada por un solo nanotubo de nitruro de boro con un diámetro externo de unas pocas docenas de nanómetros. Con esta membrana que separa un depósito de agua salada y un depósito de agua dulce, el equipo midió la corriente eléctrica que pasa a través de la membrana utilizando dos electrodos sumergidos en el fluido a cada lado del nanotubo, con resultados que mostraron que el dispositivo era capaz de generar una corriente eléctrica del orden de un nanoamperio. Los investigadores afirman que esto es 1.000 veces el rendimiento de otras técnicas conocidas para cosechar energía osmótica y hace que los nanotubos de nitruro de boro sean una solución extremadamente eficiente para tener muy en cuenta la energía de los gradientes de salinidad y obtener energía eléctrica utilizable. El equipo afirmó que una membrana de 1 m<sup>2</sup> podría generar alrededor de 4 kW de potencia y ser capaz de generar hasta 30 MWh por año.

El principal producto de desecho de la tecnología de gradiente de salinidad es el agua salobre. La descarga de agua salobre a las aguas circundantes, si se realiza en grandes cantidades y sin regularidad, provocará fluctuaciones de salinidad. Si bien es habitual que exista alguna variación en la salinidad, especialmente cuando el agua dulce desemboca en un océano o mar, estas

---

<sup>260</sup> El Centro Nacional para la Investigación Científica (en francés, Centre National de la Recherche Scientifique o CNRS).

<sup>261</sup> Statoil, ahora denominada Equinor ASA, es una compañía estatal noruega de petróleo.

variaciones se vuelven menos importantes para ambos cuerpos de agua con la adición de aguas residuales salobres. Los cambios extremos de salinidad en un medio acuático pueden dar como resultado hallazgos de baja densidad de animales y plantas debido a la intolerancia y a extremas bajadas o subidas repentinas de la salinidad. El impacto del agua salobre en los ecosistemas se puede minimizar bombeándola hacia el mar y liberándola en la capa intermedia, lejos de los ecosistemas de la superficie y del fondo.

Entre los dispositivos utilizados en las energías marinas se encuentran dispositivos por diferencias de presión en el que el oleaje crea una diferencia de presión en el fluido, que es aire, y es aprovechada. Se distinguen los siguientes sistemas:

- **Columna de agua oscilante (*Oscillating Water Column* - OWC):** Mediante una cámara semisumergida abierta por la parte inferior, el movimiento de las olas hace subir y bajar el nivel de agua en la misma, desplazando el volumen de aire interno, el cual acciona una turbina que gira siempre en el mismo sentido a pesar del flujo de aire bidireccional.
- **Efecto Arquímedes:** Se utiliza una cámara de aire cerrada que puede variar su volumen en función de la presión a la que es sometida. La parte inferior se fija al fondo, mientras que la superior puede desplazarse verticalmente. Aprovecha la fluctuación de la presión estática originada por la oscilación del nivel del agua al paso de la ola.
- **Cuerpos flotantes:** Son dispositivos que consisten en un cuerpo flotante movido por las olas. El movimiento oscilatorio aprovechable puede ser vertical, horizontal, de cabeceo o una combinación de ellos. Este movimiento

inducido puede ser, bien un movimiento absoluto entre el cuerpo flotante y una referencia fija externa o bien relativo entre dos o más cuerpos.

- **Sistemas de rebosamiento y/o impacto:** Las olas inciden en una estructura, consiguiendo aumentar su energía potencial, cinética o ambas. Los sistemas de rebosamiento hacen que el agua pase por encima de la estructura; los sistemas de impacto hacen que las olas incidan en una estructura articulada o flexible. Estos sistemas pueden situarse en la costa o en mar abierto.
- **Absorbedores puntuales:** Comparadas con la longitud de la ola incidente, las estructuras son pequeñas y cilíndricas (simetría axial), no afectándoles la dirección del oleaje. Se suelen colocar varios absorbedores puntuales en hilera, y se basan en sistemas tipo boya.
- **Terminadores o totalizadores:** Son dispositivos alargados situados perpendicularmente a la dirección de las olas, captando la energía de una sola vez.
- **Atenuadores o absorbedores lineales:** Son estructuras alargadas, colocadas en paralelo a la dirección de las olas, extraen la energía progresivamente y de manera direccional.

A continuación, se indican algunos avances en tecnología marina y los países que lo utilizan:

- **Energía de las olas:** La energía de las olas se tiene que convertir finalmente en electricidad, para ello se utilizan los convertidores de energía de las olas. Se distinguen 6 tipos de ellos:
  - **Atenuador:** Dispositivo flotante que funciona paralelamente a las olas y cabalga sobre ellas, de manera que se expande y comprime según el movimiento de la ola para la producción de energía. Los países que utilizan

este tipo de tecnología son: Dinamarca, España, Estados Unidos, Finlandia, Irlanda, Noruega, Portugal, Reino Unido, Rusia y Suecia.

- **Amortiguador puntual:** Estructura flotante que absorbe energía en todas las direcciones a través de sus movimientos en la superficie o cerca de la superficie del mar. El sistema puede tomar varias formas, dependiendo de la configuración de los reactores. Se utiliza en: Alemania, Australia, Canadá, Dinamarca, España, Estados Unidos, Francia, Hong Kong, India, Irlanda, Islas Mauricio, Israel, Noruega, Nueva Zelanda, Reino Unido, Rusia y Suecia.
- **Convertidor de Olas Oscilante:** Extrae la energía provocada por el movimiento de las olas y de las partículas de agua en su interior. El brazo, unido a un pivote, oscila con movimiento pendular según el movimiento del agua en las olas. Se utiliza en: Australia, Dinamarca, Finlandia, Grecia, Israel, Noruega y Reino Unido.
- **Columna de Agua Oscilante:** La columna de agua oscilante está parcialmente sumergida, con estructura hueca. Por debajo del dispositivo está abierto, de manera que existe una columna de aire en la parte superior de la estructura hueca. Cuando incide una ola, la columna de agua sube y baja, comprimiendo y descomprimiendo la columna de aire. El aire pasa por una turbina rotativa que se encarga de producir energía eléctrica. Se utiliza en: Australia, Dinamarca, España, Estados Unidos, Irlanda, Islas Faroe, Portugal y Reino Unido.
- **Desbordamiento/Dispositivo Terminal:** Se basa en la captura del agua de las olas en un embalse situado sobre el nivel del mar, antes de ser devuelto al mar mediante turbinas convencionales generadoras de energía. Un dispositivo de desbordamiento puede utilizar colectores para concentrar la

energía de las olas. Se utiliza en: Dinamarca, Gales, Irlanda, Japón y Noruega.

- **Diferencial de Presión Sumergido:** Normalmente estos dispositivos se encuentran cerca de la costa y unido al fondo del mar, de manera que el movimiento de las olas hace que suba y baje el nivel del agua y con ello la diferencia de presión en el dispositivo. Se utiliza en: Estados Unidos, Israel y Reino Unido.
- **Energía de las mareas:** La energía de las mareas aprovecha el flujo y reflujo natural de las aguas provenientes de las mareas en la costa. Los dispositivos de las corrientes de las mareas son similares a las turbinas eólicas sumergidas, aprovechando la energía cinética de las corrientes. Dada la densidad del agua, permite que las aspas sean más pequeñas y giren más lentamente, generando una gran cantidad de energía. Con el fin de aumentar el flujo y la potencia de la turbina, se pueden utilizar concentradores alrededor de las aspas para concentrar el flujo hacia los rotores. Los convertidores de energía de las mareas, llamados *Tide Energy Converter* (TEC) se dividen en cuatro tipos:
  - **Turbina de eje horizontal:** Este dispositivo extrae energía del movimiento del agua del mismo modo que las turbinas eólicas. Estos dispositivos se pueden alojar en conductos, creando efectos secundarios de flujo mediante la concentración del flujo y la producción de diferencias de presión. Este tipo de dispositivo se utiliza en los siguientes países: Alemania, Australia, Canadá, Dinamarca, Estados Unidos, Holanda, Islas Mauricio, Noruega y Reino Unido.

- **Turbina de eje cruzado:** Existen dos tipos, vertical y horizontal, la turbina vertical extrae la energía del movimiento de las mareas, pero la turbina se monta en vertical; la turbina horizontal es una turbina de eje vertical transversal orientada en horizontal, permitiendo que esta se despliegue en aguas poco profundas. Entre los países que utilizan este dispositivo se encuentran: Australia, Canadá, Estados Unidos y Reino Unido.
- **Hidroplano<sup>262</sup> Oscilante:** Se trata de un aerodeslizador unido a un brazo oscilante que se mueve de arriba debajo de manera que el líquido es conducido a un sistema hidráulico, convirtiéndolo en electricidad. Se utiliza en: Australia, Estados Unidos y Reino Unido.
- **Embudo (Venturi):** Consiste en un embudo que se encuentra sumergido dentro del mar; el flujo de agua se dirige directamente a una turbina que generará electricidad. Se utiliza en: Canadá, Estados Unidos y Reino Unido.

Para fijar los convertidores de energía de las mareas al lecho marino existen cuatro métodos:

- **Montaje en Fondos Marinos por Gravedad:** Los convertidores se colocan o fijan en el fondo del mar en virtud de su peso. También pueden fijarse directamente al suelo marino.
- **Pilote Montado:** El dispositivo se une a un poste que penetra en el fondo marino, lo que además permite elevar la turbina hasta la superficie para su mantenimiento.
- **Convertidores Flotantes:** Son plataformas o boyas situadas frente a la costa y que presenta tres subdivisiones:

---

<sup>262</sup> Avión o alas provisto de uno o varios flotadores para amarrar en el agua o despegar desde esta.

- **Amarres flexibles:** El dispositivo está amarrado por medio de cable o cadena al suelo marino, permitiendo libertad de movimiento cuando las corrientes de las mareas cambian de dirección.
- **Amarres rígidos:** El dispositivo se asegura en su posición mediante un sistema de amarre fijo, permitiendo un margen de movimiento mínimo.
- **Estructura flotante:** Se montan varias turbinas en una única plataforma, pudiéndose mover conforme a los cambios de las mareas.
- **Hidroplano por inducción de carga aerodinámica:** Se utilizan una serie de hidroplanos montados en un marco para inducir una carga aerodinámica desde el flujo de la corriente de la marea.
- **Otros dispositivos:** Dispositivos con diseño único y diferente a los tipos de tecnología establecidos. Los países que utilizan estos dispositivos son: Australia, Chile, Estados Unidos, Francia, Holanda, Irlanda, Italia, Noruega y Reino Unido.

## 5. INVESTIGACIÓN EN ENERGÍA NUCLEAR

Las principales investigaciones en el campo de la energía nuclear se exponen a continuación:

- **Diseños avanzados de reactores de fisión:** Los reactores de fisión actuales son sistemas de segunda o tercera generación, con la mayoría de los sistemas de primera generación retirados. La investigación sobre los tipos de reactores de cuarta generación avanzada fue oficialmente iniciada por el Foro Internacional de la Generación IV (GIF), basado en objetivos tecnológicos



que incluyen mejorar la economía, seguridad, resistencia a la proliferación<sup>263</sup> nuclear, utilización de recursos naturales y capacidad de consumir los residuos nucleares existentes en la producción electricidad.

La mayoría de estos reactores difieren significativamente de los reactores de agua ligera que continúan funcionamiento en la actualidad, y se espera que estén disponibles para la construcción comercial después de 2030.

- **Fusión-fisión nuclear híbrida:** La energía nuclear híbrida es capaz de generar energía mediante el uso de una combinación de procesos de fusión nuclear y fisión. La idea básica es utilizar neutrones rápidos de alta energía de un reactor de fusión para desencadenar la fisión en combustibles no fisibles como el U-238<sup>264</sup> o el Th-232<sup>265</sup>. Cada neutrón puede desencadenar varios eventos de fisión, multiplicando la energía liberada por cada reacción de fusión cientos de veces, pero no hay una reacción en cadena autosostenida<sup>266</sup> de la fisión. Esto no solo haría que los diseños de fusión fueran más económicos en términos de energía, sino que también podría quemar combustibles que no son adecuados para su uso en plantas de fisión convencionales, incluso sus desechos nucleares causantes de problemas de seguridad.

---

<sup>263</sup> La proliferación nuclear es la diseminación de armas nucleares, materiales fisibles y de la información y la tecnología nuclear realizada por naciones que no son reconocidas como «países con armas nucleares» por el Tratado de No Proliferación Nuclear (TNP).

<sup>264</sup> Uranio-238.

<sup>265</sup> Torio-232.

<sup>266</sup> Una reacción nuclear en cadena es una reacción nuclear que se sostiene en el tiempo al provocar un neutrón la fisión de un átomo fisible, lo cual libera varios neutrones, que a su vez causan otras fisiones. Esta reacción en cadena solo se produce si al menos uno de los neutrones emitidos en la fisión es apto para provocar una nueva fisión. Si el número de neutrones del primer grupo es igual a la unidad se habrá obtenido una reacción autosostenida y con un número constante de fisiones por unidad de tiempo, ya que cada neutrón que produjo inicialmente una fisión dará lugar a otro neutrón útil para continuar el proceso.

- **Fusión nuclear:** Las reacciones de fusión nuclear son potencialmente más seguras y generar menos desechos radioactivos que la fisión. Estas reacciones parecen potencialmente viables, aunque técnicamente son bastante difíciles y aún no se han creado a escala que puedan usarse en una planta de energía funcional. El poder de fusión ha estado bajo investigación teórica y experimental desde los años cincuenta. Existen varios reactores experimentales de fusión nuclear, así como instalaciones. El proyecto internacional de fusión nuclear más grande y ambicioso actualmente en curso es el ITER<sup>267</sup>, un gran tokamak<sup>268</sup> en construcción en Francia. ITER está planeado para allanar el camino al poder de fusión comercial mediante la demostración de reacciones de fusión nuclear autosostenidas con ganancia positiva de energía.

---

<sup>267</sup> El ITER, (International Thermonuclear Experimental Reactor, en castellano Reactor Termonuclear Experimental Internacional), es un experimento científico a gran escala que intenta producir un plasma de fusión que tenga diez veces más potencia térmica que la potencia necesaria para calentar el plasma, que según el PPL Princeton Plasma Physics Laboratory, es el cuarto estado de la materia; es un gas ionizado, o sea que los núcleos están separados en dos tipos de partículas: iones (positivos) y electrones (negativos). De este modo el plasma es un estado parecido al gas, pero compuesto por electrones, cationes (iones de carga positiva) y neutrones, todos separados entre sí y libres. Por esta razón es un excelente conductor. Como sistema de reactor, el ITER será equivalente a un reactor de potencia cero.

<sup>268</sup> El tokamak, es un reactor cuyo objetivo es obtener la fusión de partículas de plasma, lo que generaría grandes cantidades de energía, para así conseguir la reacción nuclear de fusión de dos partículas ligeras en una partícula más estable de peso medio para posteriormente producir energía.

# APÉNDICE A3

## ZONAS VOLCÁNICAS, SISMICAS Y FUENTES TERMALES

### 1. ZONAS VOLCÁNICAS, SISMICAS Y FUENTES TERMALES EN ALEMANIA

#### 1.1. ZONAS VOLCÁNICAS

Los principales volcanes existentes en Alemania se indican a continuación:

##### **Eifel**

Hay indicios de que puede existir una pluma mantélica<sup>269</sup> activa a 400 km de profundidad, que provoca un ligero ascenso del terreno al ritmo de un milímetro al año, pero aparentemente sin riesgo de futuras erupciones. Se divide en tres zonas: Westeifel, Hocheifel y Osteifel:

- **Westeifel:** Esta zona posee muchos conos volcánicos<sup>270</sup>, maares<sup>271</sup> y

---

<sup>269</sup> Las plumas mantélicas o plumas del manto son columnas estrechas de material proveniente del manto que se supone que existen bajo la corteza terrestre, produciendo puntos calientes y lugares con vulcanismo anómalo.

<sup>270</sup> Un cono volcánico es una formación volcánica. Está situada en la parte donde el volcán expulsa el magma a la atmósfera, o la hidrosfera. Las eyecciones de una apertura volcánica se suelen amontonar generalmente formando un cono con un cráter central. Pero dependiendo de diversos factores como la materia expulsada en la erupción, adoptan diversas morfologías. Los tipos más comunes son los conos salpicados, los de toba, y los de escoria.

<sup>271</sup> Un maar es un cráter volcánico ancho y bajo, producido por una erupción freático-magmática, es decir, una explosión causada por agua subterránea que entra en contacto con lava caliente o magma. Los maares suelen llenarse de agua, formando un lago de cráter o laguna cráterica de poca profundidad. Las

estratovolcanes<sup>272</sup> pequeños. Ocupa una superficie aproximada de 600 kilómetros cuadrados, situándose a 50 km de Ormont. Hay muchos flujos de lava originados a partir de conos volcánicos y también se pueden encontrar anillos de toba volcánica.

- **Hocheifel:** Data del Terciario, donde ocurrieron las primeras erupciones volcánicas. Está constituido por siete estratovolcanes. Se pueden encontrar varias capas de cenizas y flujos de lava, siendo el basalto la roca dominante.
- **Osteifel:** Esta zona es la que tiene mayor actividad. Aquí se encuentra el lago Laacher, un lago volcánico rodeado de conos y estratovolcanes menores que pudieron haber extendido sus cenizas por toda Europa.

### **Großer Stein**

Großer Stein es un cono volcánico de Westerwald. Se formó hace unos 20 o 30 millones de años. El volcán expulsó muchas coladas de lava y ceniza volcánica. Está compuesto de basalto.

### **Hohentwiel**

Pequeño volcán extinto que se encuentra en la zona de Hegau, en el estado alemán de Baden-Wurtemberg, en el entorno de lago de Constanza.

### **Kaiserstuhl**

Pequeña cordillera de origen volcánico situada en el valle del Rin, en el suroeste de Alemania. El Kaiserstuhl es una de las regiones más cálidas de Alemania. El

---

dimensiones de los maares varían entre 60-2000 m de diámetro y entre 10-200 m de profundidad. La mayoría de los maares tienen bordes bajos, compuestos de una mezcla de fragmentos sueltos de piroclastos y rocas provenientes de las paredes de las diatremas.

<sup>272</sup> Un estratovolcán es un tipo de volcán cónico y de gran altura. Como su nombre indica, está compuesto por múltiples estratos o capas de lava endurecida, alternando con capas de piroclastos. Estos volcanes están caracterizados por un perfil escarpado y erupciones periódicas y explosivas. La lava que fluye desde su interior es altamente viscosa y se enfría y endurece antes de que pueda llegar lejos. La fuente de magma de estas montañas está clasificada como ácida o alta en sílice, con presencia de riolita, dacita y andesita. Muchos estratovolcanes exceden los 2500 metros de altitud y se encuentran comúnmente en los continentes.

pueblo de Ihringen es de hecho la localidad con la temperatura media anual más alta de toda Alemania.

### **Westerwald**

Cadena montañosa en Alemania que se extiende a lo largo de tres estados federales Renania-Palatinado, Hesse y Renania del Norte-Westfalia. Se encuentra el cono volcánico Ahlbach, así como la caldera volcánica de Bittersberg.

### **Bittersberg**

Caldera volcánica<sup>273</sup> de Westerwald, Alemania.

### **Kalsmunt**

Cono volcánico de Westerwald, Alemania. Situado casi en la ciudad de Wetzlar.

### **Langenaub**

Estratovolcán de Westerwald, Alemania.

### **Mägdeberg**

Volcán extinto que se encuentra en la Hegovia en el suroeste del estado federado alemán Baden-Wurtemberg.

### **Vogelsberg**

Antiguo volcán ubicado en el medio del estado federal alemán de Hesse.

---

<sup>273</sup> Una caldera volcánica es una gran depresión, distinta de un cráter, causada por diferentes factores, como pueden ser el hundimiento de una cámara magmática o por deslizamiento, es decir, cuando un edificio volcánico aumenta mucho su altura respecto a su base, volviéndose inestable hasta el punto de desplomarse. Más rara es la formación de una caldera por explosión freática, producida cuando el magma basáltico ascendente encuentra en su camino un acuífero originando una explosión colosal al convertir al agua en vapor sometido a una enorme presión. Otro tipo de caldera es la producida por derrame de la lava en el cráter hacia el exterior.

## 1.2. ZONAS SÍSMICAS

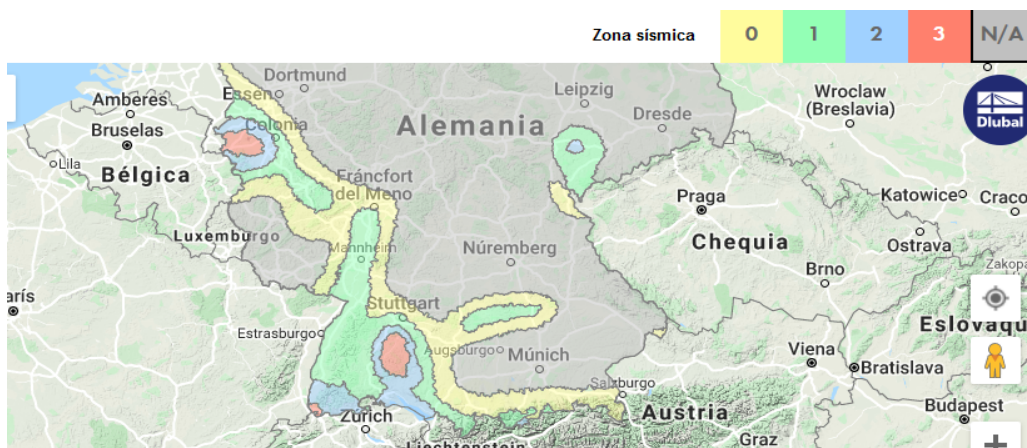
Las zonas sísmicas en Alemania (figura 56) son:



**Figura 56: Zonas sísmicas en Alemania**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG<sup>274</sup> (2019).

Se observa en el mapa detalle (figura 57) arriba a la derecha los valores de las zonas sísmicas que se enumeran del 0 en amarillo al 3 en rojo. Las zonas en gris no se aplica el criterio de sismicidad porque no existe esa posibilidad.



**Figura 57: Detalle de las zonas sísmicas de Alemania**

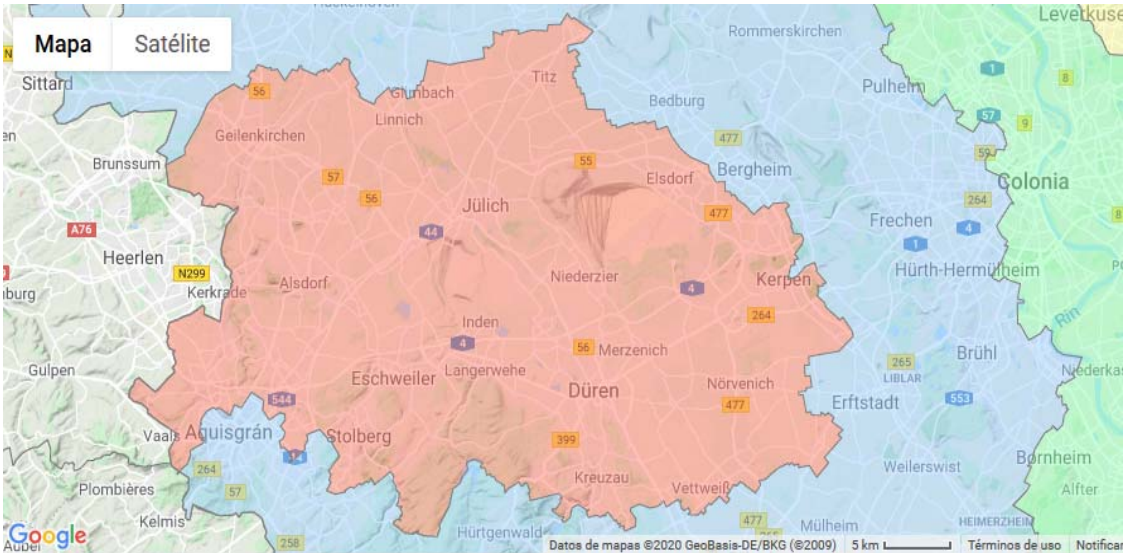
Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

<sup>274</sup> Das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), la Agencia Federal de Cartografía y Geodesia en Alemania, como autoridad federal superior, es responsable de todos los asuntos de cartografía y geodesia.



Las zonas con mayor sismicidad se encuentran en el oeste (figura 58) y sudoeste (figura 59) de Alemania, así como una pequeña zona situada al este (figura 60) de Alemania. Destacan:

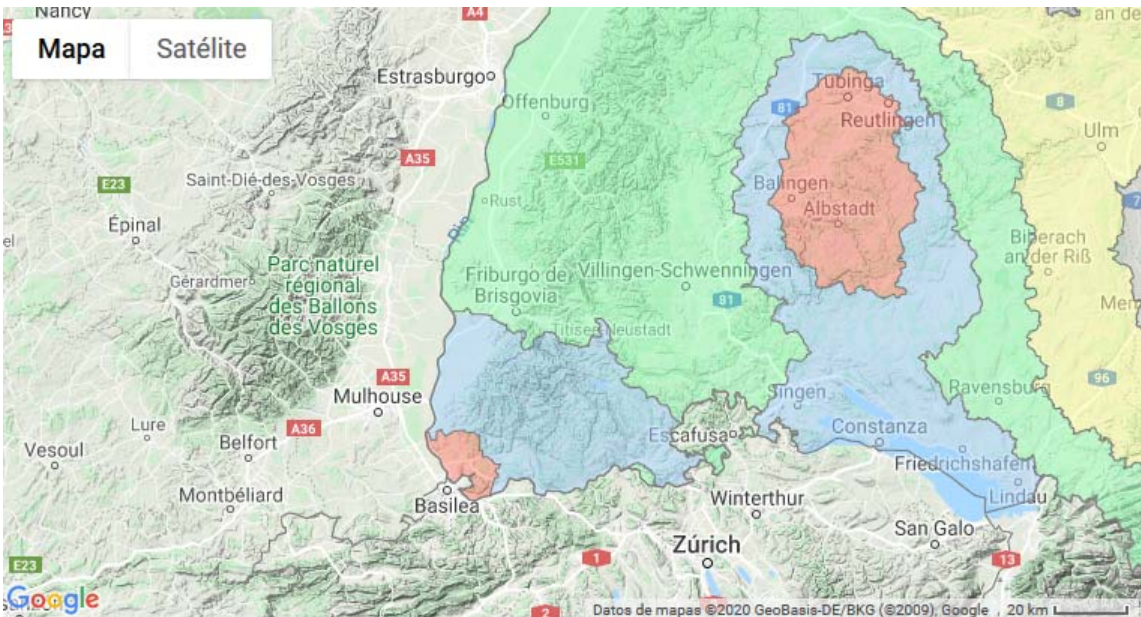
**Zona sísmica oeste: Renania del Norte-Westfalia.**



**Figura 58: Zona sísmica oeste Alemania**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

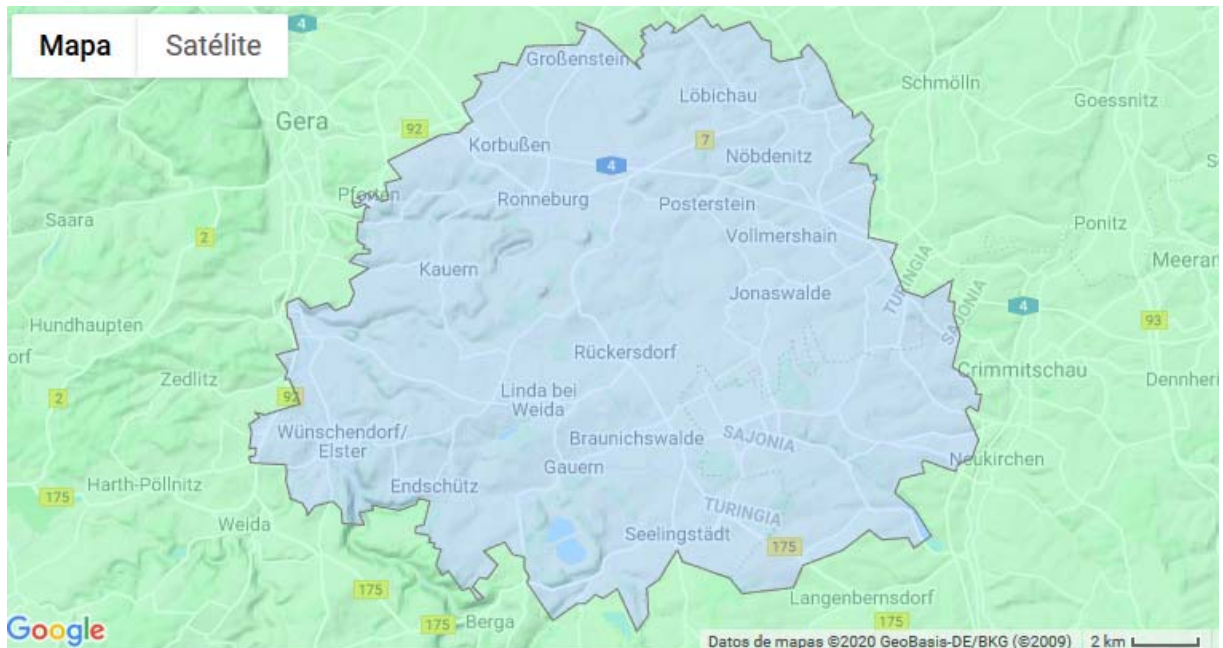
**Zona sísmica sur: Baden-Wurtemberg.**



**Figura 59: Zona sísmica sudoeste Alemania**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

Zona sísmica este: Sajonia.



**Figura 60: Zona sísmica este Alemania**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

### 1.3. FUENTES TERMALES

En cuanto a las fuentes termales y balnearios existentes en Alemania, los más destacados por las temperaturas de surgencia de sus aguas son:

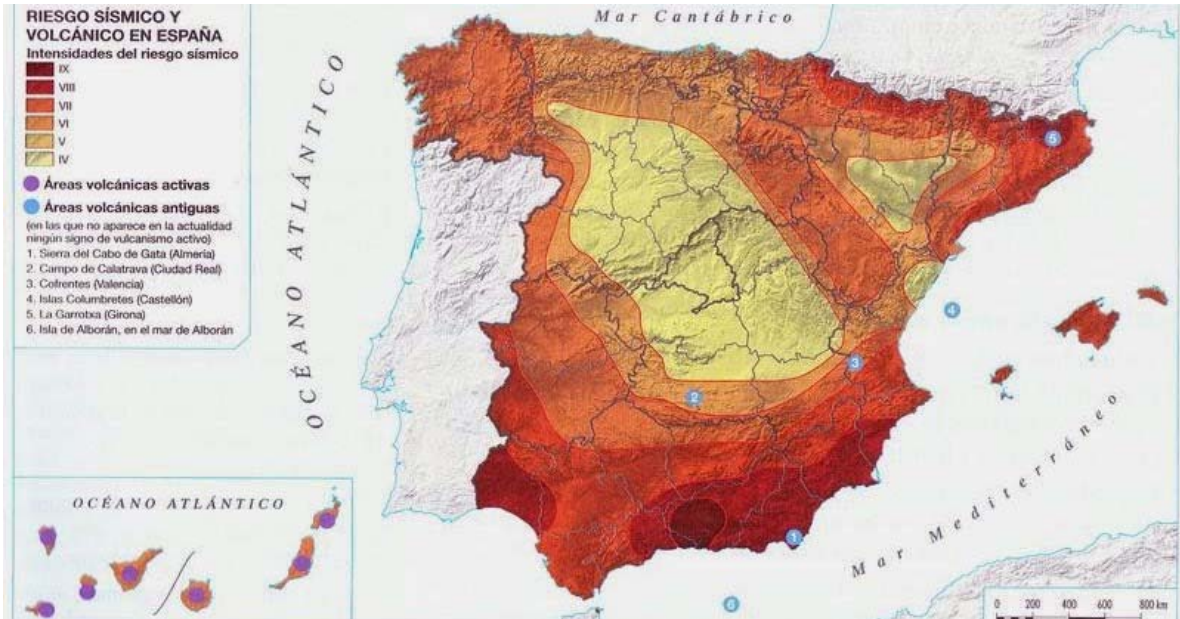
- **Aachen – 74 °C**
- **Bad Dürkheim – 60-90 °C**
- **Bad Füssing – 56 °C**
- **Bad Griesbach – Destaca la fuente Nikolaus con 60 °C**
- **Wiesbaden – 66 °C**



## 2. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN ESPAÑA

### 2.1. ZONAS VOLCÁNICAS

En España las zonas volcánicas están repartidas como se indica en la figura 61.



**Figura 61: Zonas volcánicas en España**

Fuente: Martín Vide y Olcina Cantos (2001). "Climas y tiempos de España".

En la figura 61 se observa en color azul las zonas volcánicas antiguas y donde en la actualidad no existe actividad volcánica, aunque nada indica que estén inactivas, y en color morado las zonas volcánicas activas en la actualidad. Todas ellas en las Islas Canarias.

Hay que decir, que las zonas volcánicas no se sitúan solo en la superficie terrestre, sino que muchos volcanes están debajo del mar, como ocurre en la isla de El Hierro. Las áreas volcánicas más destacadas están situadas en las Islas Canarias, la Comarca de La Garrotxa en Girona, la zona de Olot, Barcelona, Navarra, País Vasco, Islas Baleares, Orense, Vigo, Campos de Calatrava en Ciudad Real, Islas Columbretes en Castellón, Cofrentes en Valencia y todo el

cinturón sur, incluida la Isla de Alborán en el Mar de Alborán y Melilla, con el Monte Gurugú, que es un antiguo volcán inactivo, situado en la provincia de Nador (Marruecos), vecino a Melilla, donde en la actualidad se ha instalado un balneario con baños de agua termal. Los principales volcanes de la Península Ibérica son:

### **Volcanes en Almería**

- **Cabezo María:** Es un cabezo<sup>275</sup>, con forma de cono volcánico en el municipio de Antas, situado al norte de la sierra Cabrera, también de origen volcánica.

- **Cabezo Montoro:** Volcán del campo volcánico de Cuevas del Almanzora.

- **Cañada Honda:** Se trata de un paraje y también los restos de un volcán extinto situado al Oeste del pueblo del campo volcánico<sup>276</sup> de Coto de Vera.

- **Cerro Coscojar:** Formación volcánica situado en el campo volcánico de Vera. Entre los conos volcánicos más destacados se encuentran Coscojar y Garrapancho. Esta formación se formó cuando esta zona estaba sumergida por el mar.

- **Cerro del Hoyazo:** Conocido como Volcán de la Granatilla o el Hoyazo de Níjar es un estratovolcán situado en la sierra Alhamilla, en el sur de la provincia de Almería.

- **Majada Redonda:** Situado en el Cabo de Gata-Níjar, se trata de una gran caldera volcánica abierta por la parte Oeste.

### **Arco orogénico del Bético-Rif**

- **Volcán de Cofrentes o del cerro de Agradas o Cerro Negro:** Constituye el único afloramiento volcánico reciente en la Comunidad Valenciana. Se trata de los

---

<sup>275</sup> Se denomina cabezo a un cerro alto o cumbre de una montaña.

<sup>276</sup> Un campo volcánico es un área de la corteza terrestre que es propensa a tener una actividad volcánica localizada. Por lo general, contienen de 10 a 100 volcanes.

restos de un estratovolcán estromboliano constituido por un cono de piroclastos<sup>277</sup>, coladas<sup>278</sup> y lava basáltica.

- **Las Islas Columbretes:** Conjunto de cuatro grupos de islas volcánicas situadas al este del cabo de Oropesa, integradas en el término municipal de Castellón de la Plana, en la provincia de Castellón. Los grupos de islas son: la Columbrete Grande, La Ferrera, La Horadada y El Bergantín.

- **La provincia volcánica de Alborán:** Comprende la costa Sudeste de España, el mar de Alborán y la costa marroquí y argelina.

### **Volcanes de las Islas Canarias**

- **Alto de Guajara:** Es el pico más alto de los que constituyen el anfiteatro de Las Cañadas del Teide en Tenerife, de etiología volcánica.

- **Caldera de Bandama:** Caldera volcánica de grandes dimensiones y paredes escarpadas, situada en el noreste de la Isla de Gran Canaria y cuya última erupción tuvo lugar hace, aproximadamente, 1970 años, pudiendo ser la erupción más reciente de Gran Canaria.

- **Caldera de los Marteles:** Caldera volcánica de Gran Canaria.

- **Tubo volcánico de La Corona:** Tubo volcánico de aproximadamente 6 km de longitud en el norte de Lanzarote, Islas Canarias. Los tubos de lava, o tubos volcánicos, son cuevas volcánicas, usualmente con forma de túneles.

- **Tubo volcánico de Cueva de Las Palomas:** Conocido como tubo volcánico de Todoque, es un tubo de lava en La Palma, Islas Canarias.

---

<sup>277</sup> Se llama piroclasto (del griego πῦρ pyr 'fuego' y κλαστός klastós 'roto') o tefra (del griego "ceniza"), a cualquier fragmento sólido de material volcánico expulsado a través de la columna eruptiva arrojado al aire durante una erupción volcánica.

<sup>278</sup> En vulcanología, una colada de lava es un manto de lava fluida, emitido por un volcán durante sus erupciones.

- **Volcán Tagoro:** Volcán submarino de la Isla de El Hierro bautizado con este nombre en 2016. Tras 6 meses de erupción se formó un edificio volcánico submarino a 400 metros de profundidad, cuya cima principal quedó a 89 metros con respecto a la superficie del mar, alcanzando una altura de 312 metros.
- **Volcán de Fuencaliente:** Fue creada tras la erupción del volcán de Cumbre Vieja, en La Palma, Canarias, que tuvo lugar en 1677. Se crearon más de 16 pequeños conos y las coladas del volcán destruyeron el balneario de Fuente Santa. Actualmente sólo quedan las coladas del volcán y los conos más pequeños.
- **Jameos del Agua:** Situado en el norte de la isla de Lanzarote, en las Islas Canarias, la palabra "jameo" es de origen guanche<sup>279</sup> y se refiere a un agujero que se produce como consecuencia del hundimiento del techo de un tubo volcánico. Los Jameos del Agua, al igual que la Cueva de los Verdes, se localizan en el interior del túnel volcánico producido por la erupción del Volcán de la Corona y que discurren bajo la superficie marina, tomando este último tramo el nombre de Túnel de la Atlántida.
- **La Tarta del Teide:** Se trata de una serie de coladas volcánicas solidificadas que se encuentran en un extremo del Parque Nacional del Teide en la isla de Tenerife, Islas Canarias.
- **Los Ajaches:** Constituyen una formación volcánica antigua situada al sur de la isla de Lanzarote, Canarias.

---

<sup>279</sup> Guanche es el nombre que se aplica a los antiguos aborígenes de la isla de Tenerife, Canarias, España, quienes la habitaban antes de la conquista castellana en 1496. Se trata de uno de los pueblos aborígenes de Canarias entroncados genética y culturalmente con los bereberes del norte de África y étnicamente con los germanos.

- **Pico Viejo o Montaña Chahorra:** Volcán situado en la isla de Tenerife, Canarias. Su cráter, de unos 800 metros de diámetro, es uno de los cráteres satélites que se reparten alrededor del Teide.

- **Volcán Chinyero:** Ubicado dentro de los límites municipales de Santiago del Teide. Se trata de un volcán monogénico<sup>280</sup> de 1.561 metros de altitud situado próximo al Teide y que está actualmente inactivo.

- **Teide:** En guanche Echeide o Echeyde, es un volcán situado en la isla de Tenerife, en las Islas Canarias. Es el pico más alto del país, el de cualquier tierra emergida del océano Atlántico y el tercer mayor volcán de la Tierra desde su base en el lecho oceánico, después del Mauna Kea y el Mauna Loa, ambos en Hawái. La altitud del Teide convierte además a la isla de Tenerife en la décima isla más alta del mundo. Se trata de un gran estratovolcán de tipo vesubiano que se mantiene dormido, contando con fumarolas que emite regularmente desde su cráter.

- **Teneguía:** Volcán situado en la isla de La Palma, Islas Canarias. Su nombre proviene de un roque<sup>281</sup> cercano que contiene petroglifos auaritas<sup>282</sup> cuyo nombre derivaría de Tiniguiga (te-n-egiga) 'una del vapor (caliente) o humo' en ínsuloamazigh<sup>283</sup>.

- **Volcán de en medio:** Volcán submarino situado entre las islas Tenerife y Gran Canaria en el Archipiélago Canario. Este volcán tiene tres kilómetros de base y

---

<sup>280</sup> Volcán monogénico, es decir, con un solo origen o cuyos elementos son de la misma naturaleza.

<sup>281</sup> La palabra roque presenta en Canarias el significado de 'elevación rocosa y muy escarpada, que puede encontrarse en tierra o en el mar'. En algunos topónimos designa una especie de monolito natural, resto erosivo aislado que destaca sobre una cumbre. En otros topónimos canarios designa una especie de peñón sobre el mar. No existe constancia de que la palabra roque se emplee con este significado en algún otro territorio de habla española.

<sup>282</sup> Son importantes grabados rupestres auaritas, de origen canario, que suelen adoptar forma de espiral o laberinto, así como líneas serpentiformes.

<sup>283</sup> Voces volcánicas. Idioma bereber (antiguo idioma bereber de las islas Canarias).

está situado a 2.100 metros de profundidad. En las profundidades, cerca del volcán existe además una falla de aproximadamente 35 kilómetros.

- **Volcán San Juan:** Volcán situado en La Palma, Islas Canarias.

### **Volcanes de Castilla-La Mancha**

- **Región volcánica del Campo de Calatrava:** Constituye, junto con la de Olot, en Gerona, y la de Cabo de Gata, en Almería, una de las tres zonas de vulcanismo reciente más importantes de la península ibérica. Algunas de las principales localidades que quedan incluidas dentro del área son Ciudad Real, Miguelturra, Almagro, Daimiel y Bolaños.

- **Hoya del Acebuche o de Los Frailes:** Es un maar<sup>284</sup> del municipio de Almagro, en la provincia de Ciudad Real. Pertenece a la Provincia Volcánica de Calatrava. El Maar o Hoya de Acebuche es un cráter de un antiguo cono volcánico que colapsó, situándose sobre un suelo de cuarcita mezclada con rocas volcánicas de la propia hoyo.

- **Cráter volcánico de la Laguna del Lucianego:** Este cráter se encuentra en el término municipal de Piedrabuena, en la provincia de Ciudad Real. Se trata de un maar originado por una explosión freatomagmática es decir por el contacto entre el magma y las aguas subterráneas. Son visibles los lapillis acrecionales<sup>285</sup> que vienen a poner de manifiesto ese origen explosivo.

---

<sup>284</sup> Un maar es un cráter volcánico ancho y bajo, producido por una erupción freático-magmática, es decir, una explosión causada por agua subterránea que entra en contacto con lava caliente o magma. Los maares suelen llenarse de agua, formando un lago de cráter o laguna cráterica de poca profundidad.

<sup>285</sup> Agregado de partículas humedecidas en torno a un núcleo que se genera en las columnas eruptivas como consecuencia de procesos relacionados con la tensión superficial de las partículas, mineralizaciones secundarias, diferencia en la velocidad de caída de dichas partículas en el seno de las columnas eruptivas y diferencia en el aporte de material a lo largo de la formación del agregado. El lapilli acrecional se asocia a la presencia de agua en el proceso eruptivo.

- **Hoya de Cervera:** Es un maar ubicado entre los municipios españoles de Almagro y Aldea del Rey, en la provincia de Ciudad Real, al este de la Hoya del Acebuche. Pertenece a la Provincia Volcánica de Calatrava.
- **Volcán El Aprisco:** Se trata de un antiguo estratovolcán. Está entre los límites de Almagro y Aldea del Rey.
- **La Laguna de la Posadilla o de Fuentillejos:** Es un maar, una laguna en un cráter de explosión hidromagmática. Se encuentra en Valverde, en el término municipal de Ciudad Real. La laguna se formó por la explosión producida por el contacto entre la lava y una capa de aguas subterráneas.
- **Volcán de la Arzollosa:** Situado en el término municipal de Piedrabuena, en la provincia de Ciudad Real. El edificio volcánico es uno de los mejor formados del Campo de Calatrava con un gran manto y algunas coladas. Se trata de un volcán tipo estromboliano y se pueden ver además de basaltos diferentes materiales como bombas volcánicas de gran tamaño.
- **Volcán del Alhorín:** Esta zona sustenta elementos geológicos de origen volcánico de gran interés, y que tienen la consideración de elementos geológicos de protección especial. Se ubica en el término municipal de Solana del Pino, en Ciudad Real.
- **Pitón volcánico de Cancarix:** Situado en la Sierra de las Cabras, en la pedanía de Cancarix del municipio de Hellín, Albacete. Se trata de un domo<sup>286</sup>

---

<sup>286</sup> En vulcanología, un domo de lava o domo tapón es un montículo aproximadamente circular que se origina en una erupción lenta de lava viscosa de un volcán. La viscosidad, o adherencia, de la lava no permite que la lava fluya demasiado lejos de su chimenea antes de solidificarse. Los domos pueden alcanzar alturas de varios cientos de metros, y pueden crecer lentamente y en forma continua durante meses e incluso años. Los lados de estas estructuras están formados de trozos inestables de roca. Debido a la posibilidad de acumulación de presión de gas, el domo puede a lo largo de su historia sufrir erupciones explosivas. Cuando una parte de un domo de lava colapsa cuando aún contiene roca fundida y gases, puede producir un flujo piroclástico, que es una de las formas más letales de incidentes volcánicos. Otros peligros relacionados con los domos de lava son la destrucción de propiedades, incendios forestales, y lahars (flujo de sedimento y agua que se moviliza desde las laderas de volcanes) iniciados por flujos

volcánico descubierto por la erosión. No es un pitón en su verdadero significado, ya que los roques denominados pitones son más angostos y tienen forma de obelisco. La diferencia entre los dos es que en un verdadero pitón volcánico no se forma disyunción columnar como en el de Cancarix, ya que al ser lava muy viscosa y de baja temperatura se solidifica violentamente al disminuir la presión durante la propia erupción, mientras que en el caso de la disyunción columnar el enfriamiento de la lava se va produciendo lentamente, como en este caso.

### **Volcanes de Cataluña**

- **Aiguanegra:** Cono volcánico que pertenece a la zona volcánica de La Garrotxa. Situado en el municipio de Sant Joan les Fonts, en la provincia de Girona.

- **Banya de Boc:** Cono volcánico de la provincia de Girona, en Cataluña, situado dentro del municipio de San Martín de Liémana. Pertenece a la Región volcánica de La Garrotxa. El volcán tiene una forma cónica perfecta, con un cráter muy apreciable.

- **Volcán de Camprodón:** Estratovolcán del municipio de Santa María de Marlés, en la provincia de Barcelona. Está erosionado y pertenece a la región volcánica de La Garrotxa. En su cima, se encuentra el pueblo de Sant Pau de Pinos.

- **Castillo de Hostalrich:** Es un cono volcánico achatado, en que toda la capital se asienta casi sobre el mismo volcán. La cima más alta del volcán es donde se encuentra el castillo. La colina donde se asienta se formó con la destrucción de la chimenea volcánica, que formó columnas basálticas, casi parecido al del volcán Cancarix. Se puede encontrar restos de coladas de lava que expulsó el volcán y que salpican los alrededores de la ciudad. El volcán de Hostalric se sitúa en la zona volcánica de La Selvá, que pertenece a la región volcánica de La

---

piroclásticos en proximidades de zonas de nieve o hielo. Los domos de lava son uno de los principales rasgos de estratovolcanes en todo el mundo.



Garrotxa. El castillo que se encuentra en su cima está construido con rocas volcánicas procedentes de la misma montaña.

- **La Closa de Sant Dalmai:** Maar situado entre los anales de los municipios de Bescanó y Viloví de Oñar, situado en la provincia de Girona. Pertenece a la región volcánica de La Garrotxa, en la zona de La Selvá.

- **Montori de Rupiá:** Cono volcánico de la provincia de Girona, entre los límites de los municipios de Rupiá y Foixá, situándose sobre la capital municipal de Rupiá. El volcán tiene forma elíptica y se eleva de forma cónica. Su cráter está totalmente desaparecido. Pertenece a la Región volcánica de La Garrotxa, en la zona del Ampurdán.

- **Puig Marí:** Estratovolcán de la provincia de Girona, en el municipio de Massanet de la Selva. Pertenece a la Región volcánica de La Garrotxa, en la zona de La Selvá. Se trata de un estratovolcán de forma cónica. Su cráter, está desaparecido debido a la erosión. Está rodeado de coladas de lava y antiguos conos parásitos del propio volcán. El volcán tuvo muchas fases de erupción volcánica. En sus laderas, se pueden encontrar bombas volcánicas. Cerca se encuentra la zona de Caldas de Malavella.

- **Región volcánica de La Garrotxa o de Olot:** Es una provincia volcánica de la Provincia volcánica cenozoica de la Europa Central. La región comprende casi toda la provincia de Girona, media parte de la provincia de Lleida y una parte de Barcelona, en la Comunidad Autónoma de Cataluña.

- **Vilacolum:** Son los restos de un antiguo cono volcánico; en el municipio de Torroella de Fluviá, en la provincia de Girona. Pertenece a la Región volcánica de La Garrotxa, en la zona de Ampurdán. El volcán de Vilacolum ha sufrido la erosión de forma constante. Tiene forma de bóveda y es un domo.

- **Croscat:** Volcán estromboliano que se encuentra en el noroeste del municipio de Santa Pau, en la comarca de La Garrotxa en Girona, comunidad autónoma de Cataluña. La emisión de lavas fluidas y una serie de explosiones de moderada violencia dieron lugar a un cráter en forma de herradura.
- **Volcán de Santa Margarita:** Antiguo volcán de la región volcánica de Olot, en el municipio de Santa Pau, en La Garrotxa.
- **Volcán Montsacopa:** Es el último volcán que se formó en Olot. Su cráter redondeado es producto de una erupción estromboliana poco explosiva primero y de una más explosiva (freatomagmática) después. Este cráter es único en el Parque Natural de la Zona Volcánica de la Garrotxa al no haber sido deformado por coladas de lava al final de la erupción.
- **Andesita de Vilancós:** Son los restos de un cono volcánico situado en el municipio de Sarroca de Bellera, en la provincia de Lleida.
- **Puerto de Oli:** Es un puerto de montaña que se sitúa dentro de la pequeña región volcánica de Vilancós. Se sitúa entre los municipios de Sarroca de Bellera y La Torre de Cabdella, en la provincia de Lleida. El collado se sitúa entre los pueblos de Castellvell de Bellera y Guiró y está situado sobre los restos de una fisura y dos volcanes que se formaron a partir de ella.
- **Riolita de Aguiró:** Es una colada de lava situado en el municipio de La Torre de Cabdella, sobre el pueblo de Aguiró. Esta colada se formó a partir de una fuerte erupción. Está situada en la provincia de Lleida, Comunidad Autónoma de Cataluña.
- **Sierra del Cadí:** Considerada como una de las 4 cuencas y calderas volcánicas que comprende los Pirineos catalanes.

- **Erillcastell:** Estratovolcán situado en el municipio de Pont de Suert, en la provincia de Lleida. Es un volcán tipo estratovolcán, con un gran valle redondo muy grande que es la caldera del volcán que está abierta hacia la parte sudoeste.

### Volcanes de Murcia

- **Cabecicos Negros de Fortuna:** Conjunto de pequeños conos volcánicos, situados en la Región de Murcia, en el municipio de Fortuna. Se trata de dos pequeños conos volcánicos. El cono norte son los restos de la pared de un cráter, mientras que el cono sur es muy bajo y achatado, de forma irregular, donde se aprecia la huella de su antiguo cráter.

- **Cabezo<sup>287</sup> Beaza:** Restos de un volcán extinguido del municipio de Cartagena, en la región de Murcia.

- **Cabezo Negro de Tallante:** Volcán extinguido situado al norte del municipio de Cartagena, en el pueblo de Tallante en la Región de Murcia. Se trata de un cono volcánico convertido en un domo a causa de la erosión, y con forma de cabezo.

- **Cabezo de Los Rincones de Mazarrón:** Pequeño conjunto de conos volcánicos que pertenece al municipio de Mazarrón, en la Región de Murcia. Se sitúa al sur de la sierra del Algarrobo. Es el cono volcánico más alto, de forma redondeada.

- **El Carmolí:** Cono volcánico procedente de un volcán extinguido situado a orillas del Mar Menor y junto al pueblo de Los Urrutias, en el municipio de Cartagena, Región de Murcia.

- **Isla del Ciervo:** Es una isla formada por dos antiguos conos volcánicos. Como la mayoría de las islas del Mar Menor, están erosionados. Situada al sur de La

---

<sup>287</sup> Se denomina cabezo a un cerro alto o cumbre de una montaña.

Manga del Mar Menor, en el término municipal de Cartagena en la Región de Murcia.

- **Isla del Sujeto:** Es la cima de un cono volcánico submarino. Es la única isla que conserva un cráter más o menos apreciable. Situada al sur de La Manga del Mar Menor, en el término municipal de Cartagena en la Región de Murcia.

- **Isla Grossa:** Es una isla del mar Mediterráneo, perteneciente al municipio de San Javier en la Región de Murcia. Al este de la isla se sitúa un islote, también de origen volcánico, denominado El Farallón. La isla forma un cono volcánico perfecto, pero bastante erosionado.

- **Isla Mayor o Isla del Barón:** Isla española situada casi en el centro del Mar Menor en el municipio de San Javier de la Región de Murcia. Se trata de un cono volcánico extinguido y de perímetro redondo. La Isla Mayor está totalmente ocupada por un pequeño estratovolcán. Contiene un cráter muy erosionado que claramente se puede apreciar en la cima.

- **Isla Perdiguera:** Isla volcánica situada en el centro del Mar Menor, en el municipio de San Javier de la Región de Murcia, y próxima a la Isla Mayor.

- **Isla Rondella o Isla Redonda:** Isla volcánica situada al sur de La Manga del Mar Menor, en el término municipal de Cartagena, Región de Murcia.

- **Los Pérez:** Es una caldera volcánica situado en el municipio de Cartagena, en la Región de Murcia.

- **Pico Cebolla:** Cono volcánico situado entre los límites del Cartagena y Fuente Álamo de Murcia, Región de Murcia. Es muy redondo y achatado.

- **Volcán Aljorra:** Son los restos de un volcán extinguido situado en el municipio de Cartagena, Región de Murcia.

- **Volcán de La Celia:** Cono volcánico situado en la región de Murcia, en el municipio de Jumilla. Situándose cerca de la frontera con la provincia de Albacete, y al Norte de la pequeña localidad de La Celia.

- **La Rambla de La Atalaya:** Se trata de un río seco y también un pequeño cono volcánico achatado, en el municipio de Mazarrón, en la Región de Murcia.

- **Volcán Barqueros:** Cono volcánico de la Región de Murcia, entre los límites de los municipios de Murcia y Mula. Son los restos de un cono volcánico colapsado.

### **Volcanes de Aragón**

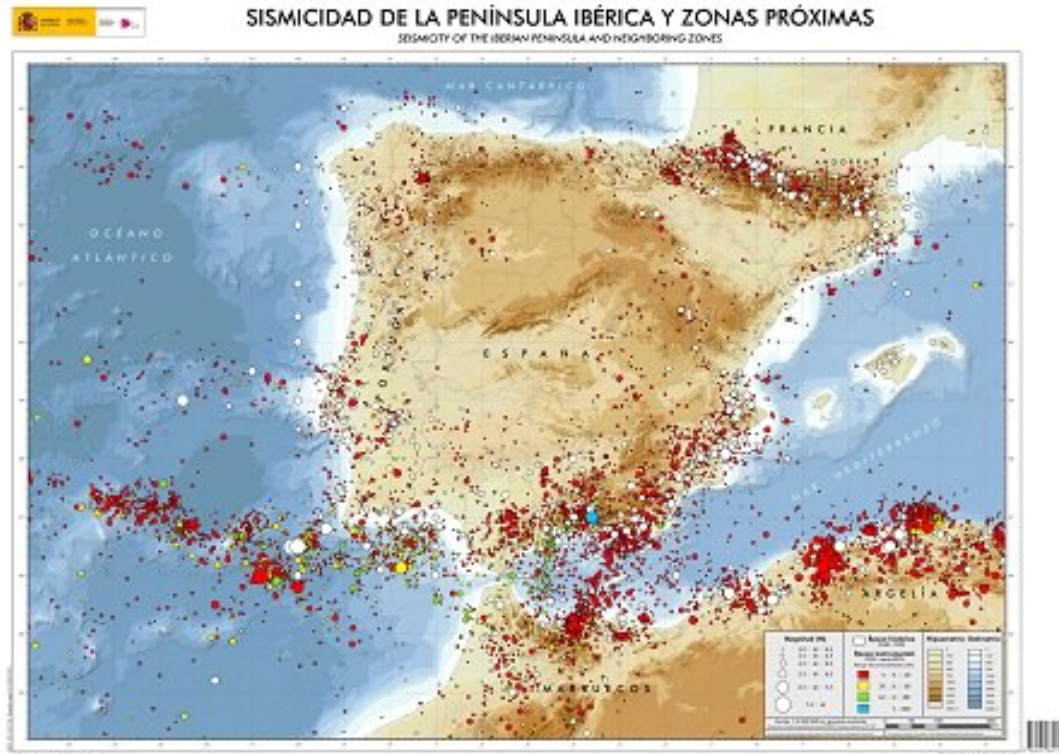
- **Anayet:** Volcán que pertenece a los Pirineos. Se sitúa al norte de Aragón, casi en la frontera con Francia, y no lejos del volcán de Ossau.

## **2.2. ZONAS SÍSMICAS**

En cuanto a los fenómenos sísmicos en España en general y en las Islas Canarias en particular, a continuación, se indican en las figuras 62 y 63 las zonas con mayor actividad sísmica.

La actividad sísmica se representa por puntos rojos, lo que indica que, a mayor acumulación de puntos rojos, mayor es la actividad sísmica.

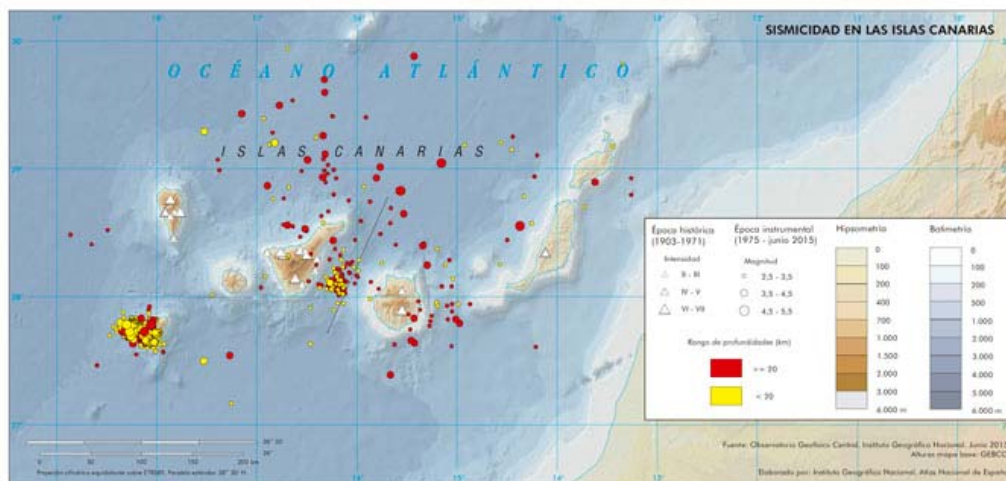
Estos mapas de actividad sísmica se han obtenido de la base de datos y mapas del Instituto Geográfico Nacional.



**Figura 62: Zonas sísmicas en España**

Fuente: Base de datos del Instituto Geográfico Nacional de España (2019).

En las Islas Canarias el mapa de zonas sísmicas se muestra a continuación.



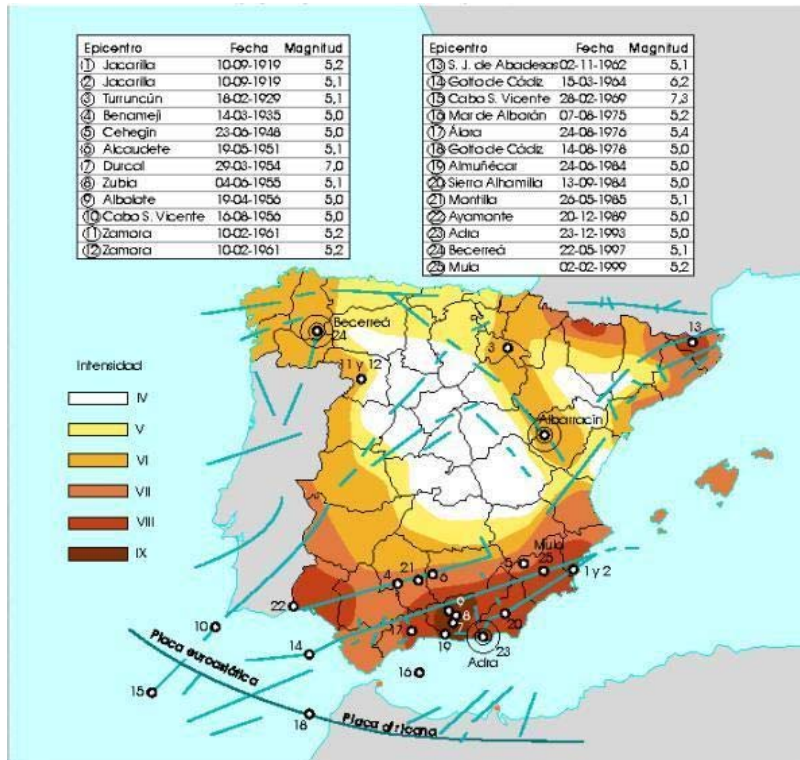
**Figura 63: Zonas sísmicas en las Islas Canarias**

Fuente: Base de datos del Instituto Geográfico Nacional de España (2019).

En la Península Ibérica existen dos placas tectónicas que se encuentran en el sur, en el Mar de Alborán, son la placa africana y la placa euroasiática. El choque de estas dos



placas tectónicas aumenta la actividad sísmica de manera importante como se aprecia en la figura 64.

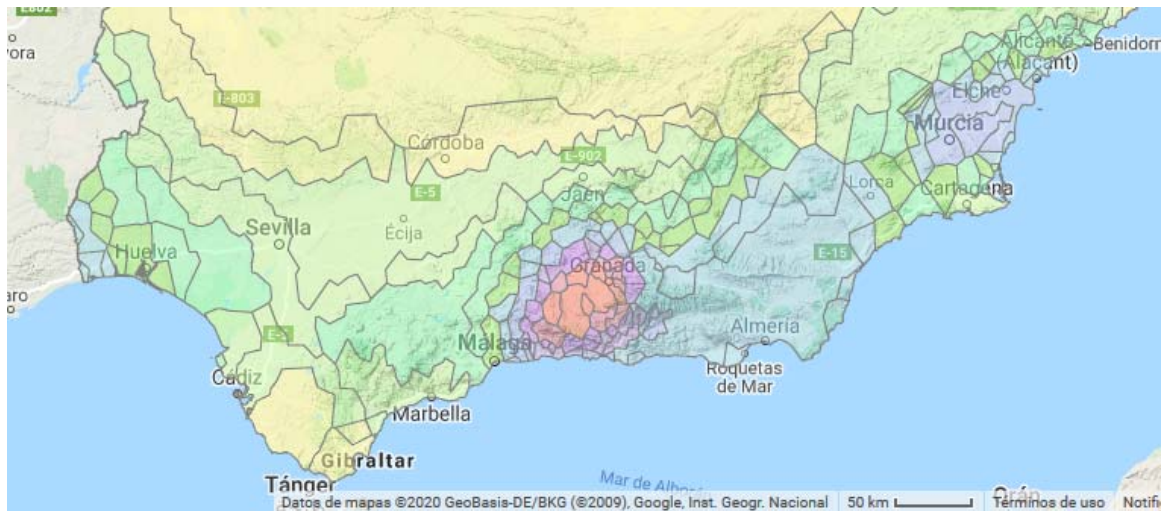


**Figura 64: Placas y subplacas tectónicas que atraviesan la Península Ibérica**

Fuente: Instituto Geológico y Minero de España (2019).

Las zonas que más destacan, en cuanto a sismicidad se pueden observar en las figuras 65, 66, 67 y 68, y son:

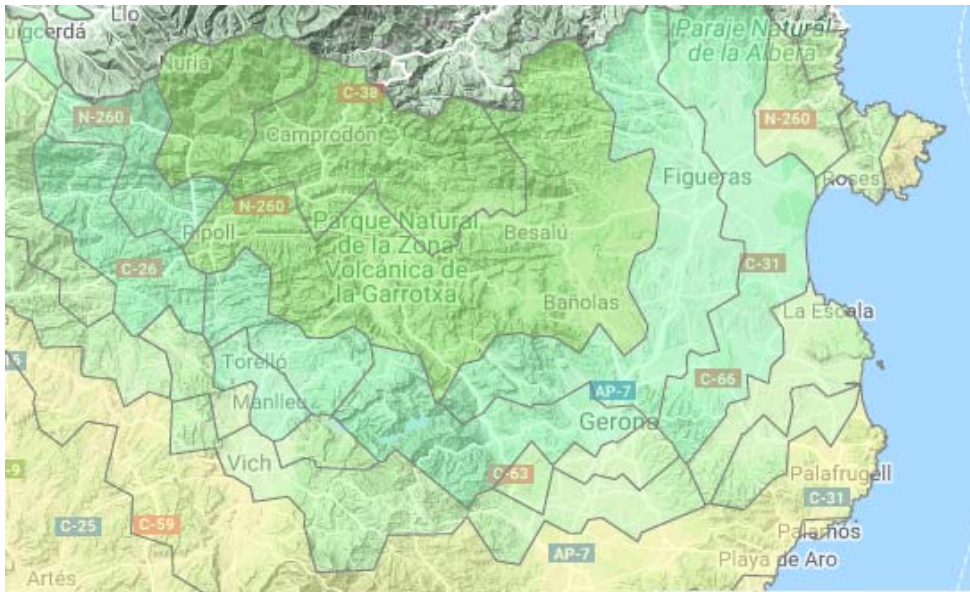
**Zona sur- sudeste: Granada, Huelva, Málaga, Almería, Región de Murcia, Alicante, Mar de Alborán y Melilla.**



**Figura 65: Zona sísmica sur - sudeste de España**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

**Zona este-noreste: Girona.**



**Figura 66: Zona sísmica este-noreste de España**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

**Zona norte: Huesca**



**Figura 67: Zona norte de España**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

**Zona noroeste: Ourense y Lugo.**





**Figura 68: Zona noroeste de España**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG (2019).

Los constantes movimientos de las placas tienen mayor impacto sobre todo en las regiones de Málaga y Melilla. Así mismo, el choque de las dos placas tectónicas es responsable de la variedad de volcanes que existen en España.

### **2.3. FUENTES TERMALES**

La búsqueda de información de las fuentes termales y balnearios se ha realizado a través de la Escuela de Ingenieros de Minas de Madrid. En el libro de las Aguas Minerales en España, Baeza, J. et al. (2001) y en el Vademecum de aguas mineromedicinales españolas (2003) se han encontrado datos muy significativos al respecto y se han escogido una serie de fuentes termales y balnearios cuya temperatura y caudal se adecua a las condiciones de los sistemas propuesto. También se ha encontrado información a través de páginas web.

Se han tenido en cuenta las temperaturas de surgencia de las aguas iguales o mayores de 45 °C, clasificadas como aguas hipertermales y supertermales, así como los caudales de las mismas, y las distancias desde la fuente termal a las zonas pobladas próximas para su posible climatización.

A continuación, se indican las fuentes termales más destacadas por la temperatura de surgencia de las aguas.

### **Fuentes termales españolas:**

#### **Andalucía**

- Balneario San Nicolás, sondeo, Alhama de Almería, Almería: 56°C
- Manantial y Balneario de Sierra Alhamilla, Pechina, Almería: 58°C
- Manantial y Balneario de Graena, Graena, Granada: 44°C

#### **Aragón**

- Manantial y Balneario de Panticosa, Panticosa, Huesca: 47°C

#### **Castilla-León**

- Manantial y Balneario de Retortillo, Retortillo, Salamanca: 48°C
- Manantial de Ledesma, Vega de Tirados, Salamanca: 43°C
- Balneario de Ledesma, Ledesma, Salamanca: 47°C

#### **Cataluña**

- Manantial y Balneario Broquetas, Caldes de Montbui, Barcelona: 68°C
- Manantial y Balneario Vila de Caldes, Caldes de Montbui, Barcelona: 73°C
- Balneario Blancafort, La Garriga, Barcelona: 57°C

- Manantial y Balneario Prats, Caldes de Malavella, Girona: 53°C
- Manantial y Balneario Vichy Catalán, Caldes de Malavella, Girona: 60°C
- Balneario Caldes de Boí (Fuente de la Tartera), Barruera, Lleida: 45°C
- Balneario Caldes de Boí (Manantial de la Estufa), Barruera, Lleida: 53°C
- Balneario Termas Montbrió, Montbrió del Camp, Tarragona: 45°C

### **Comunidad Valenciana**

- Agrupación de Balnearios de Villavieja, Villavieja de Nules, Castellón: 42°C.

### **Extremadura**

- Manantial y Balneario de Montemayor, Baños de Montemayor, Cáceres: 42°C.

### **Galicia**

- Manantial y Balneario de Lugo, Lugo, Lugo: 43°C
- Manantial y Balneario de As Burgas, Orense: 68 °C
- Balneario Laias, Laias, Orense: 48°C
- Baños de Molgas, Baños de Molgas, Orense: 49°C
- Manantial Lobios, Lobios, Orense: 77°C
- Balneario Caldelas de Tuy, Caldelas de Tuy, Pontevedra: 45°C
- Manantial y Balneario Dávila, Caldas de Reis, Pontevedra: 46°C
- Manantial y Termas de Cuntis, Cuntis, Pontevedra: 53°C

- Balneario A Toxa, O Grove, La Toja, Pontevedra: 47°C

### **Murcia**

- Manantial y Balneario de Archena, Archena, Murcia: 52°C
- Manantial y Balneario de Fortuna-Leana, Fortuna, Murcia: 53°C

### **Navarra**

- Baños de Fitero, Fitero, Navarra: 49°C

### **La Rioja**

- Manantial y Balneario de Arnedillo, Arnedillo, La Rioja: 53°C

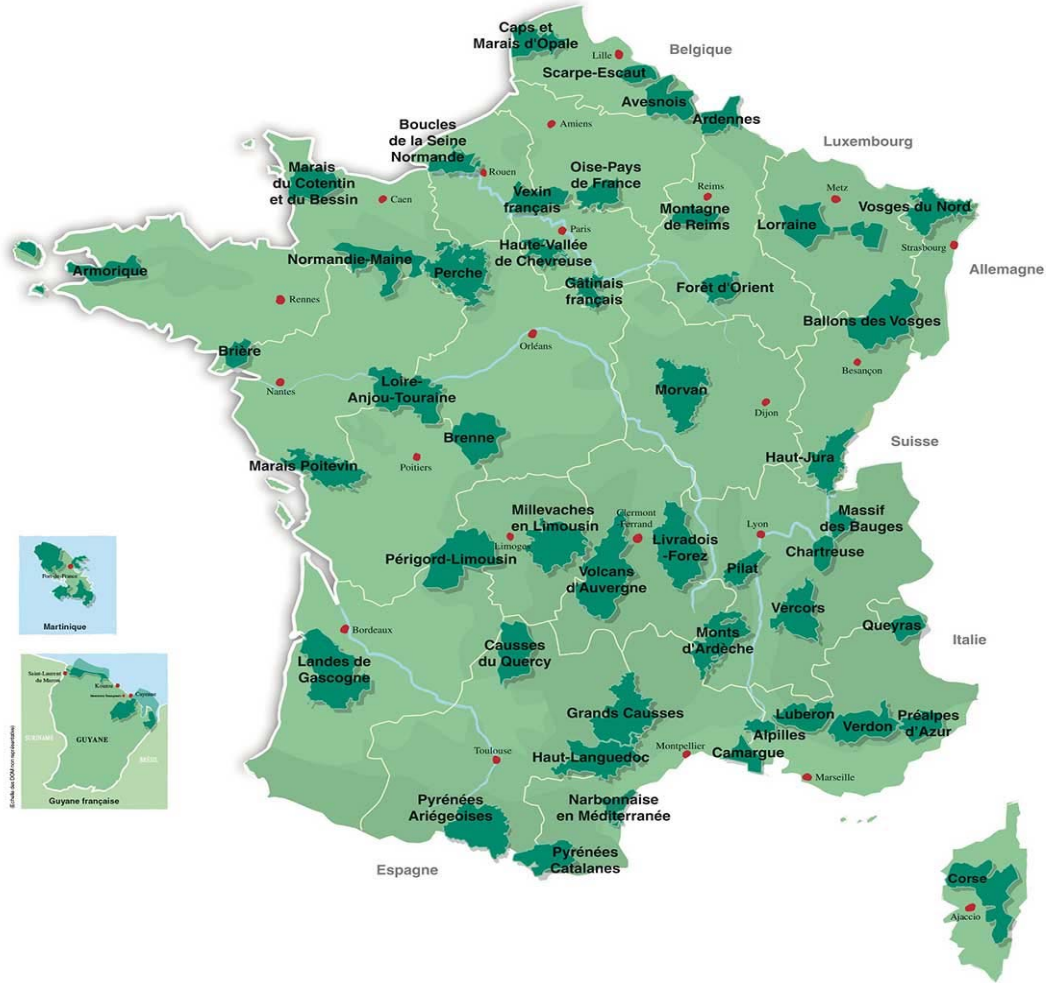
Los datos se encontraron a través del Instituto Geológico y Minero de España, sin embargo, hay que dejar constancia de que existen fuentes termales que no se recogen por no haber datos directos de las temperaturas de surgencia, bien por estar abandonadas, por no haberse realizado estudios y mediciones de las mismas o por no tener datos suficientes para su inclusión en las bases de datos.

## **3. ZONAS VOLCÁNICAS, SISMICAS Y FUENTES TERMALES EN FRANCIA**

### **3.1. ZONAS VOLCÁNICAS**

En Francia las principales zonas volcánicas quedan indicadas en la figura 69.

# CARTE DES VOLCANS DE FRANCE



**Figura 69: Mapa de los volcanes de Francia**

Fuente: Arts-Voyages.

Destacan los siguientes volcanes:

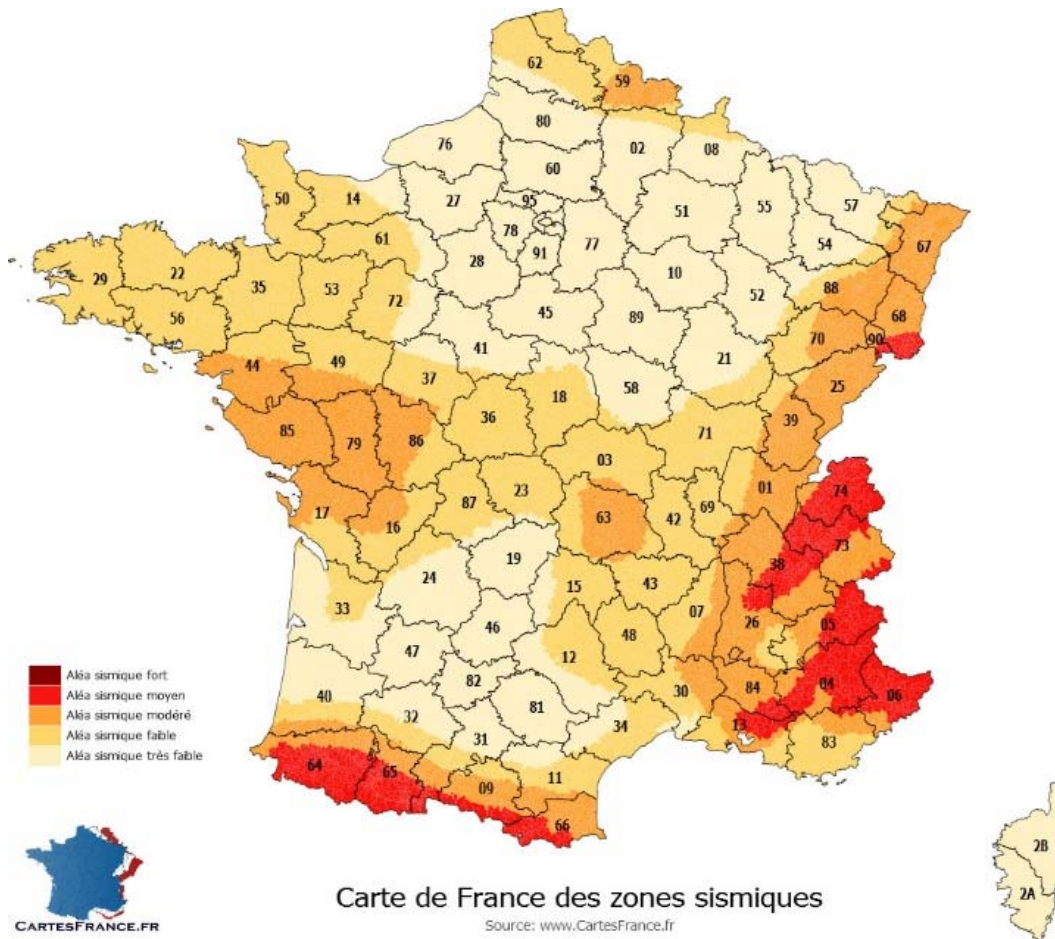
- **Las montañas de Cantal o volcán de Cantal:** Macizo ubicado en el centro-oeste del Macizo Central, en el parque natural regional de los volcanes de Auvergne. Se compone de los restos del estratovolcán visible más grande de Europa.
- **La Chaîne des Puys o las montañas Dôme:** Grupo de 80 volcanes que se extienden más de 45 km en el norte del Macizo Central, Francia. Este grupo es parte de los volcanes de Auvergne.

- **Lago Bouchet:** Lago circular de origen volcánico ubicado en el departamento de Haute-Loire en Auvergne-Rhône-Alpes, en los municipios de Cayres y Bouchet-Saint-Nicolas.
- **Las montañas Dore:** Macizo volcánico ubicado en Francia, al oeste del departamento de Puy-de-Dôme y el centro del Macizo Central. Forman parte de los volcanes del parque natural regional de Auvergne.
- **L'Aubrac:** Meseta alta de origen volcánico ubicado en el centro-sur del Macizo Central y las fronteras de los tres departamentos de L'Aveyron, Le Cantal y La Lozère.
- **El macizo Cézallier:** Meseta volcánica francesa ubicada en el Macizo Central, entre las montañas Dore y las montañas Cantal. Se comparte entre dos departamentos: Puy-de-Dôme y Cantal.

Existen otros volcanes, de los que destacan algunos como Volcan d'Agde, Mont de Thélod, Plateau du Coiron, Plateau de l'Escandorgue, Truc de la Fare, Roc de Peyre, San Peyre y Volcan d'Essey-la-Côte.

### 3.2. ZONAS SÍSMICAS

En cuanto a los fenómenos sísmicos en Francia, las zonas de mayor riesgo se encuentran en las zonas indicadas en el mapa de Francia de zonas sísmicas, recogidas en las figuras 70, 71 y 72.



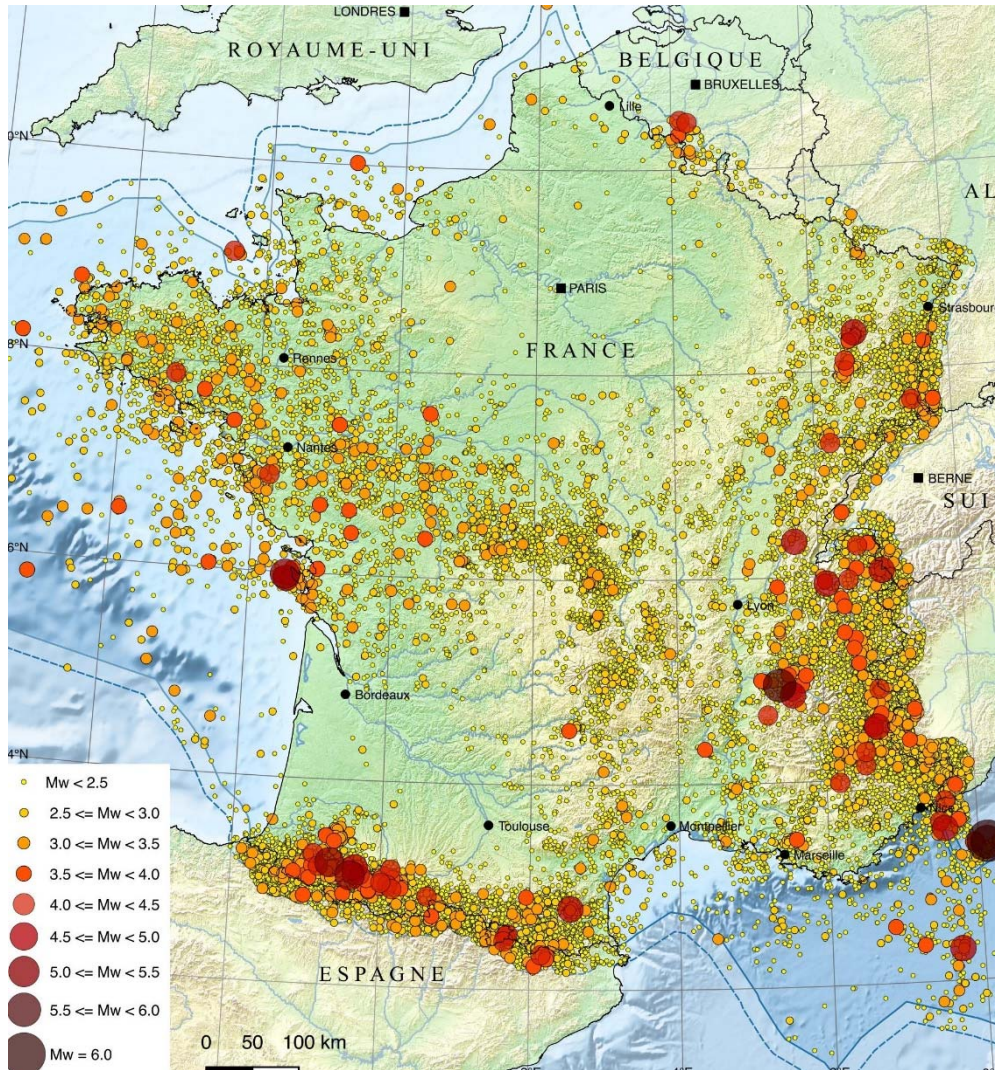
**Figura 70: Mapa de zonas sísmicas de Francia**

Fuente: [www.CartesFrance.fr](http://www.CartesFrance.fr)<sup>288</sup> (2011).

Según la cartografía del Ministerio del Medio Ambiente, la Gironde se encuentra en una zona de bajo riesgo. *Charente Maritime* es parte de áreas de riesgo moderado. Las zonas de riesgo sísmico de medio a fuerte lo componen las zonas: **Alsacia, Midi-Pyrénées, Costa mediterránea y Los Alpes.**

<sup>288</sup> *Carte de France* es un sitio web informativo diseñado en torno a una colección de mapas geográficos franceses.!





**Figura 71: Sismicidad en Francia**

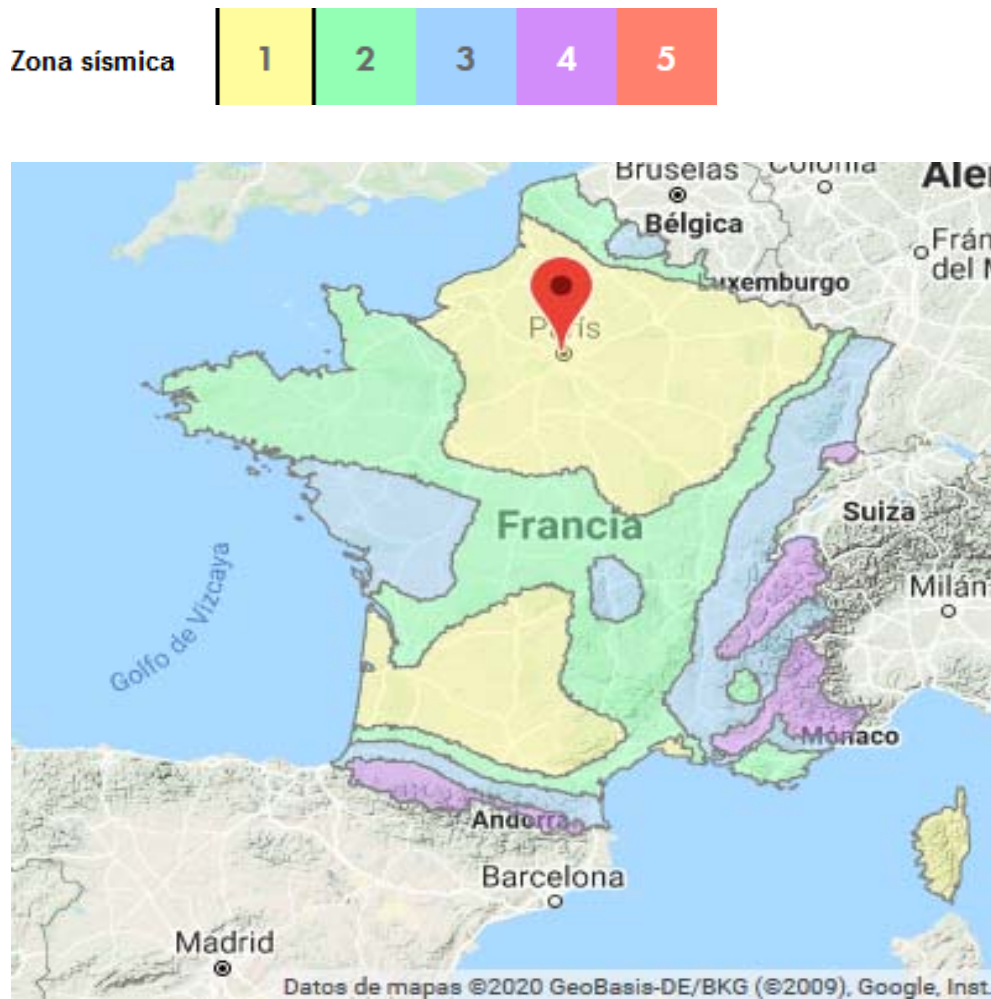
Fuente: Cara, M. et al., (2015). Bureau Central Sismologique Français<sup>289</sup>.

Regularmente las fallas inciden sobre el límite sur del Macizo Armoricano<sup>290</sup> cuya extensión es de unos 65 000 km<sup>2</sup> y se extiende por las regiones de Bretaña, Países del Loira y Normandía occidental.

<sup>289</sup> El Bureau Central Sismologique Français (BCSF) Oficina Sismológica Central Francesa tiene como misión recopilar observaciones sismológicas relacionadas con Francia y facilitar su difusión.

<sup>290</sup> El macizo Armoricano (en francés: massif armoricain) es una antigua cadena de montañas situada al oeste de Europa cuya parte principal (parte de la antigua Armórica) corresponde a Bretaña y a los relieves de Mayenne. Se levantó, junto con la cordillera Cantábrica, tras la apertura del golfo de Vizcaya del que es, junto con la cadena Cantábrica, el respaldo.





**Figura 72: Mapa zonas sísmicas de Francia**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG.

### **Bretaña**

- **La cadena de los montes de Arrée:** Situada al norte.
- **Las montañas Negras:** Situada al sur de Bretagne.
- **Las Landas de Lanvaux, y el Sillon de Bretagne:** Continuación de las montañas Negras hasta Nantes.

### **Mayenne**

- **Monte de los Avaloirs.**

- **Cadena de los Coëvrons.**

### Normandía

- **Señal d'Écouves:** Situado en el departamento de Orne.

### Vendée

- **Las Hauteurs de Gâtine:** Situado en Vendée.

## **3.3. FUENTES TERMALES**

Las fuentes termales y balnearios que se han escogido poseen unas temperaturas que se adecua a las condiciones del sistema propuesto. También se ha encontrado información a través de la web.

Se han tenido en cuenta las temperaturas de surgencia de las aguas iguales o mayores de 45 °C, clasificadas como aguas hipertermales, así como los caudales de las mismas, y las distancias desde la fuente termal a las zonas pobladas a climatizar.

De entre las muchas fuentes termales que existen en Francia, a continuación. se relacionan algunas fuentes destacables, entre otras, cuya temperatura se sitúa en el entorno o superior a los 45 °C:

- **Aix-les-Bains:** Situado a las puertas del Parque natural regional del Macizo de Bauges, en Savoie. Destacan Mélange Victoria con una temperatura de 59.2°C y Forage Chevalley, con una temperatura de 71°C.

- **Ax-les-Thermes:** Se encuentra en Ariège, departamento donde no hay menos de 60 fuentes. Las aguas termales de Ax-les-Thermes pueden alcanzar los 78 °C.

- **Amélie-les-Bains:** Situada en los Pirineos Orientales, sus aguas termales se encuentran a una temperatura comprendida entre los 44 y los 62 °C.
- **Bagnères de Bigorre:** Se encuentra en el departamento de los Altos Pirineos en la región de Midi-Pyrénées. La temperatura de surgencia de sus aguas está comprendida entre los 49 y los 51 °C.
- **Bagnères de Luchon-Superbagnère:** Se encuentra en el departamento del Alto Garona en la región de Midi Pyrénées. La temperatura de sus aguas oscila entre los 65 y los 74 °C.
- **Bagnols-les-Bains:** En Lozère es famosa por sus aguas termales, a 41 °C.
- **Bains-les-Bains:** Se sitúa en el departamento de Vosges, en la región de Lorraine. La temperatura del agua se encuentra entre los 33 y los 53 °C.
- **Bourbon l'Archambault:** Se encuentra en la región de Auvergne, en el departamento de l'Allier. La temperatura de surgencia de sus aguas es de unos 55 °C.
- **Bourbon-Lancy:** Se sitúa en el sur de la Bourgogne, a 80 km de Vichy. La temperatura de sus aguas es de 58 °C.
- **Bourbonne-les-Bains:** Se encuentra en el departamento de la Haute-Marne en la región de Champagne-Ardenne, siendo Bourbonne-les-Bains la única estación termal de esta región. La temperatura de surgencia del agua es de más de 68 °C.
- **Cauterets:** Se encuentra en el departamento de los Altos Pirineos en la región de Occitania, en los Pirineos-Mediterráneo, antigua región de Midi Pirineos. Se

encuentra a 30 kilómetros de Lourdes y a 75 kilómetros de Pau. La temperatura del agua está comprendida entre 53 y 60 °C.

- **Chaudes-Aigues:** La fuente de Par, en Cantal, a unos 30 kilómetros de Saint-Flour, tienen sus aguas a una temperatura de surgencia de 82 °C.

- **Dax:** Situado en el departamento de Landas, posee una fuente hipertermal, cuyas aguas salen a 62 °C. Las Landas también cuentan las fuentes de Eugénie-les-Bains, cuyas aguas surgen a temperaturas de 41 °C.

- **Digne les Bains:** Se encuentra en el departamento de los Alpes de Alta Provençe, en la región de PACA. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 48 °C.

- **Dorres:** Situado frente al Pic du Canigou en los Pirineos Orientales, se beneficia de unas termas romanas cuya agua surge a 40 °C. También cuenta con las fuentes de Saint-Thomas les Bains, Llo y Great Baths en Monêtier-les-Bains.

- **Eaux-Bonnes:** Situado en el Valle de San Valentín, en los Pirineos Atlánticos, se beneficia de la fuente termal Source Vieille a una temperatura de 44 °C.

- **Evaux-les-Bains:** Ubicado en Creuse, posee fuentes termales con aguas naturales cuya temperatura de surgencia es de 65 °C.

- **Jonzac:** Se encuentra a una hora, aproximadamente del Océano Atlántico. La temperatura de surgencia de sus aguas está comprendida entre los 65 y 68 °C.

- **La Bourboule y Mont-Dore:** Situados en Puy-de-Dôme, a 50 kilómetros de Clermont- Ferrand poseen balnearios con fuentes de agua caliente que pueden llegar a alcanzar los 58 °C.

- **La Léchère:** Se encuentra en el departamento de Savoie, en la región de Rhône Alpes, a 25 kilómetros de Albertville y a 21 kilómetros de Courchevel. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 61 °C.
- **Lamalou-les-Bains:** Se sitúa en la región de Languedoc-Roussillon, en el departamento de l'Hérault, a 84 kilómetros al Noroeste de Montpellier. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 52 °C.
- **Luchon:** Situado en Haute Garonne, posee aguas termales a una temperatura de surgencia de 72 °C.
- **Luxeuil les Bains:** Se encuentra en el departamento de la Alta-Saône, en la región de Franche-Comté, a unos 20 kilómetros de Plombières les Bains y a 40 kilómetros al norte de Vesoul. La temperatura del agua está comprendida entre 51 y 63 °C.
- **Néris-les-Bains:** Se encuentra en el departamento de l'Allier en la región de Auvergne y está situado a 8 kilómetros al sur de Montluçon. La temperatura del agua está comprendida entre 50 y 53 °C.
- **Ornolac-Ussat les Bains:** Se encuentra en el departamento de l'Ariège, en la región de Midi Pyrénées y está situado a 15 kilómetros de la ciudad de Fox. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 59 °C.
- **Piétrapola les Bains:** Se encuentra en Córcega en el departamento del Alto Córcega. La temperatura del agua es de 56 °C.
- **Plombières-les-Bains:** Ubicado en el departamento de los Vosgos, tiene varias fuentes de aguas termales cuyas temperaturas varían entre 50 °C y 85 °C.

- **Préchacq les Bains:** Se encuentra en el departamento de les Landes en la región de l'Aquitaine. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 60 °C.

- **Saint Laurent les Bains:** Se encuentra en el departamento de l'Ardèche, en la región de Rhône Alpes. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 53 °C.

- **Saint-Paul-lès-Dax:** Se encuentra en el departamento de les Landes, en la región de la Nouvelle Aquitain y está situado a 3 kilómetros de Dax. La temperatura de surgencia de sus aguas es de 46 °C.

- **Vernet les Bains:** Se encuentra en el departamento de los Pirineos Orientales, en la región del Languedoc Roussillon. La temperatura del agua está comprendida entre 38 y 66 °C.

- **Vichy:** Se encuentra en el departamento de l'Allier, en la región de l'Auvergne. La ciudad de Vichy posee dos termas: Las termas Callou et las termas de Dômes. La temperatura del agua tiene diferentes valores: 34° - 43,5° - 39° - 23,8° - 27° - 66° - 60° y 75° °C.

Los datos de los balnearios y fuentes termales se han encontrado a través de la página web de Les Thermes-fr<sup>291</sup>.

## **4. ZONAS VOLCÁNICAS, SISMICAS Y FUENTES TERMALES EN IRLANDA**

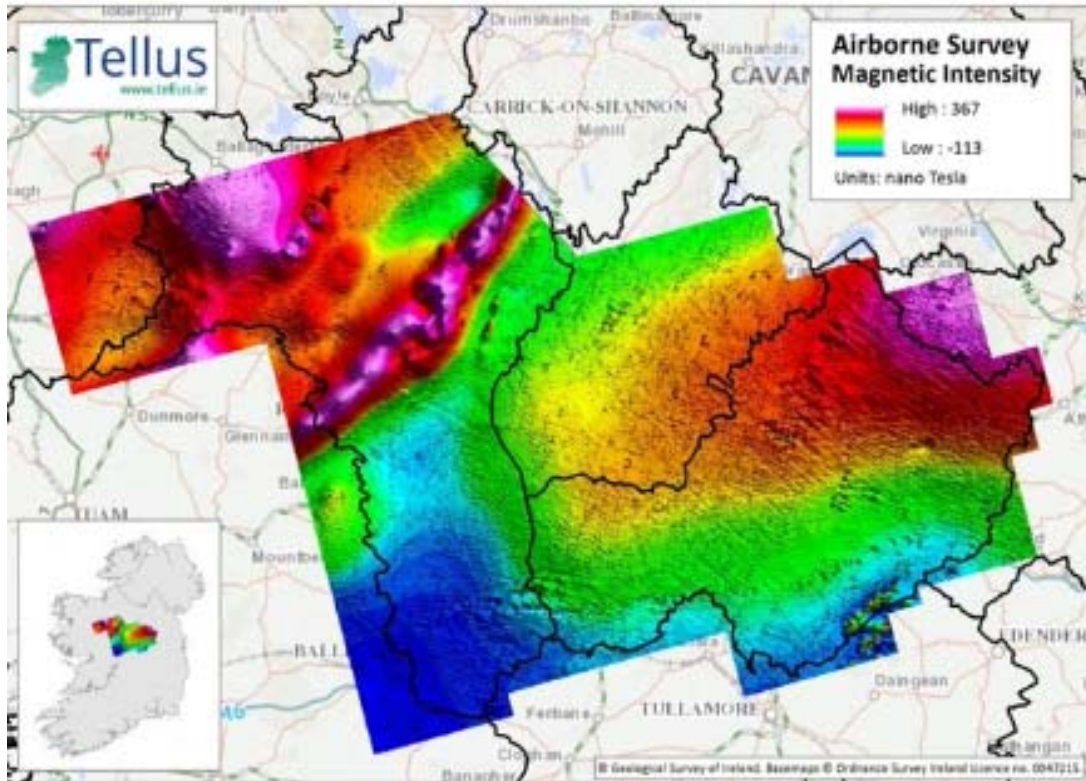
### **4.1. ZONAS VOLCÁNICAS**

En Irlanda se encuentran volcanes de 300 millones de años situados muy por debajo de la superficie de los condados irlandeses de Roscommon, Longford y Westmeath, asociadas a una falla geológica que atraviesa Irlanda y Escocia. Se

---

<sup>291</sup> <https://www.location-cure.net/stations-thermales/sommaire>

utilizó el programa Tellus<sup>292</sup>, una tecnología específica para permitir a los investigadores ver con eficacia a través de los depósitos glaciares profundos y la extensa cubierta de turba que se localizaba en pantanos, repartidos sobre la roca magmática. En Irlanda las zonas volcánicas están repartidas como se indica en el mapa de la figura 73.



**Figura 73: Mapa zonas volcánicas en Irlanda**

Fuente: Hakko Electronics Co., Ltd.

Aunque Irlanda no es conocida por un alto nivel de actividad volcánica en la actualidad, se encuentra el volcán ya extinguido Croghan Hill, Co. Offaly, llamado el "ombligo de Irlanda" porque se encuentra en medio de los grandes pantanos elevados de las tierras medias, cerca del pantano de Allen. También se pueden encontrar restos de mineral de creta en substratos del suelo del norte de la isla,

<sup>292</sup> Tellus, es un programa de mapeo de geociencias terrestres y aerotransportadas, administrado por el Geological Survey Ireland: @GeolSurvIE.

cubiertos por roca basáltica formada hace 65 millones de años gracias a la actividad volcánica, destacando los montes de Mourne y otras formaciones montañosas del norte de Irlanda.

De estas actividades volcánicas quedan restos erosionados de grandes coladas, así como de conos y domos, como es la conocida Calzada de los Gigantes (figura 74).

**Croghan Hill:** Son los restos de un volcán extinto del período carbonífero y se eleva desde el pantano de Allen en el centro de Irlanda en el condado de Offaly. Tiene 234 m de altura. El pueblo de Croghan se encuentra en la ladera sur de la colina.

**Montes de Mourne o Mournes:** Son una cordillera de montañas de granito situadas en el condado de Down, en el Sureste de Irlanda del Norte y son unas de las más conocidas de la isla de Irlanda. La montaña más alta es Slieve Donard, que alcanza una altura de 849 m.

**La Calzada de los Gigantes:** Es un área que contiene unas 40.000 columnas de basalto provenientes del enfriamiento relativamente rápido de la lava en un cráter o caldera volcánica, que ocurrió hace unos 60 millones de años. Se encuentra en la costa nororiental de la isla de Irlanda, unos 4,8 km al norte de Bushmills en el Condado de Antrim, Irlanda del Norte. Se observa en la zona blanca del mapa.





**Figura 74: La Calzada de los Gigantes (Irlanda)**

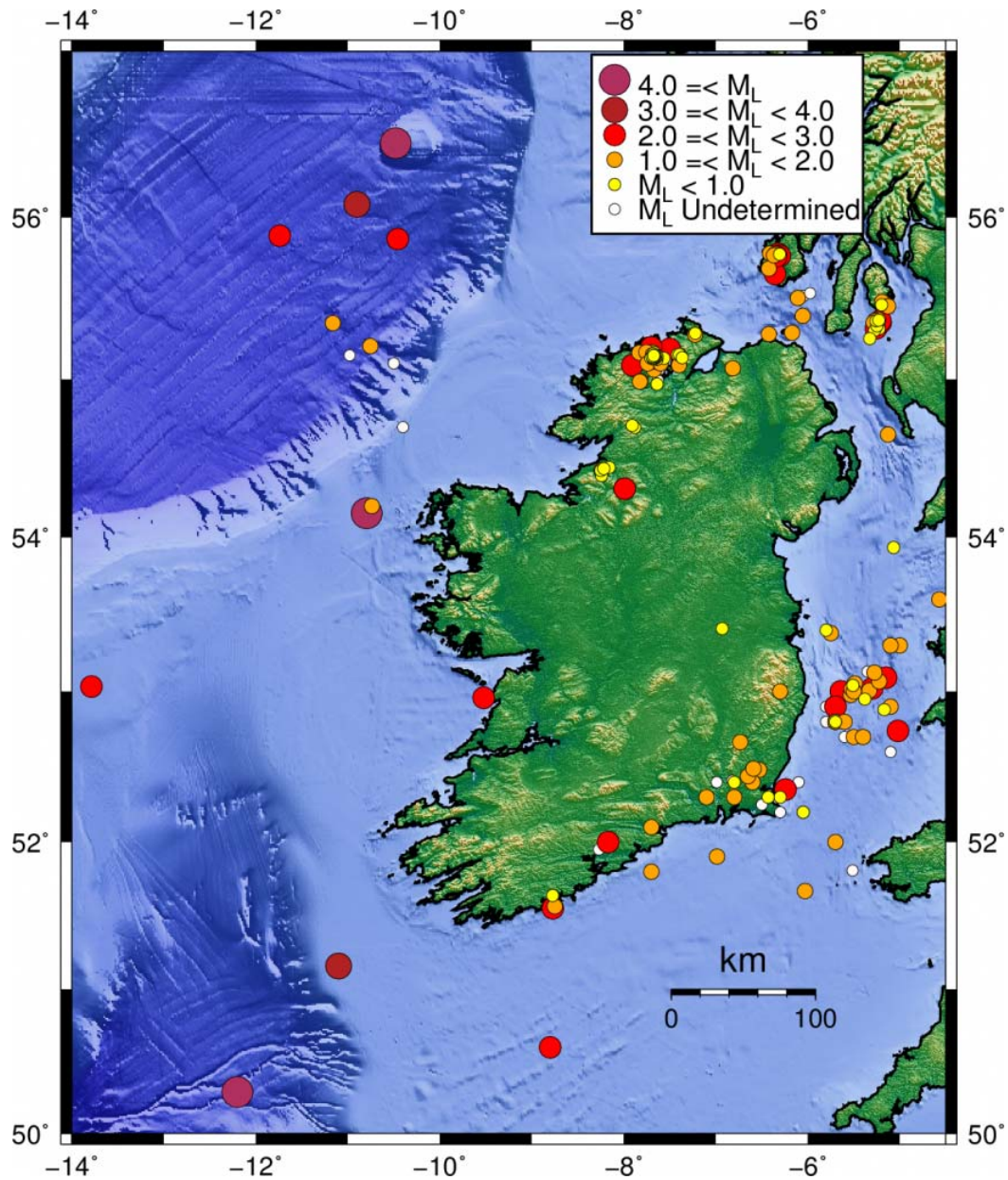
Fuente: Google-Panoramio, Wikipedia y C. Payday

#### **4.2. ZONAS SÍSMICAS**

En cuanto a los fenómenos sísmicos en Irlanda, son muy pocos y localizados, según la INSN<sup>293</sup>. Se indican las zonas sísmicas en la figura 75.

---

<sup>293</sup> INSN, Irish National Seismic Network (Red sísmica nacional irlandesa).



**Figura 75: Mapa de zonas sísmicas en Irlanda**

Fuente: INSN.

Las zonas de mayor riesgo sísmico se encuentran en las zonas siguientes: **Mar de Irlanda, Donegal, Norte de Irlanda, Este de Irlanda y Sudeste de Irlanda**

### **4.3. FUENTES TERMALES**

Las fuentes termales y balnearios que se han seleccionado a través de la web y poseen unas temperaturas que se adecuan a las condiciones del sistema propuesto.

De entre las fuentes termales que existen en Irlanda, a continuación se relacionan las más destacables:

- **Blue River Resort:** 60 °C.

## **5. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN ISLANDIA**

### **5.1. ZONAS VOLCÁNICAS**

Islandia tiene una alta concentración de volcanes activos debido, según los sismólogos, a la dorsal mesoatlántica y a un punto caliente debajo de la isla. La isla tiene alrededor de 130 montañas volcánicas, de las que 18 han entrado en erupción desde la colonización de Islandia en el año 900. El más activo y volátil es Hekla.

La isla queda a caballo del límite entre la placa euroasiática y la norteamericana, y la mayor parte de la actividad volcánica se concentra a lo largo del límite de placas, que cruza la isla del suroeste al noreste (ver figura 76).

Alguna actividad volcánica sucede frente a la costa, especialmente al sur. Esto incluye volcanes submarinos completamente sumergidos e incluso islas volcánicas recientemente formadas, como Surtsey o Jólnir, en el sudoeste del país.

Islandia tiene cuatro zonas volcánicas principales, estas son:

- **Zona de Reykjanes<sup>294</sup>**: Se divide en la cresta de Reykjanes, situada en la cordillera del Atlántico medio al sur de Islandia y el cinturón volcánico de Reykjanes, situado en la isla principal. El área es alimentada por cinco sistemas volcánicos; La evidencia geológica sugiere que parecen activarse de manera coordinada aproximadamente cada 1.000 años.
- **Zona volcánica del oeste**: También la zona sísmica del sur de Islandia es otra zona de fractura, que conecta las zonas volcánicas este y oeste. Ambas zonas de fractura también incluyen sus propios sistemas volcánicos.
- **Zona volcánica oriental**: Extendida a las Islas Westman, al sur de la isla principal. Los volcanes centrales, Vonarskarð y Hágöngur pertenecen al mismo sistema volcánico; al igual que Bárðarbunga y Hamarinn, y a Grímsvötn y Þórðarhyrna.
- **Zona volcánica del norte**: Al norte de Islandia, la Cresta denominada Kolbeinsey, está conectada a la zona volcánica del norte a través de la zona de fractura de Tjörnes.

---

<sup>294</sup> Reykjanes es un pequeño promontorio en el extremo suroeste de Reykjaneskagi en Islandia. Hubo un período prolongado de actividad volcánica constante en la península, los Fuegos de Reykjanes, desde el siglo X hasta el siglo XIII.



**Figura 76: Principales volcanes y tectónica de placas de Islandia**

Fuente: *US Geological Survey*

La Cordillera de Mid-Iceland conecta las cuatro zonas a través del centro de Islandia. Se trata de una cordillera de característica submarina, ubicada a lo largo del suelo del Océano Atlántico, y parte de la cordillera más larga del mundo. En el Atlántico norte, separa las placas euroasiática y norteamericana, y en el Atlántico sur, separa las placas africana y sudamericana. Adicionalmente, existen dos cinturones volcánicos intraplaca<sup>295</sup>, Öraefajökull en la placa de Eurasia y Snæfellsnes en la placa de América del Norte.

Los volcanes más significativos en Islandia son:

- **Askja:** Volcán activo situado en una parte remota de las tierras altas centrales de Islandia. Es un complejo de calderas anidadas dentro de las montañas circundantes de Dyngjufjöll.
- **Bárðarbunga:** Estratovolcán ubicado debajo de la capa de hielo del glaciar

<sup>295</sup> Un terremoto o volcán intraplaca ocurre dentro de una placa tectónica y son muy raros, provocando graves daños, mientras que los terremotos interplaca ocurren en los límites de dos placas tectónicas y son más comunes.

Vatnajökull. Poco conocido en Islandia debido a su ubicación remota y erupciones poco frecuentes de, aproximadamente, una vez cada 50 años, pero estudios recientes han demostrado que muchas capas de tefra<sup>296</sup> que originalmente se pensaba que provenían de otros volcanes fueron expulsadas de Bárðarbunga. Ha habido actividad volcánica frecuente fuera del glaciar al suroeste en las tierras altas entre Vatnajökull y Mýrdalsjökull, y también al noreste hacia Dyngjufjöll.

- **Brennisteinsfjöll:** Pequeña cadena montañosa con hileras de cráteres y pequeños volcanes en escudo en la península Reykjanes en el occidente de Islandia.

- **Eldfell:** Cono volcánico en la isla de Heimaey. Los isleños utilizaron el calor de los flujos de lava que se enfriaban lentamente para proporcionar agua caliente y generar electricidad.

- **Eldgjá:** Volcán y cañón en Islandia. Eldgjá y el volcán Katla pertenecen al mismo sistema volcánico del sur del país. Se encuentra entre Landmannalaugar y Kirkjubæjarklaustur. Es el mayor cañón volcánico en la Tierra con 270 m de profundidad y 600 m de ancho en su zona más profunda.

- **Esjufjöll:** Volcán subglacial en la parte sur de la capa de hielo de Vatnajökull, al norte del volcán Öraefajökull, está formado por el volcán central de Snaehetta y una gran caldera.

- **Eyjafjallajökull:** Volcán situado al norte de Skógar, en la región de Suðurland, al sur de Islandia.

---

<sup>296</sup> Se llama piroclasto o tefra, a cualquier fragmento sólido de material volcánico expulsado a través de la columna eruptiva arrojado al aire durante una erupción volcánica. Petrológicamente, los piroclastos son fragmentos de roca ígnea volcánica solidificados en algún momento de la erupción, más frecuentemente durante su recorrido aéreo. En sentido estricto, el término tefra alude a un conjunto de tamaños de fragmento (ceniza y lapilli); se distingue así, por ejemplo, una bomba volcánica de la tefra (en sentido estricto), aun cuando en sentido amplio una bomba volcánica es un tamaño de tefra.

- **Fremrinámur o Fremri-Námur:** Sistema volcánico desprovisto de volcán central a 25 km al sureste del lago Mývatn y al noroeste del volcán Askja.

- **Grensdalur:** Volcán que se encuentra ubicado en el este de la península de Reykjanes. Dado que las dos zonas geotérmicas pertenecientes a Grensdalur están ubicadas dentro de la ciudad de Hveragerdi, todo el sistema volcánico se denomina sistema Hveragerdi. En el noroeste, Grensdalur se encuentra junto a los sistemas Hengill y Hroumundartindur, y es el más antiguo de los tres sistemas volcánicos. La ciudad de Hveragerdi tiene un área geotérmica, que es una alternancia de áreas de alta y baja temperatura, con fumarolas, aguas termales, ollas de barro y un pequeño géiser llamado Grýla, que rara vez muestra actividad.

- **Grímsnes:** Volcán fisural<sup>297</sup> dormido que alberga un lago.

- **Grímsvötn:** Sistema lacustre<sup>298</sup>-volcánico donde los espejos de agua que lo componen están ubicados en las Tierras Altas del país, sobre el extremo noroeste del campo de hielo del Vatnajökull. Bajo este sistema se encuentra la gran cámara magmática del volcán homónimo, cuya caldera tiene unos 35 km<sup>2</sup>.

- **Hekla:** Estratovolcán situado al suroeste de Islandia, en la región de Suðurland. Es el más activo de la isla. Forma parte de una cadena volcánica de 40 kilómetros de largo. Sin embargo, la zona más activa de esta cadena, una fisura de unos 5,5 km de tamaño conocida como Heklugjá, es lo que considera el volcán Hekla propiamente dicho. La forma del Hekla es la de un estratovolcán alargado con forma de un bote invertido. A diferencia de la mayoría de los estratovolcanes, el

---

<sup>297</sup> Una fisura volcánica o volcán fisural es una hendidura más o menos lineal en la corteza terrestre a través de la cual se expulsa lava, en general sin actividad explosiva. La fisura es usualmente de pocos metros de ancho y puede ser de varios kilómetros de largo. Pueden causar enormes flujos de basalto y canales de lava. El volcán tiene aspecto de una grieta en el suelo o en el lecho marino y no de cono elevado.

<sup>298</sup> Lacustre, de lago.



Hekla no tiene un único cráter, y erupciona a través de una fisura que transcurre a lo largo de su cresta.

- **Hengill:** Volcán activo situado al sudoeste de Islandia, al sur de Þingvellir. Las aguas termales y los vapores son una señal de su estado activo, en su territorio se encuentra el poblado de Hveragerði. Es una importante fuente de energía para el sur del país, y allí se encuentra la central geotérmica de Hellisheiði en la margen occidental del lago Þingvallavatn.

- **Herðubreið:** Es una tuya<sup>299</sup> situado en la región de Norðurland Eystra, el noreste de las Tierras Altas de Islandia y en el desierto del campo de lava de Ódáðahraun, a lo largo de la Öskjuleið y en las cercanías del Askja. La forma característica de cima aplanada del volcán se debe a la salida de la lava en el estrato de hielo que cubría Islandia en los últimos periodos glaciares.

- **Hofsjökull:** Volcán que se encuentra en el oeste de las Tierras Altas de Islandia y al norte de la cordillera Kerlingarfjöll, entre los dos grandes glaciares de Islandia. Hofsjökull es la fuente de varios ríos, incluyendo el Þjórsá, el más largo de Islandia.

- **Hrómundartindur:** Estratovolcán de Islandia de 540 m de altitud.

- **Hverfjall:** Cono de tefra o volcán de toba volcánica en el norte de Islandia, al este de Mývatn.

- **Hveravellir:** Volcán central y campo geotérmico del sistema volcánico subglacial Oddnýjarhnjúkur-Langjökull en el norte del glaciar Langjökull con numerosas fuentes termales, fumarolas y barro caliente.

- **Jólnir:** Volcán submarino en el sur de Islandia, cerca de la isla de Surtsey.

---

<sup>299</sup> Una tuya es un tipo de volcán, caracterizado por tener su cima plana y laderas empinadas formadas cuando la lava brota a través de un grueso glaciar o capa de hielo. Son algo raras, limitándose a las regiones que antes estaban cubiertas por capas de hielo continentales y que también tuvieron durante el mismo período de tiempo actividad volcánica.



- **Katla:** Volcán localizado bajo el glaciar Mýrdalsjökull. Forma junto con el cañón Eldgjá un sistema volcánico.
- **Kerlingarfjöll:** Cadena montañosa que forma parte de un gran sistema de volcán Tuya. El origen volcánico de estas montañas se evidencia por las numerosas aguas termales y riachuelos en el área. Las aguas termales tienen una temperatura de 140 °C.
- **Kollóttadyngja:** Volcán islandés situado en el campo de lava de Ódáðahraun.
- **Krafla:** Caldera volcánica situada en el norte de Islandia en la región de Mývatn. Krafla incluye a Námafjall, zona geotérmica plagada de volcanes de lodo hirviente, solfataras y fumarolas humeantes.
- **Krýsuvík:** Zona geotermal situada en la península de Reykjanes al sur de Islandia. Se encuentra en la zona meridional de Reykjanes en medio de la fisura volcánica en la dorsal Mesoatlántica que atraviesa la isla.
- **Krakatindur:** Volcán situado en Rangarvallasysla en el sur de Islandia. Está ubicado en el campo de lava Nyjahraun y pertenece al sistema volcánico Hekla.
- **Kverkfjöll:** Volcán activo situado en el límite del glaciar Vatnajökull. Sobre él se encuentra el glaciar Kverkjökull que se funde cuando entra en erupción. Bajo las montañas hay una gran cámara de magma caliente que ha formado unas cuevas glaciares.
- **Laki:** Fisura volcánica situada en el sur de Islandia, cerca del cañón del Eldgjá y el pequeño pueblo de Kirkjubæjarklaustur. Es parte de un sistema volcánico en el que se incluyen los volcanes Grímsvötn y Thórdarhyrna. Se encuentra entre los glaciares de Mýrdalsjökull y Vatnajökull, en una zona recorrida por fisuras desde el suroeste al norte.
- **Langjökull:** Glaciar que se encuentra al oeste del interior islandés o Tierras

Altas de Islandia y puede verse claramente desde Haukadalur.

- **Loki-Fögrufjöll:** Volcán subglacial situado en Islandia central. Se encuentra ubicado bajo el glaciar Vatnajökull, el mayor de Europa.

- **Ljósufjöll:** Sistema de fisuras volcánicas con un volcán central en la península de Snæfellsnes en Islandia.

- **Lysuhóll:** Sistema volcánico más pequeño de Islandia. Lysuhóll es el centro de tres sistemas volcánicos que ocupan la península.

- **Öræfajökull:** Volcán cubierto de hielo de la región de Austurland, en el sudeste de Islandia. Es el volcán activo más grande del país y a su banda noroccidental se encuentra el Hvannadalshnúkur, la cima más alta de Islandia.

- **Prestahnúkur:** Volcán situado en el oeste de las Tierras Altas de Islandia, al oeste de glaciar Geitlandsjökull, que a su vez se encuentra en la parte oeste del glaciar Langjökull.

- **Reykjanes o Reykjaneskagi:** Es una península y un sistema volcánico situado al sudoeste de Islandia, en la región que hoy se llama Suðurnes, cerca de la capital Reikiavik. Bajo su superficie hay actividad volcánica y grandes campos de lava que solo permiten una escasa vegetación, Hay muchas fuentes de aguas termales y de azufre cerca del Kleifarvatn y de la zona geotérmica de Krýsuvík. En Reykjanes se encuentra la planta geotérmica de Svartsengi y la Bláa lónið, una laguna artificial que se usa como spa. También está en su territorio el volcán Trölladyngja.

- **Reykjaneskagi:** Región en el suroeste de Islandia marcada por un vulcanismo activo debajo de su superficie y grandes campos de lava, lo que permite poca vegetación. Existen numerosas fuentes termales y de azufre en la mitad sur de la península, alrededor del lago Kleifarvatn y el área geotérmica Krýsuvík. Hay

una estación de energía geotérmica en Svartsengi. El Volcán Reykjanes es un gran volcán que cubre la península de Reykjanes en Islandia, donde la Cordillera del Atlántico Medio se eleva sobre el nivel del mar. El sistema volcánico consiste en campos de lava, filas de cráteres basálticos postglaciales y pequeños volcanes en escudo. El sistema volcánico submarino Reykjaneshrýggur es contiguo y se considera parte del sistema volcánico Reykjanes, que es el más occidental de una serie de cuatro sistemas de fisura en escalón estrechamente espaciados que se extienden por la península de Reykjanes.

- **Skjaldbreiður:** Montaña y volcán en escudo<sup>300</sup> islandés. El extenso campo de lava que produjo la última erupción fluyó hacia el sur, y formó la cuenca del mayor lago de Islandia, el Þingvallavatn.

- **Snæfellsjökull:** Glaciar y estratovolcán situado en el oeste de Islandia, en el extremo oeste de la península de Snæfellsnes.

- **Surtsey:** Isla volcánica situada a aproximadamente 32 km de la costa meridional de Islandia, cerca del archipiélago de Vestmannaeyjar. Constituye el punto más austral del país y se formó a partir de una erupción volcánica que se inició a 130 m por debajo del nivel del mar y emergió a la superficie el 14 de noviembre de 1963.

- **Þeistareykjargbunga (Theistareykjargbunga):** Volcán en escudo en Islandia situado al noreste de la isla, cerca de la localidad de Húsavík y en la región de Norðurland Eystra. El Þeistareykjargbunga tiene dos fisuras volcánicas llamadas Þeistareykjahraun y Borgahraun, y dos conos, llamados Storahversmor y Storaviti.

---

<sup>300</sup> Un volcán en escudo es un volcán de grandes dimensiones y está formado a partir de las capas de sucesivas erupciones basálticas fluidas, por este motivo tienen una pendiente suave. Es un término similar al de caldera volcánica.

- **Pórðarhyrna (Thordarhyrna):** Es uno de los siete volcanes subglaciales bajo el glaciar Vatnajökull. Una falla recorre del Thordarhyrna al Hamarinn, y separa dos zonas tectónicas diferentes.
- **Pórólfsfell (Thórólfsfell):** Tuya<sup>301</sup> basáltica en el sur de Islandia, al este de Fljótshlíð.
- **Tindfjallajökull:** Glaciar del monte Tindfjöll, en la región de Suðurland, al sur de Islandia, ubicado en la cima del estratovolcán dormido. Muchos ríos bajan por su flanco, los cuales alimentan los cauces del Ranga y el Markarfljot.
- **Zona de fractura de Tjörnes:** Situada en alta mar, es una zona de transformación oblicua que separa la zona volcánica del norte de Islandia de la Cordillera Kolbeinsey, parte de la Cordillera del Atlántico Medio al norte de Islandia.
- **Torfajökull:** Volcán y glaciar ubicado en la región de Suðurland, al sur de Islandia. La región de Landmannalaugar forma parte del sistema volcánico de Torfajökull.
- **El Tungnafellsjökull:** Glaciar y volcán en Islandia. Se encuentra en la región de Norðurland Eystra.
- **Vatnafjöll:** Volcán situado al sudeste del Hekla, en la región de Suðurland, consistente, principalmente, en un sistema de fisuras volcánicas en Islandia.

## 5.2. ZONAS SÍSMICAS

Islandia se sitúa en el tercio septentrional de la dorsal atlántica que divide la isla de norte a sur y sirve de límite a las placas continentales americana y eurasiática.

---

<sup>301</sup> Una tuya es un tipo de volcán, caracterizado por tener su cima plana y laderas empinadas formadas cuando la lava brota a través de un grueso glaciar o capa de hielo. Son algo raras, limitándose a las regiones que antes estaban cubiertas por capas de hielo continentales y que también tuvieron durante el mismo período de tiempo actividad volcánica.

La enorme actividad sísmica a lo largo de este accidente geológico se manifiesta mediante potentes erupciones submarinas bajo el Atlántico, y en forma de afloramientos insulares de naturaleza volcánica (figura 77, 78 y 79).

Como consecuencia de esta violenta fuerza telúrica, el territorio formado por una buena parte de los fiordos occidentales, así como una amplia extensión de la franja oriental de Islandia, surgieron del mar hace 16 millones de años, por lo que, desde el punto de vista geológico, la isla es una de las masas terrestres más jóvenes del planeta.

Las manifestaciones geotermales acordes a la naturaleza de la isla constituyen uno de sus principales atractivos, en forma de fumarolas, solfataras, pozas de barros hirvientes, géiseres y manantiales en grado de ebullición.

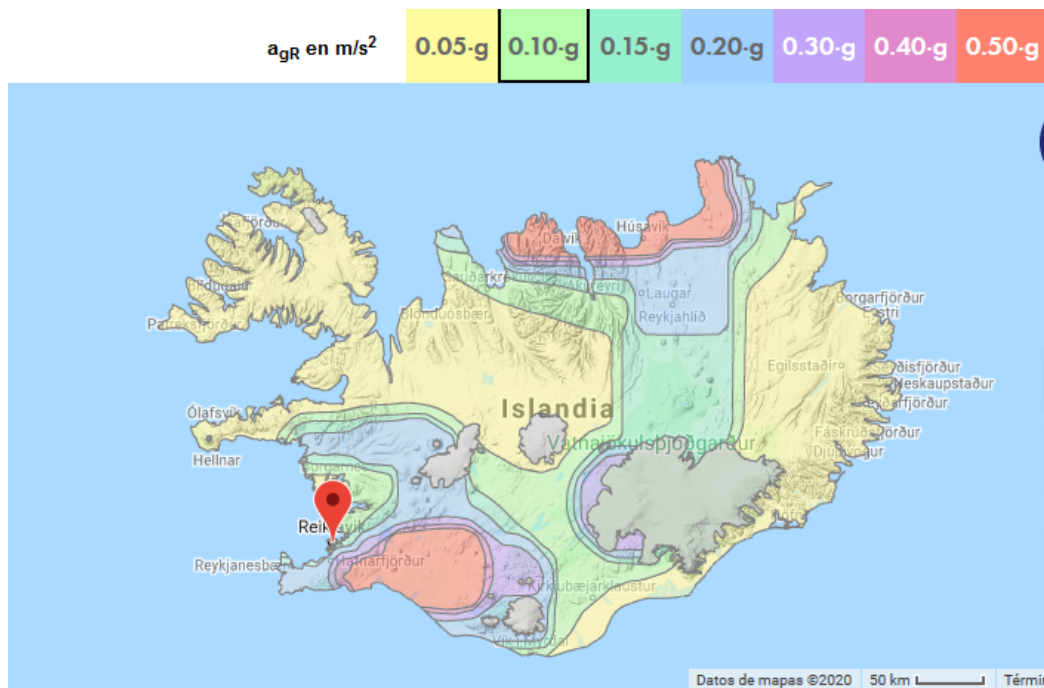


**Figura 77: Placas tectónicas de Islandia**

Fuente: <https://lh4.googleusercontent.com>

En la figura 78 de zonas sísmicas de Islandia, las zonas rojas y malvas indican la situación de los epicentros de los 25.000 mayores y mejor localizados terremotos acaecidos durante el periodo 1994 – 2000, según G. Guðmundsson, Icelandic Meteorological Office.

Estas zonas sísmicas más destacables se sitúan en la zona norte de Islandia y en la zona sur de Islandia.



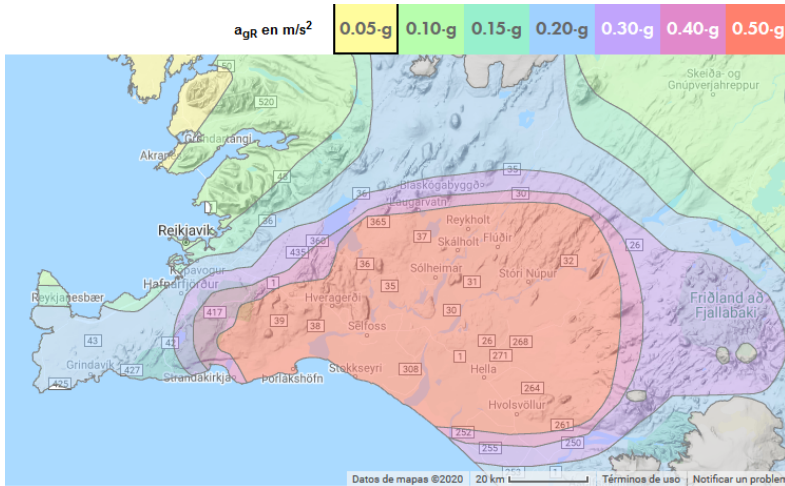
**Figura 78: Mapa zonas sísmicas de Islandia**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG

### Zonas sísmicas del sur de Islandia

Las zonas sísmicas más destacadas del sur de Islandia se relacionan a continuación: **Árnessýslu, Bláskógabyggd, Eyrarbakki, Flúðir, Hella, Hveragerdi, Hvolsvollür, Keldur, Laugarvatn, Reykholt, Selfoss, Skálholt, Sólheimar, Stokkseyri, Stóri Núpur, Strandakirkja, Thorlákshöfn y Thykkvibaer.**

Estas zonas están indicadas en el mapa de las zonas sísmicas del sur de Islandia, que se encuentra debajo.



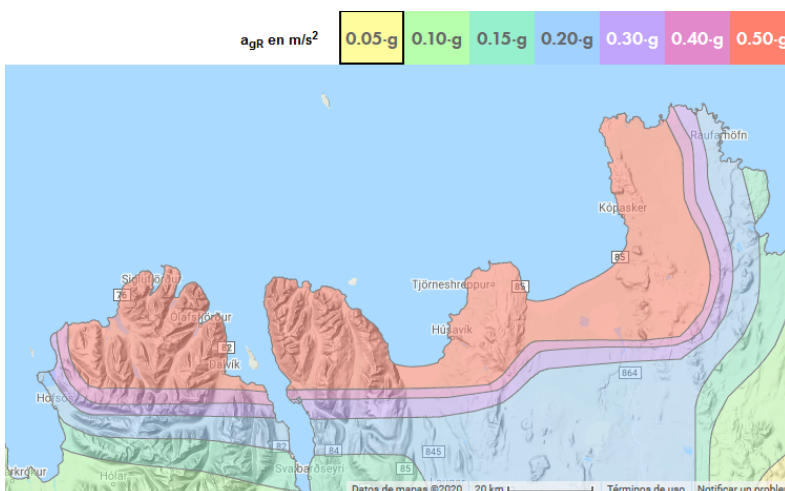
**Figura 79: Mapa zonas sísmicas norte de Islandia**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG

### Zonas sísmicas del norte de Islandia

Las zonas sísmicas más destacadas del sur de Islandia se relacionan a continuación: **Dalvík, Eyjafjörður, Fell, Grenivík, Hauganes, Hópsuátn, Húsavík, Kópasker, Langhus farm, Litli-Árskógssandur, Miklavatn, Ólafsfjörður, Siglufjardarvegut, Siglufjörður, Tjörneshreppur y Vik.**

Estas zonas están indicadas en el mapa de las zonas sísmicas del norte de Islandia, que se encuentra en la figura 80.



**Figura 80: Mapa zonas sísmicas norte de Islandia**

Fuente: Dlubal (Software de análisis y dimensionamiento de estructuras), GeoBasis-DE/BKG

El resto de las zonas de Islandia también son zonas tectónicas de menor

intensidad, igual de importantes a tener en consideración.

### 5.3. FUENTES TERMALES

Toda Islandia se podría considerar una isla termal. Por ello destacaremos las más importantes:

- **Deildartunguhver:** Es una fuente termal en Reykholtsdalur, Islandia. Se caracteriza por un caudal muy alto para una fuente termal (180 litros / segundo) y el agua emerge a 97 ° C. Es la fuente termal de mayor flujo en Europa. Parte del agua se usa para calentar, siendo canalizada 34 kilómetros a Borgarnes y 64 kilómetros a Akranes.

- **Fontana y Krauma:** Situadas en Laugarvatn, Fontana tiene un géiser natural y Krauma se sitúa cerca de Reykholt, donde se aprovecha la energía del manantial más grande de Europa, Deildartunguhver. Las temperaturas de las aguas de Fontana oscilan entre los 40 y 50 ° C y la temperatura del agua de Krauma es de unos 100 ° C y que alcanzan la temperatura perfecta al mezclarse con el agua fría de Rauðsgil, que se origina en el glaciar Ok, el glaciar más pequeño de Islandia.

- **Geysir:** Se encuentra en el valle de Haukadalur en las laderas de la colina Laugarfjall. Las erupciones en Geysir pueden arrojar agua hirviendo hasta 70 metros al aire.

- **Hveravellir:** Zona termal en el corazón de Islandia con aguas hipertermales a más de 100 ° C.

- **Laugarvatn:** Este asentamiento posee un spa cuyo calor procede de las corrientes de agua caliente que discurren bajo la superficie, y algunas salas de vapor están situadas justo encima de burbujeantes calderas que llegan a alcanzar los 60°C.



- **Mývatn:** Situada a 3 kilómetros al este de Reykjavík, en el norte de Islandia, sus aguas tienen temperaturas de unos 130 ° C cuando llega a la enorme cuenca que está junto a la laguna, formando una impresionante fuente termal artificial, que contienen alrededor de 3.5 millones de litros de agua.

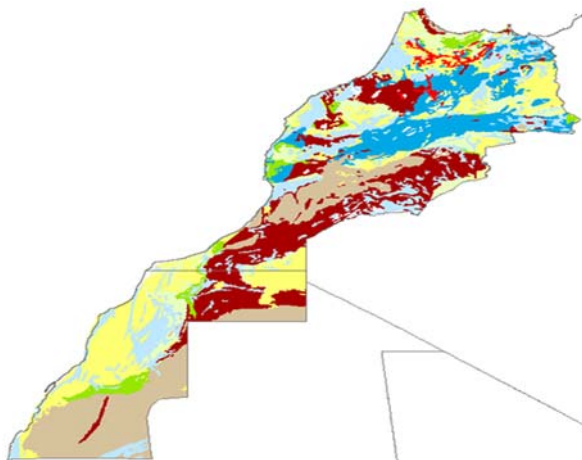
- **Svartsengi:** Zona geotérmica que empieza a ser explotada en 1976 y la fábrica utiliza el vapor del agua subterránea cuya temperatura es de 250 ° C para crear electricidad y abastecer a toda la zona suroeste de la isla, que la utilizan sobre todo para la calefacción.

En Islandia, existen muchísimas otras fuentes termales, todas ellas con altas temperaturas y que se suelen utilizar para generación de electricidad y para calefacción y agua caliente sanitaria, por ello se utiliza este país como país referente en el uso de la energía geotérmica.

## 6. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN MARRUECOS

### 6.1. ZONAS VOLCÁNICAS

En Marruecos hay una serie de zonas volcánicas dispersas entre el Rif y el desierto del Sahara, que se pueden observar en la figura 81.



**Figura 81: Zonas volcánicas en Marruecos**  
Fuente: thefossilforum.com

A continuación, se indican los principales volcanes existentes en Marruecos:

-- **Campo volcánico de Azrou:** Situado en la Cordillera del Medio Atlas, Meknès-Tafilalet, Ifrane, cubre un área de aproximadamente 1500 km<sup>2</sup>, destacando sus montañas de origen volcánico, así como volcanes apagados, como el jebel Hebri, Mischliffen, y el antiguo volcán de Timahdite.

- **Campo volcánico de Berguent:** Situado en Ain Bni Mathares en la provincia de Jerada, región oriental de Marruecos. Se encuentra a 81 km al sur de Oujda y a 36 km de la frontera argelina. En 2011, se creó la primera central termoeléctrica de ciclo combinado cerca de la ciudad.

- **Campo Volcánico de Chott Tigri:** Campo volcánico ubicado al sureste de la cúpula de Tendirara y al norte de la cadena fronteriza del Alto Atlas Oriental, a unos 150 km al norte de Figuig.

- **Campo volcánico de Oujda:** Se sitúa cerca de la ciudad del mismo nombre, en la zona noreste y está entre Marruecos y Argelia; es un gran campo que contiene varias calderas y conos volcánicos dispersos. Incluye más de 20 volcanes cuaternarios.

- **Campo volcánico de Oulmès:** Campo volcánico situado en la provincia de Khémisset, Rabat-Salé-Kénitra, que cubre un área de 20 x 70 km en el rango medio del Atlas de Marruecos. El campo volcánico estuvo activo durante el Plioceno<sup>302</sup> y el Pleistoceno<sup>303</sup>.

- **Campo volcánico de Rekkame:** En la provincia de Rekkame, situada al

---

<sup>302</sup> El Plioceno es una división de la escala temporal geológica que pertenece al periodo Neógeno; dentro de este, el Plioceno sigue al Mioceno. Comienza hace 5,33 millones de años y termina hace 2,59 millones de años.

<sup>303</sup> El Pleistoceno es una división de la escala temporal geológica que pertenece al período Cuaternario; dentro de este, el Pleistoceno precede al Holoceno. Comienza hace 2,59 millones de años y finaliza aproximadamente en el 10.000 a. C. El término Pleistoceno deriva del griego πλεῖστος (pleistos "lo más") y καινός (kainos "nuevo").

noreste de Marruecos, se pueden observar dos tipos particulares de vulcanismo, que difieren en su posición estratigráfica y su edad radiométrica. Los derrames de lava son de alrededor de entre 30 y 40 millones de años y cubren las colinas más altas en el borde oriental de la canaleta del río Moulouya.

- **Cordillera Magrebí:** Se extiende entre los países de Marruecos, Argelia y Túnez. En Argelia, entre los volcanes más destacables es el de Maghnia; un escudo volcánico horadado lleno de domos riolíticos y coladas de lava; y el Macizo de Edough, con focos volcánicos aislados. Marruecos tiene varios campos volcánicos que data del mioceno.

- **Monte Gurugú:** El monte Gurugú es el punto más elevado del cabo de Tres Forcas, en la costa norte de Marruecos. A sus pies se sitúa la ciudad autónoma de Melilla y forma parte de la sierra de Nador y la Mar Chica en Marruecos. Es un volcán extinto, que tiene una altitud de unos 890 metros.

- **Monte Sirwa:** Montaña del sur de Marruecos, la más alta de la cordillera del Anti-Atlas, situada en la región administrativa de Souss-Massa-Drâa. El macizo de Sirwa une el Alto Atlas al Anti-Atlas, encontrándose a sur del macizo de Toubkal, el más alto del norte de África. El Monte Sirwa es lo que queda de un antiguo estratovolcán que data del Mioceno<sup>304</sup> tardío o el Plioceno precoz.

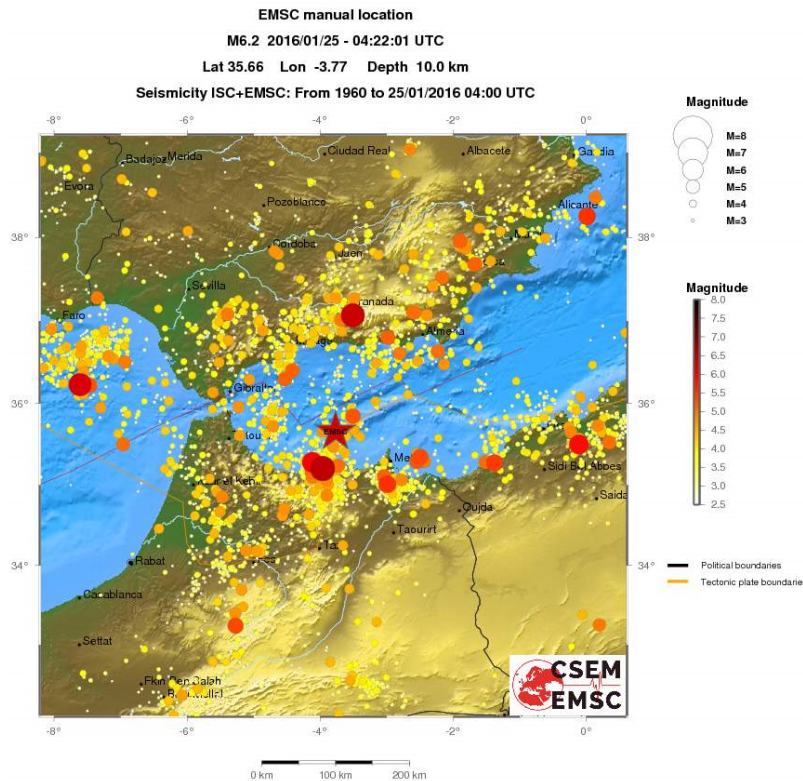
## 6.2. ZONAS SÍSMICAS

El norte de Marruecos se encuentra cerca del límite entre la placa africana y la placa euroasiática, separadas por la falla de Azores-Gibraltar con grandes fallas

---

<sup>304</sup> El Mioceno es una división de la escala temporal geológica que pertenece al periodo Neógeno; dentro de este, el Mioceno precede al Plioceno. Comenzó hace 23 millones de años y terminó hace unos 5 millones de años. En este período continuó la elevación de cordilleras como los Pirineos, los Alpes y el Himalaya. La erosión favorecida por estas orogénesis originó sedimentos y depósitos de petróleo en zonas que eran cuencas marinas de poca profundidad. Durante el Mioceno temprano el clima era relativamente cálido, pero durante el Mioceno medio, desde hace 16,4 millones de años hasta hace 8,4 millones de años, se produjo una bajada de las temperaturas y se originaron las masas de hielo en la Antártida.

de empuje (figura 82). La actividad sísmica en Marruecos no es tan importante como en otras áreas del mundo y ha producido algunos terremotos históricos e instrumentales con magnitudes locales superiores a 6.



**Figura 82. Zonas sísmicas de Marruecos**

Fuente: CSEM – EMSC

Las zonas de terremotos significativos que tuvieron sus epicentros en Marruecos son: **Fez, Meknes, Tétouan, Agadir, Al Hoceima y Drâa-Tafilalet.**

La mayor parte de la sismicidad en Marruecos está relacionada con el movimiento en ese límite de la placa africana y la placa euroasiática.

### 6.3. FUENTES TERMALES

Marruecos tiene más de 117 fuentes termales, repartidas en seis zonas termales:

- Zona nordeste.
- Rif-Rif Sur.

- Zona centro.
- Medio-Atlas.
- Alto-Atlas.
- Anti-Atlas y Sahara.

Más del 50% de estas fuentes pertenecen a las zonas de Rifaine y Sud-Rifaine. De las 117, se enumeran 29, teniendo en cuenta el mapa de situación, la composición química y las patologías tratadas. Y de los 29 enumerados, solo seis fuentes realmente constituyen fuentes térmicas. Estas son:

- **Abaynou:** Este establecimiento está ubicado a 15 kilómetros al suroeste de la ciudad de Guelmim, entre las ciudades de Marrakech y Agadir, en el flanco sur del Anti-Atlas Occidental. La temperatura de surgencia de sus aguas es de unos 38 ° C.

- **Ain Allah:** La fuente de Ain Allah está ubicada a 14 kilómetros de la ciudad de Fez. Con una temperatura de 39 ° C, la fuente de Ain Allah es extraída desde un pozo artesiano a una profundidad de 1650 metros.

- **Ain Salama:** La región de Meknes-Tafilelt está dotada de una fuente termal, con una temperatura constante de 38 ° C. La fuente se encuentra a 13 kilómetros de la ciudad de Meknes, cerca de Oued El Kell.

- **Fezouane:** La fuente termal de Fezouane se encuentra en las estribaciones del norte de Béni-Snassen, a 10 kilómetros de la ciudad de Berkane y cuya temperatura de surgencia de las aguas es de 38 ° C. Nació al final de la intensa actividad volcánica durante el terciario tardío y el cuaternario temprano.

- **Moulay Yacoub:** Ubicado a unos veinte kilómetros al noroeste de la ciudad de Fez. Sus aguas calientes son, por su mineralización, su temperatura y sus caudales, las más importantes y las más visitadas en Marruecos. La temperatura

de surgencia de las aguas se encuentra a 54 ° C.

- **Oulmès:** Situada en la provincia de Khémisset, Rabat-Salé-Kénitra, Marruecos.

El agua surge naturalmente carbónica y a una temperatura de 42,6 ° C.

- **Sidi Harazem:** Es el segundo balneario en la región de Fez-Bulmán. Se encuentra a 30 kilómetros al este de la ciudad de Fez. Descubierta en la época romana, la temperatura de las aguas es de 35 ° C.

Se observa que hay muy pocas fuentes termales con más de 40 ° C, en parte por falta de información aportada y porque no se explotan las zonas de posibles aguas termales a temperatura adecuada para utilizarla como energía térmica.

## 7. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN PORTUGAL

### 7.1. ZONAS VOLCÁNICAS

Las principales zonas volcánicas de Portugal se encuentran muy localizadas. En su gran mayoría se encuentran situadas en el Archipiélago de las Azores, las islas Madeira y en la costa de Portugal continental.

A continuación, se muestra en la figura 83, las zonas volcánicas más importantes de Portugal:



**Figura 83: Mapa zonas volcánicas de Portugal**

Fuente: <http://www.scubadivingfanclub.com>

La relación de volcanes principales en Portugal son las siguientes:

- **Agua de Pau:** Estratovolcán situado en el centro de la isla de Sao Miguel, en el Archipiélago de las Azores que contiene una caldera exterior de 4 x 7 kilómetros y una caldera interior de 2.5 x 3 kilómetros.
- **Banco Dom Joao de Castro:** Gran volcán submarino que se eleva a menos de 13 metros de la superficie del mar aproximadamente a medio camino entre las islas Terceira y Sao Miguel. El volcán submarino tiene un impresionante campo de fumarolas poco profundas y permanece sísmicamente activo.
- **Banco de Monaco:** Volcán submarino que se encuentra a lo largo de las tendencias tectónicas regionales que conectan el volcán Sete Cidades con la Isla Santa María, de las Azores.
- **Caldera do Faial o Cabeço Gordo:** Estratovolcán situado en la isla de Faial, la más cercana de las islas centrales de las Azores a la Cordillera del Atlántico Medio, que contiene una caldera en cumbre de 2 kilómetros de ancho.
- **Capelinhos:** Volcán monogenético<sup>305</sup> ubicado en la costa occidental de la isla de Faial en las Azores. Forma parte del más amplio complejo volcánico de Capelo que incluye veinte conos de escoria y campos de lava que están alineados en dirección de oeste-noroeste a este-sureste desde la caldera de Cabeço Gordo. Aunque no está considerado potencialmente activo, aún es una parte de un complejo volcánico fisural activo.
- **Complejo Volcánico de Sines:** Zona volcánica de la Provincia Ígnea Ibérica del Cuaternario Superior. Situado en la parte sur central de Portugal continental, en la región de Alentejo. El complejo comprende la costa litoral, el cabo de Sines,

---

<sup>305</sup> El volcán monogenético, es aquel que "hace una erupción una sola vez en un lugar donde no hay un volcán" previamente y que "forma un edificio volcánico, un cono, un domo con un flujo de lava".

algunos puntos de la sierra de Cercal y el monte Chãos. Este último se originó durante el cuaternario, gracias a la falla de Sintra-Sines-Monchique.

- **Complejo Volcánico de Sintra:** Zona volcánica de Portugal, situado en el distrito de Lisboa, en el municipio de Sintra. Esta sierra volcánica se formó a partir de una gran falla que atraviesa diagonalmente la zona sur de Portugal, llamada falla de Sintra-Sines-Monchique.

- **Corvo:** Volcán de las Azores ubicado al noroeste de la Cordillera del Atlántico Medio, en la isla de Corvo. Una caldera de 2 kilómetros de ancho centrada en el lado norte de la isla es la característica más destacada de Corvo.

- **Esgravatadouro o Picota:** Estratovolcán situado en el complejo volcánico de Monchique, al sur de Portugal. Es un volcán totalmente erosionado. Al oeste de dicho estratovolcán, hay un valle redondeado. Se trata de los restos de una antigua caldera volcánica, en que se asienta el pueblo de Caldas de Monchique, que alberga aguas termales, lo que prueba que el macizo no está extinto del todo.

- **Fajã de Cima o Sistema volcánico de Picos:** Volcán con cerca de 200 conos de escoria en la isla de Sao Miguel entre los volcanes Sete Cidades y Agua de Pau.

- **Flores:** Estratovolcán de la isla de Flores, se encuentran al oeste del resto de las islas Azores y, al igual que Corvo, se encuentra al oeste de la Cordillera del Atlántico Medio.

- **Graciosa:** Caldera volcánica situada en el extremo suroeste de la isla Graciosa, la más septentrional de las islas centrales de las Azores, con fumarolas activas.

- **Lisboa:** Se asienta a orillas del río Tajo, sobre una pequeña península en el estuario; situándose sobre un extenso campo volcánico, que se reparte por toda



la península, desde la ciudad de Lisboa, hasta los términos de la villa de Mafra, llamándose entre los vulcanólogos complejo volcánico de Lisboa-Mafra. La ciudad de Lisboa se asienta sobre conos volcánicos, compuesta por 7 colinas y la serra de Monsanto.

- **Madeira:** Estratovolcán situado en la isla de Madeira; es la cima emergente de un volcán de escudo masivo que se eleva a unos 6 kilómetros del suelo del Océano Atlántico y forma la isla más grande del archipiélago de Madeira, de unos 90 km de longitud.

- **Mafra:** Situado al norte de Portugal, en los alrededores de la villa de Mafra. Está compuesto de conos volcánicos medio erosionados y pequeñas calderas volcánicas. Al este de la localidad, se encuentra una pequeña sierra de pequeños volcanes redondos y muy achatados.

- **Ormonde:** Sierra volcánica submarina, que pertenece al archipiélago de Madeira, Portugal. También es llamado Banco Gorringe. Es una sierra volcánica formada por muchos estratovolcanes con grandes calderas erosionadas por la presión del mar. Está compuesta de rocas volcánicas. En esta zona la sismicidad es alta.

- **Pico:** Estratovolcán cónico de 2.351 metros de altura que ocupa el extremo oriental de la isla de Pico, siendo el volcán más alto de Azores.

- **Sao Jorge:** Situado en la isla de Sao Jorge, está compuesto por respiraderos de fisuras que comienzan en la parte oriental de la isla. Las erupciones submarinas fueron evacuadas en varias ocasiones por respiraderos de las costas sur y suroeste de la isla.

- **Serra de Monchique:** Sistema montañoso de origen volcánico localizado en el Algarve occidental, en Portugal, situado entre las sierras de Caldeirão y

Espinhaço de Cão. Esta sierra volcánica tiene un estratovolcán, llamado Foia. Los volcanes del complejo Monchique son: Foia, Ladeira, Esgravatadouro, Caldas de Monchique, Madrihna, Meia Viana, Rebolos, Alferce y Pecos.

- **Serra Monsanto:** Escudo volcánico situado al oeste de Lisboa, casi metido en la metrópolis. En su cima se encuentra el centro del volcán, sobre los restos de su antiguo cráter, ya erosionado por el tiempo, del que solo se nota su huella.

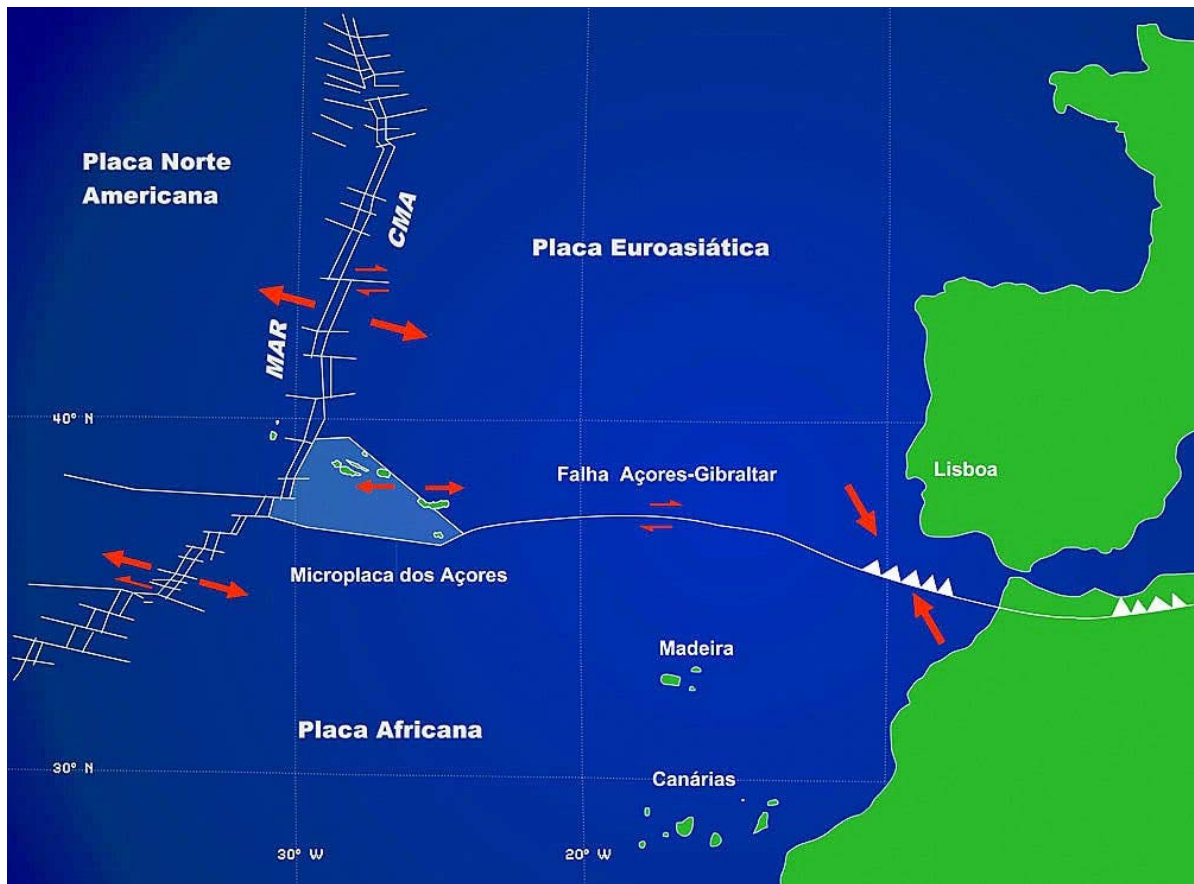
- **Sete Cidades:** Volcán situado en el extremo occidental de la isla de Sao Miguel contiene una caldera en cumbre de 5 km de ancho, ocupada por dos lagos de caldera, siendo uno de los puntos destacados de las Azores. Sete Cidades es uno de los volcanes de las Azores más activos.

- **Terceira:** Situado en la isla Terceira, en el archipiélago de las Azores, contiene cuatro estratovolcanes contruidos a lo largo de una prominente zona de fisuras que atraviesa la isla. Los cuatro volcanes son: Santa Bárbara, Pico Alto, Guilherme Moniz y Cinquo Picos.

## 7.2. ZONAS SÍSMICAS

Los terremotos en Portugal son una manifestación de la energía acumulada por el encuentro entre la placa africana, al sur de Portugal, contra la microplaca ibérica, ubicada en la placa euroasiática (figura 84). La placa africana se mueve hacia el norte, causando tensiones energéticas que luego se liberan repentinamente, causando choques sísmicos. Esta fuerza ejercida por la placa africana fue responsable, en el pasado, de la aparición de fallas en el territorio portugués y continuará, en el futuro, originando nuevas fallas. Las fracturas existentes en el suelo pueden actuar de tres maneras diferentes: i) se puede deslizar una parte sobre la otra; ii) una parte puede descender y hundirse en la

Tierra; y iii) una parte puede elevarse, originando montañas o incluso islas.

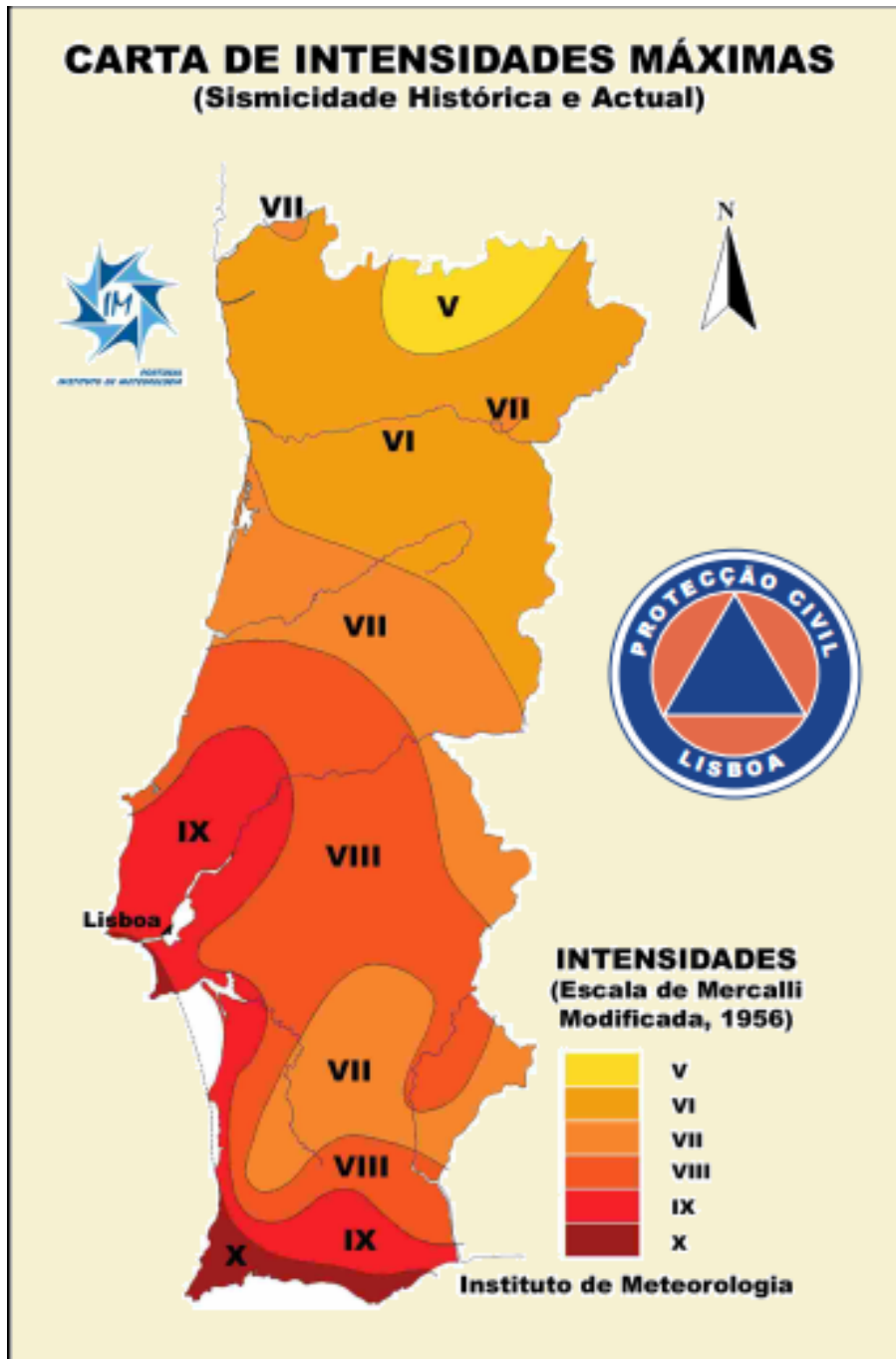


**Figura 84: Mapa zonas sísmicas de Portugal**

Fuente: [www.vortexmag.net](http://www.vortexmag.net)

Analizando el mapa sísmico de Portugal (figura 85), se puede observar las zonas donde existe el riesgo sísmico en cada región de mayor intensidad a menor.

Estos son los lugares con mayor riesgo sísmico en Portugal, clasificados desde los lugares con mayor riesgo hasta los lugares con menor riesgo: Lisboa, Península de Setúbal, Algarve, Ilha do Faial, Ilha do Pico, Ilha de São Jorge, Ilha da Graciosa, Ilha de São Miguel, Ilha Terceira, Ribatejo, Costa Alentejana, Ilha do Corvo, Ilha das Flores e Ilha de Santa Maria.



**Figura 85: Mapa sísmico de Portugal continental**

Fuente: Instituto de Meteorología de Lisboa

La zona sur de Portugal, así como el Archipiélago de las Azores son las zonas más afectadas sísmicamente, debido a la cercana ubicación de las placas tectónicas africana y euroasiática.

### 7.3. FUENTES TERMALES

Portugal posee decenas de fuentes termales, la gran mayoría están comprendidas entre los 15 y los 40 °C, consideradas como aguas frías, hipotermas y mesotermas. A continuación, se relacionan las más destacadas por las elevadas temperaturas de surgencia de sus aguas:

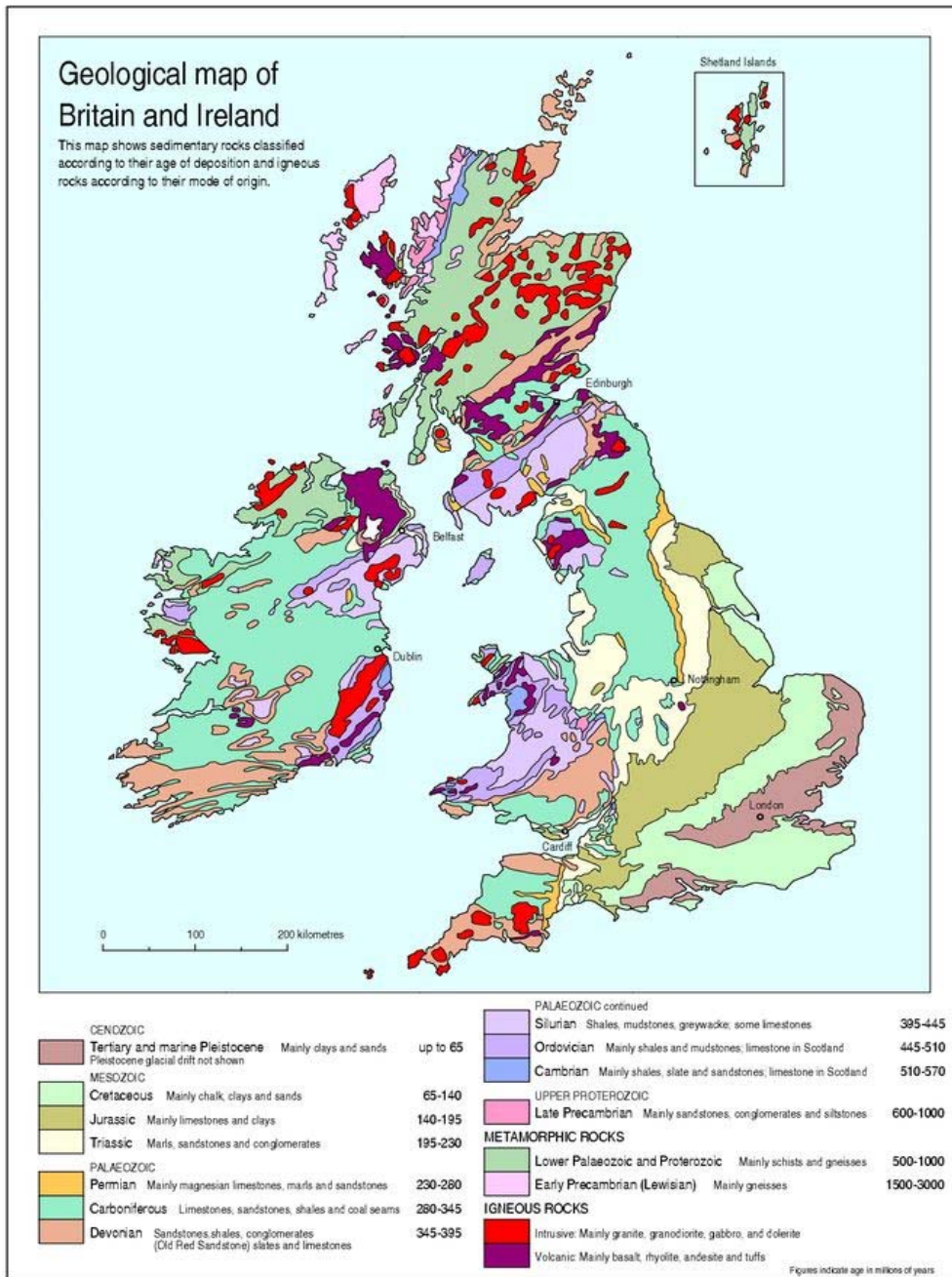
- **Ponta da Ferraria, Azores:** 61 °C
- **Termas de Alcafache:** 50 °C
- **Termas das Caldas de Aregos:** 62 °C
- **Termas do Carapacho, Azores:** 45 °C
- **Termas do Carvalhal, Mamouros:** 42 - 60 °C
- **Termas de Chaves:** 76 °C
- **Termas do Gerês:** 48 °C
- **Termas da Longroiva:** 47 °C
- **Caldas de Manteigas:** 48 °C
- **Termas de Sangemil:** 49 °C
- **Termas de São Pedro do Sul:** 69 °C

Resulta evidente la relación entre las fuentes termales y las zonas de mayor sismicidad asociadas al vulcanismo asociado en Portugal.

## 8. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN REINO UNIDO.

### 8.1. ZONAS VOLCÁNICAS

En Reino Unido las principales zonas volcánicas se muestran en el mapa geológico de Reino Unido e Irlanda que a continuación se muestra en la figura 86.



**Figura 86: Mapa zonas volcánicas de Reino Unido**

Fuente: rsc.org

Las zonas ígneas y volcánicas se representan en colores rojo y morado, respectivamente. Se observa que las zonas volcánicas se encuentran, principalmente en la costa oeste y norte de Reino Unido. Así, los volcanes de

Reino Unido más destacados son:

- **Arthur's Seat:** Volcán extinto que es el pico principal del grupo de colinas de Edimburgo, Escocia.

- **Ben Nevis:** Cúpula derrumbada de un antiguo volcán, que está situado en el extremo occidental de las montañas Grampian en el área de Lochaber en las Tierras Altas de Escocia, cerca de la ciudad de Fort William.

- **Cheviot Hills:** Estas colinas se extienden a lo largo de la frontera anglo-escocesa entre Northumberland y la frontera escocesa. Se encuentran allí Cheviot, Hedgehope Hill al este, Windy Gyle al oeste, y Cushat Law y Bloodybush Edge al sur, lugares donde hubo una extensa actividad volcánica.

- **Dundee Law:** Son los restos de un volcán. Se trata de una colina que se encuentra en el centro de Dundee, Escocia.

- **Glen Coe:** Cañada<sup>306</sup> de origen volcánico, situada en las Highlands de Escocia. Se encuentra en el norte del condado de Argyll, cerca de la frontera con la provincia de Lochaber, dentro del municipio de Highland. El asentamiento principal es el pueblo de Glencoe, ubicado al pie de la cañada.

- **Isla de Mull:** Segunda mayor isla del archipiélago de las Hébridas Interiores, en la costa occidental de Escocia. El volcán principal de la isla se llama también Mull, y era un estratovolcán, que durante el terciario colapsó, formando una gran caldera, convirtiéndose en uno de los complejos volcánicos más importante de toda la provincia del Atlántico Norte.

- **Isla de Skye:** Es la isla más grande y más septentrional de las Hébridas Interiores, en Escocia. En esta isla se encuentra un conjunto de colinas llamadas Cuillin, que son los restos de varias calderas y estratovolcanes; siendo la mayor

---

<sup>306</sup> Espacio de tierra entre dos alturas poco distantes entre sí.



elevación Sgurr Alasdair, con 993 metros de altura sobre el nivel del mar.

- **Marsco:** Estratovolcán situado en Escocia. En los alrededores del volcán, se encuentra un gran macizo volcánico.

- **North Berwick Law:** Colina volcánica cónica, que tiene vistas a la ciudad de North Lothian, en East Lothian, Escocia.

- **Rispond Point:** Cabo de Escocia situado cerca del pueblo de Durness. En este cabo, se encuentran los restos de un antiguo estratovolcán.

- **Rhiconich:** Campo volcánico arcaico situado al norte de Escocia. Está compuesto de muchos estratovolcanes y escudos volcánicos. Allí existen lagos que fueron antiguos cráteres. Los volcanes más destacados son: Foinaven, Arkle y Cranstackie.

En Reino Unido no hay volcanes activos, pero hay algunos volcanes inactivos en algunos territorios británicos de ultramar, como el volcán Soufrière Hills en la isla caribeña de Montserrat o los montes Belinda y Michael, en Georgia del Sur y las Islas Sandwich del Sur, respectivamente. Estas zonas de ultramar no se estudian en la presente Tesis.

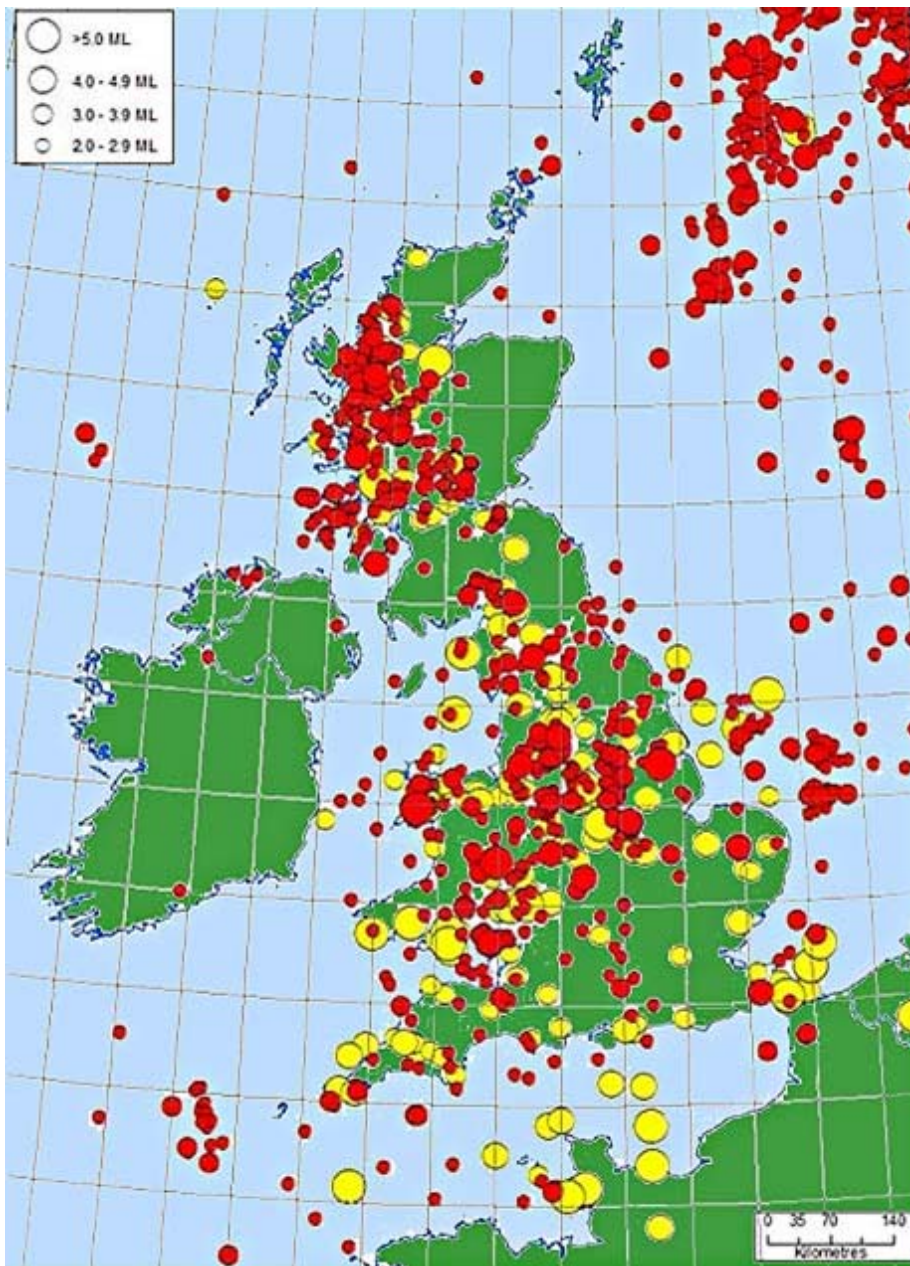
Se observa que las zonas más volcánicas de Reino Unido se encuentran en Escocia.

## 8.2. ZONAS SÍSMICAS

El Reino Unido no está generalmente asociado a terremotos, sin embargo, las personas sienten una veintena de terremotos cada año, y algunos cientos de terremotos más pequeños se registran con instrumentos sensibles, siendo la mayoría de ellos muy pequeños, sin causar daños.



En la figura 87 se muestra el mapa de las zonas sísmicas de Reino Unido.



**Figura 87: Mapa zonas sísmicas de Reino Unido**

Fuente: *British Geological Survey*

En la figura 87 el mapa de la actividad sísmica en el Reino Unido muestra una serie de variaciones regionales. La mayoría de los terremotos ocurren en el lado occidental de Gran Bretaña y se encuentran casi completamente ausentes en el este de Escocia y el noreste de Inglaterra. Los movimientos sísmicos en el Mar

del Norte son más activos que en el continente. Estos son los lugares con mayor riesgo sísmico en Reino Unido: **Argyll, Bishop's Castle, Carlisle, Colchester, Dogger Bank, Dover Straits, Dudley - West Midlands, Hereford, Inverness, Kintail, Lleyn, Market Rasen – Lincolnshire y Paso de Calais.**

Las fuerzas impulsoras de la actividad sísmica en el Reino Unido podrían deberse a la unión del movimiento de las placas tectónicas y al levantamiento, debido al derretimiento, de las capas de hielo que cubrieron muchas partes de Gran Bretaña hace miles de años.

### **8.3. FUENTES TERMALES**

Hay muchas fuentes geotermales en el Reino Unido, pero las fuentes termales que se encuentran en la ciudad de Bath son las únicas que están a más de 37 °C.

A continuación, se muestran las más destacadas por su temperatura:

- **Cross Bath, Bath, Somerset: 42.8 °C**
- **Hetling Spring, Bath, Somerset: 47 °C**
- **Hot Bath, Bath, Somerset: 47.2 °C**
- **King's Bath, Bath, Somerset: 45.6 °C**
- **Stall Street Fountain, Bath, Somerset: 46 °C**

Las aguas termales que emergen a más de 40 °C se encuentran únicamente en Bath, Somerset; el resto de las fuentes termales que hay en Reino Unido, y son muchas, emergen a temperaturas significativamente más bajas, que llegan como mucho a los 30 °C.

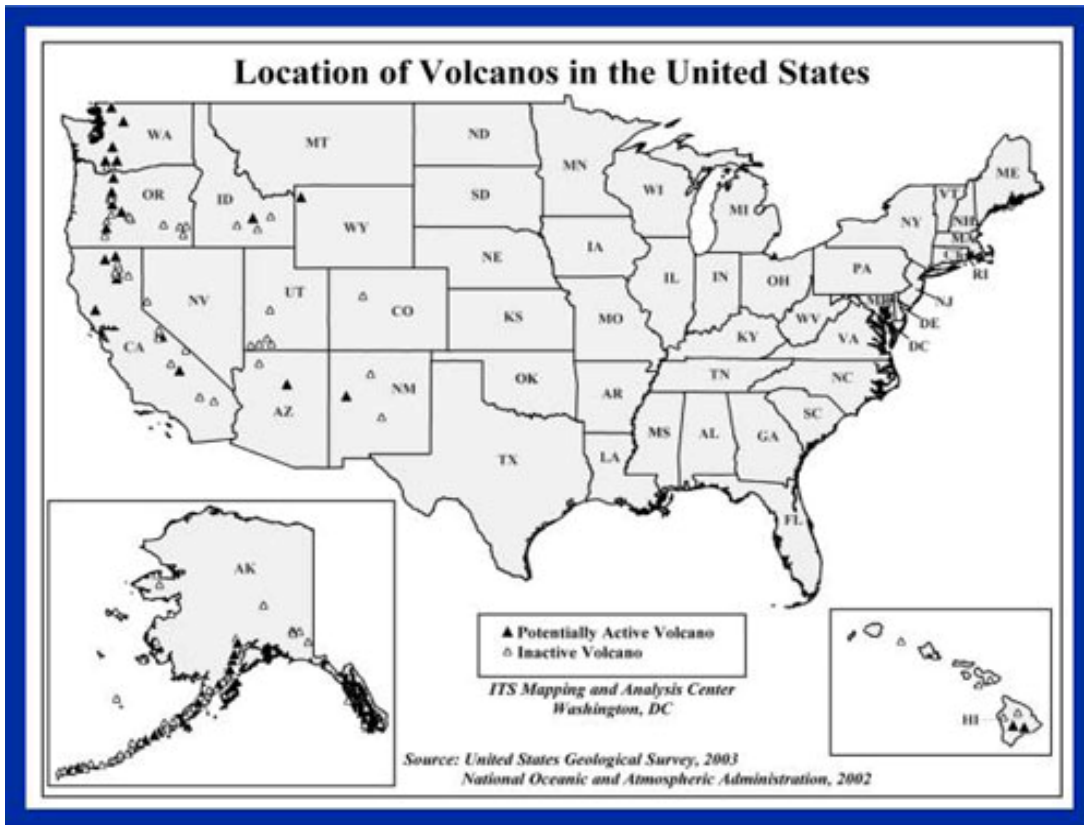
## **9. ZONAS VOLCÁNICAS, SÍSMICAS Y FUENTES TERMALES EN ESTADOS UNIDOS.**

Esta Tesis analiza países pertenecientes al Continente Europeo y al Atlántico

Norte, por lo que también se ha incluido la Costa Este de los Estados Unidos como país de referencia. Es por ello que se han seleccionado zonas volcánicas, sísmicas y fuentes termales de la parte oriental de los Estados Unidos de América del Norte.

### 9.1. ZONAS VOLCÁNICAS

Las zonas volcánicas más destacadas de la parte centro - este de los Estados Unidos se observan en el mapa siguiente, contenido en la figura 88.



**Figura 88: Mapa zonas volcánicas de Estados Unidos**

Fuente: *United States Geological Survey, 2003. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002*

A continuación, se relacionan los volcanes más destacados de la costa este norteamericana:

- **Battle Mountain:** Montaña ígnea, se trata de un volcán extinto, situado en el condado de Rappahannock, Virginia.

- **Door Point:** Volcán extinto enterrado frente a la costa de Saint Bernard, Louisiana. La estructura y cristalización de la roca indica que era un volcán submarino complejo.
- **Hicks Dome:** Se encuentra en el condado de Hardin, en Illinois. La cúpula de Hicks está sustentada por la actividad de rocas ígneas muy arraigadas.
- **Mole Hill:** Colina redondeada de lo que queda de un volcán activo hace aproximadamente 47 millones de años. Se encuentra al oeste de Harrisonburg, en el condado de Rockingham, en Virginia.
- **Montañas Ossipee:** Pequeña cadena montañosa en el estado de Nueva Inglaterra en New Hampshire. Los restos de un antiguo dique de anillo volcánico se encuentran al norte del lago Winnepesaukee, al este del lago Squam y al sur de la Cordillera Sandwich, la más meridional de las Montañas Blancas.
- **Montañas Pawtuckaway:** Pequeña cadena rocosa circular que forma el contorno de un antiguo dique de anillo volcánico en New Hampshire.
- **Montañas Porcupine:** Grupo de pequeñas montañas con un volcán central que se extienden por el noroeste de la península superior de Michigan en los condados de Ontonagon y Gogebic.

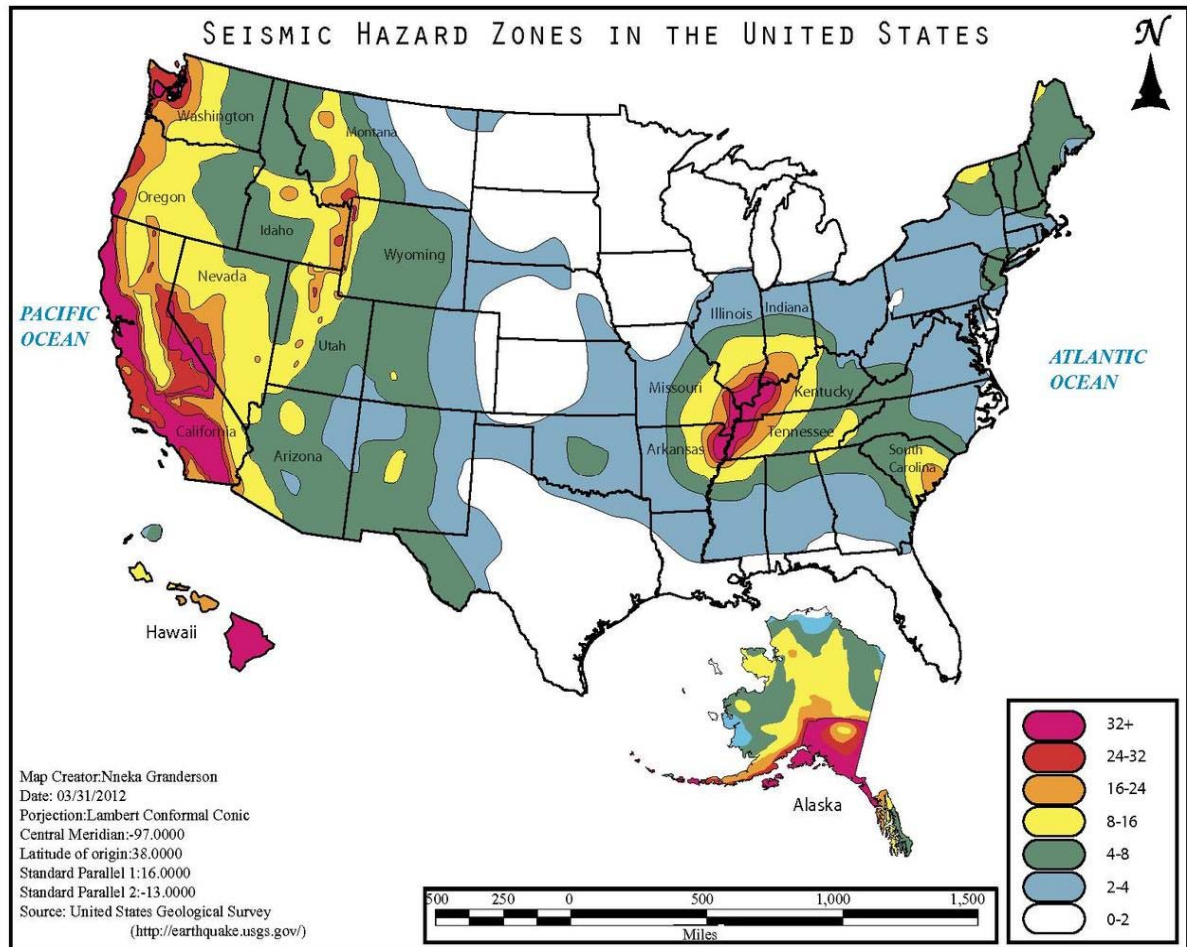
## 9.2. ZONAS SÍSMICAS

Investigaciones publicadas por el Servicio Geológico de los Estados Unidos, por Kishor Jaiswal, ingeniero del USGS<sup>307</sup> y autor principal, indican que, aproximadamente, la mitad de los estadounidenses viven en áreas propensas a terremotos. California encabeza la lista de estados con mayor riesgo, pero también los estados del este de los Estados Unidos tienen una mayor probabilidad de sufrir terremotos de gran impacto.

---

<sup>307</sup> United States Geological Survey

Se muestra el mapa de zonas sísmicas de Estados Unidos en la figura 89.



**Figura 89: Mapa zonas sísmicas de Estados Unidos**

Fuente: United States Geological Survey

Centrándose en la costa este y zona centro-este de los Estados Unidos, las zonas sísmicas más destacadas son:

- **Arkansas: Arkansas.**
- **Carolina del Sur: Charleston, costa de Carolina del Sur, frontera entre Carolina del Sur y Georgia, Summerville, isla de Seabrook.**
- **Illinois: Condados de Wabash, Richland, Lee, Hamilton, Randolph, Kane, Mississippi, Hamilton y Marion.**
- **Indiana: Wabash River.**



- **Kentucky: Kentucky.**
- **Massachusetts: Cape Ann.**
- **Missouri: Missouri.**
- **New Hampshire: New Hampshire.**
- **New York: Coney Island.**
- **Pennsylvania: Pymatuning.**
- **Tennessee: Tennessee.**
- **Virginia: Virginia.**

Las zonas de mayor riesgo sísmico se encuentran en la frontera entre los estados de Arkansas, Missouri, Illinois, Indiana, Kentucky y Tennessee, la costa de Carolina del Sur y New Hampshire.

### **9.3. FUENTES TERMALES**

Las fuentes termales existen en muchos estados de los Estados Unidos. Los estados occidentales en particular son conocidos por sus fuentes termales: Alaska, Arizona, California, Colorado, Idaho, Montana, Nevada, Nuevo México, Oregón, Utah, Washington, Wyoming; pero hay interesantes fuentes termales en otros estados del país. Las fuentes termales que estudiamos en la presente Tesis se centran en la zona oriental de los Estados Unidos. A continuación, se muestran las fuentes termales más destacadas por su temperatura en los estados de la zona centro-oriental de los Estados Unidos.

- **Arkansas: Hot Springs 62 ° C.**
- **West Virginia: Berkeley Springs State Park 74,3 ° C.**
- **Carolina del Norte: Hot Springs 42 ° C.**

El resto de las fuentes termales situadas en la costa este de los Estados Unidos se encuentran por debajo de los 36 °C, por lo que se consideran aguas

mesotermales e hipotermales y no se han seleccionado para la presente Tesis.