

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA
Departamento de Geografía Humana



**LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y TERRITORIAL DE
LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LOS SISTEMAS DE
INFORMACIÓN GEOGRÁFICA**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR
POR Francisco Javier Domínguez Bravo**

Bajo la dirección de los Doctores:
Mercedes Molina Ibáñez
Miguel Ángel Troitiño Vinuesa

Madrid, 2002

ISBN: 84-669-1976-7

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE GEOGRAFÍA E HISTORIA

Departamento de Geografía Humana



***LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y TERRITORIAL DE
LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LOS SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA***

TESIS DOCTORAL

Francisco Javier Domínguez Bravo

2002

FRANCISCO JAVIER DOMÍNGUEZ BRAVO

***LA INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y TERRITORIAL DE
LAS ENERGÍAS RENOVABLES Y LOS SISTEMAS
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA***

Dirección:

Mercedes Molina Ibáñez

Miguel Angel Troitiño Vinuesa

2002

DEPARTAMENTO DE GEOGRAFÍA HUMANA

Facultad de Geografía e Historia

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

*“Regresamos de Albacete con las imágenes de un paisaje particular.
¿Feo? ¿Bonito? Tal vez porque sabemos lo que suponen esas aspas girando al
viento, a nosotros nos gustan los molinos. A sus pies, el volteo permanente de las
turbinas parecía decir que otro modelo energético es posible”. (Energías
Renovables, nº 9, 2002, pág. 21)*

*A Gloria, Javier y María.
Por el tiempo que os he robado.*

Índice General

PRESENTACIÓN	1
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.1. Definición de objetivos	7
1.2. Estructura metodológica y motivación	11
1.3. Análisis documental y fuentes	17
1.3.1. Bibliografía y fuentes de información.....	18
1.3.2. Proyectos de referencia y base documental del análisis de casos	24
1.4. Estructura y contenido de la investigación	26
CAPÍTULO 2. PLANIFICACIÓN ENERGÉTICA	31
2.1. Escenarios energéticos	39
2.1.1. Escenarios del Consejo Mundial de la Energía (WEC)	39
2.1.2. Escenarios de la Agencia Internacional de la Energía (IEA)	44
2.1.3. Escenarios de la Shell	49
2.1.4. Escenarios de la Unión Europea	52
2.1.5. Síntesis de Escenarios	57
2.2. Política energética y ordenación territorial	60
2.3. La Planificación energética desde el punto de vista legislativo. El ejemplo de la Ley del Sector Eléctrico.	68

CAPÍTULO 3. INTEGRACIÓN ECONÓMICA Y TERRITORIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES	73
3.1. Principales Fuentes de Energías Renovables	73
3.1.1. Energía solar	74
3.1.2. Energía eólica.....	79
3.1.3. Energía de la biomasa	85
3.1.4. Energía geotérmica.....	91
3.1.5. Energía hidráulica	93
3.1.6. Energía del mar	96
3.2. Demanda rural de energía y características geográficas de las FER	97
3.3. Ventajas de las energías renovables a escala regional.....	101
3.4. Las barreras para la integración de las energías renovables	105
3.4.1. Barreras económicas, financieras y legales	110
3.4.2. Barreras tecnológicas y normalización.....	113
3.4.3. Superación de barreras	118
3.5. Aspectos ambientales de la integración	122
3.5.1. Energías renovables y medio ambiente	123
3.5.2. Parques eólicos.....	129
3.5.3. Centrales hidroeléctricas	133
3.5.4. Centrales eléctricas con biomasa.....	135
3.5.5. Instalaciones fotovoltaicas aisladas.....	141

3.5.6.	Instalaciones eólicas aisladas	144
3.6.	<i>La demanda social de energías limpias</i>	147
3.6.1.	El papel del usuario en las aplicaciones descentralizadas	152
3.6.2.	Energías Renovables y empleo	155
3.7.	<i>El papel de las instituciones</i>	160
3.7.1.	El debate sobre las energías renovables en el seno de la Unión Europea	160
3.7.2.	El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España	173
3.8.	<i>Situación actual y perspectivas en España</i>	183
CAPÍTULO 4. LA APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN		
GEOGRÁFICA EN EL CAMPO DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES.....211		
4.1.	<i>Sistemas de soporte de decisiones para la integración de las energías renovables</i>	214
4.1.1.	REGIS.....	215
4.1.2.	EPURE.....	221
4.1.3.	EnTRACK	223
4.1.4.	REPLAN.....	225
4.1.5.	REDES (SIG para desalinización de agua).....	226
4.2.	<i>SIG y generación dispersa de electricidad con energías renovables</i>	228
4.2.1.	SIG y energía eólica: evaluación y localización de emplazamientos para parques eólicos	228
4.2.2.	Apoyo de los Sistemas de Información Geográfica en el uso de la energía solar fotovoltaica en tejados	240

4.2.3. Localización de centrales térmicas de Biomasa	243
4.3. SIG y producción descentralizada de electricidad con energías renovables	254
CAPÍTULO 5. EJEMPLOS DE APLICACIÓN DE LOS SIG A LA INTEGRACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN ESPAÑA	269
5.1. Central termoeléctrica mixta: solar - biomasa.....	272
5.1.1. Zonas de mayor potencial solar en la Península.....	273
5.1.2. Producción potencial de energía con Biomasa en Andalucía.....	286
5.1.2.1. Metodología aplicada en el estudio	288
5.1.2.2. Producción potencial de Biomasa	292
5.1.2.3. Producción potencial de energía	304
5.1.3. Análisis económico	307
5.2. Análisis de las posibilidades de integración de las energías renovables en el municipio de Lorca (Murcia).....	311
5.2.1. Revisión de SOLARGIS	314
5.2.2. Metodología SIG propuesta	321
5.2.3. Evaluación del sistema: análisis de la sensibilidad espacial.....	340
5.2.3.1. Primera etapa: Análisis de sensibilidad del LEC	341
5.2.3.2. Segunda etapa: Análisis de sensibilidad espacial.....	345
5.2.3.3. Tercera etapa: Estabilidad del resultado	363
5.2.4. Síntesis del estudio.....	365

CONCLUSIONES	371
BIBLIOGRAFÍA	381
ANEXO A: ACRÓNIMOS	415
ANEXO B: DEFINICIONES Y CONCEPTOS	425
ANEXO C: UNIDADES DE MEDIDA	431
ANEXO D: FUENTES DE INFORMACIÓN EN INTERNET	437

Lista de tablas

<i>Tabla 1-1: Articulación temática.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabla 2-1: Evolución de las aportaciones de energía primaria por escenarios del WEC para el año 2020.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 2-2: Proyecciones de la composición de la Demanda Global de Energía Primaria y las emisiones de carbono en 2050 para seis escenarios (datos en GTEP).</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 2-3: Escenario de Referencia. Mundo.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 2-4: Características de los escenarios de la Shell.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 2-5: Producción de Energía Primaria en el Mundo.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 2-6: Producción de Energía Primaria en la OCDE.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabla 2-7: Participación estimada de las Energías Renovables en la Producción de Energía Primaria por Grupos de Países en el "escenario de referencia" para el 2020.</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 3-1: Características de las FER.....</i>	<i>104</i>
<i>Tabla 3-2: ¿Puede ser competitiva la electricidad renovable?.....</i>	<i>110</i>
<i>Tabla 3-3: Las energías renovables y el medio ambiente.</i>	<i>124</i>
<i>Tabla 3-4: Emisiones del ciclo de vida de las renovables.....</i>	<i>125</i>
<i>Tabla 3-5: Valores típicos de emisiones de diferentes combustibles fósiles.</i>	<i>137</i>
<i>Tabla 3-6: Energías renovables y creación de empleo.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 3-7: Consumo final de energías renovables en la producción de calor. Situación de partida y objetivos del Plan al 2010 (ktep).</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 3-8: Generación bruta de electricidad. Situación de partida y objetivos del Plan.</i>	<i>175</i>
<i>Tabla 3-9: Objetivos del Plan. Potencia instalada.....</i>	<i>176</i>
<i>Tabla 3-10: Potencial adicional de recursos de energías renovables en España.....</i>	<i>177</i>
<i>Tabla 3-11: Medidas e incentivos del Plan de Fomento de las energías renovables.....</i>	<i>179</i>
<i>Tabla 3-12: Características de las principales FER en España.....</i>	<i>184</i>

<i>Tabla 4-1: Sistemas de soporte de decisiones, basados en SIG, para la integración de energías renovables en regiones de la UE.....</i>	<i>214</i>
<i>Tabla 4-2: Regiones estudiadas en el proyecto EnTRACK y sus principales características.....</i>	<i>224</i>
<i>Tabla 4-3: Aplicación de los SIG a la producción distribuida de electricidad con fuentes de energías renovables.....</i>	<i>228</i>
<i>Tabla 4-4: Principales restricciones para el emplazamiento de Parques eólicos en Nord-Pas de Calais (Francia).....</i>	<i>233</i>
<i>Tabla 4-5: WFLC: criterios y restricciones para la localización de parques eólicos.....</i>	<i>237</i>
<i>Tabla 4-6: Escenarios considerados en la aplicación de SOLARGIS en Túnez.....</i>	<i>259</i>
<i>Tabla 4-7: SIG y producción descentralizada de electricidad para electrificación rural.....</i>	<i>267</i>
<i>Tabla 5-1: Equivalencias para el cálculo de residuos.....</i>	<i>291</i>
<i>Tabla 5-2: Producción potencial de biomasa en Andalucía.....</i>	<i>293</i>
<i>Tabla 5-3: Escenario de consumo para vivienda renovable.....</i>	<i>315</i>
<i>Tabla 5-4: Escenario de consumo para vivienda convencional.....</i>	<i>315</i>
<i>Tabla 5-5: Principales factores por su influencia en el LEC para cada uno de los sistemas estudiados.....</i>	<i>345</i>
<i>Tabla 5-6: Influencia de las distintas variables en la sensibilidad espacial.....</i>	<i>347</i>
<i>Tabla 5-7: Escenarios contemplados para evaluar la estabilidad del resultado.....</i>	<i>364</i>
<i>Tabla 5-8: Conclusiones del estudio: fuentes de incertidumbre y acciones correctoras.....</i>	<i>366</i>
<i>Tabla C-0-1: Múltiplos y submúltiplos del sistema internacional de unidades.....</i>	<i>433</i>
<i>Tabla C-0-2: Unidades de energía.....</i>	<i>433</i>
<i>Tabla C-0-3: Unidades de potencia.....</i>	<i>434</i>
<i>Tabla C-0-4: Otras unidades.....</i>	<i>434</i>
<i>Tabla C-0-5: Factores de conversión.....</i>	<i>434</i>
<i>Tabla C-0-6: Horas medias equivalentes de funcionamiento al año para generación eléctrica.....</i>	<i>435</i>
<i>Tabla C-0-7: Factores de emisiones de CO₂ considerados por el “Plan de Fomento de las Energías Renovables” para la generación de electricidad.....</i>	<i>435</i>

Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1-1: Principales aspectos de la integración territorial de las energías renovables.....</i>	<i>15</i>
<i>Ilustración 2-1: Evolución prevista por el WEC, por sectores, para un escenario de crecimiento medio.</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 2-2: Participación de la oferta mundial de energía primaria en el PIB 1971-2020....</i>	<i>47</i>
<i>Ilustración 2-3: Evolución de las energías renovables en los diferentes escenarios y en relación a la producción energética mundial.</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 3-1: CIEMAT, Vista de la Plataforma Solar de Almería. Central Solar de Torre.....</i>	<i>77</i>
<i>Ilustración 3-2: Parque Eólico de San Martín de Unx (Navarra).....</i>	<i>81</i>
<i>Ilustración 3-3: Minicentral hidroeléctrica de Anzánigo (Huesca).</i>	<i>95</i>
<i>Ilustración 3-4: Ecopuntos totales por sistema.</i>	<i>126</i>
<i>Ilustración 3-5: Vista del Parque Eólico de la Higeruela.</i>	<i>130</i>
<i>Ilustración 3-6: Porcentaje de participación en el presupuesto de Innovación tecnológica por áreas.</i>	<i>178</i>
<i>Ilustración 3-7: Aerogeneradores españoles en la región china de Mongolia.....</i>	<i>180</i>
<i>Ilustración 3-8: Producción y consumo de electricidad en España.</i>	<i>186</i>
<i>Ilustración 3-9: Evolución del consumo de energía primaria en España.</i>	<i>187</i>
<i>Ilustración 3-10: Aportación de cada fuente al consumo de energía primaria de origen renovable.</i>	<i>188</i>
<i>Ilustración 3-11: Aportación de las distintas fuentes al consumo de energía primaria de origen renovable en la Unión Europea.....</i>	<i>188</i>
<i>Ilustración 3-12: Estructura de la generación eléctrica.</i>	<i>189</i>
<i>Ilustración 3-13: Objetivos PFER: potencia instalada.</i>	<i>190</i>
<i>Ilustración 3-14: Objetivos del PFER: generación eléctrica.</i>	<i>190</i>
<i>Ilustración 3-15: Consumo de energía final por sectores.</i>	<i>191</i>

<i>Ilustración 3-16: El consumo de energías renovables en España.....</i>	<i>191</i>
<i>Ilustración 3-17: Potencia eléctrica instalada en España. UNESA.....</i>	<i>192</i>
<i>Ilustración 3-18: El consumo final de electricidad en España.</i>	<i>193</i>
<i>Ilustración 3-19: Producción eléctrica en España. UNESA.</i>	<i>194</i>
<i>Ilustración 3-20: Grandes centrales hidroeléctricas españolas.....</i>	<i>195</i>
<i>Ilustración 3-21: Las energías renovables en España: minihidráulica.:</i>	<i>196</i>
<i>Ilustración 3-22: Las energías renovables en España: eólica.</i>	<i>197</i>
<i>Ilustración 3-23: Las energías renovables en España: solar térmica.....</i>	<i>198</i>
<i>Ilustración 3-24: Las energías renovables en España: solar fotovoltaica.....</i>	<i>199</i>
<i>Ilustración 3-25: Las energías renovables en España: biomasa.</i>	<i>200</i>
<i>Ilustración 3-26: Las energías renovables en España: biogás.</i>	<i>201</i>
<i>Ilustración 3-27: Las energías renovables en la Unión Europea. Potencia Instalada.</i>	<i>202</i>
<i>Ilustración 4-1: Metodología general de SOLARGIS.</i>	<i>257</i>
<i>Ilustración 5-1: Proyecto Mersoterm. Variables consideradas en el proyecto.....</i>	<i>279</i>
<i>Ilustración 5-2: Proyecto Mersoterm. Radiación directa.</i>	<i>280</i>
<i>Ilustración 5-3: Proyecto Mersoterm. Energía colectada.....</i>	<i>281</i>
<i>Ilustración 5-4: Proyecto Mersoterm. Coste de generación.</i>	<i>282</i>
<i>Ilustración 5-5: Proyecto Mersoterm. Zonas recomendadas para la implantación de una central solar de torre.....</i>	<i>283</i>
<i>Ilustración 5-6: Proyecto Mersoterm. Potencial solar en Andalucía occidental.</i>	<i>284</i>
<i>Ilustración 5-7: Proyecto Mersoterm. Potencial solar en Almería y Murcia.....</i>	<i>285</i>
<i>Ilustración 5-8: Producción potencial de biomasa por municipios.</i>	<i>294</i>
<i>Ilustración 5-9: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos herbáceos.</i>	<i>295</i>
<i>Ilustración 5-10: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos olivareros.</i>	<i>296</i>
<i>Ilustración 5-11: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos forestales.</i>	<i>297</i>
<i>Ilustración 5-12: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos de plantaciones de árboles frutales.....</i>	<i>298</i>

<i>Ilustración 5-13: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos de viñedos.</i>	299
<i>Ilustración 5-14: Producción potencial de energía con biomasa en los municipios de Andalucía.</i>	309
<i>Ilustración 5-15: Producción potencial de energía en un radio de 25 km.</i>	310
<i>Ilustración 5-16: Curva de carga media diaria del sector residencial en 1996.</i>	316
<i>Ilustración 5-17: Diagrama de flujo del método propuesto</i>	320
<i>Ilustración 5-18: Mapa de radiación solar sobre el plano de los paneles (kWh/m².año) para el municipio de Lorca</i>	324
<i>Ilustración 5-19: Mapa de velocidad del viento (m/s) a 10 m, para el municipio de Lorca</i>	325
<i>Ilustración 5-20: Distancias a la red eléctrica y red de Media Tensión en el municipio de Lorca</i>	326
<i>Ilustración 5-21: Densidad de poblamiento del municipio de Lorca</i>	327
<i>Ilustración 5-22: Pantalla de descripción del Sistema de Información Geográfica.</i>	329
<i>Ilustración 5-23: Demanda de instalaciones de energías renovables.</i>	329
<i>Ilustración 5-24: Dimensionado de la acumulación.</i>	330
<i>Ilustración 5-25: Parámetros técnicos.</i>	330
<i>Ilustración 5-26: Parámetros económicos.</i>	331
<i>Ilustración 5-27: Demanda y dimensionamiento de instalaciones de energías convencionales.</i>	331
<i>Ilustración 5-28: Valores de referencia de los datos del recurso eólico.</i>	332
<i>Ilustración 5-29: Resultado global del método aplicado al caso de referencia.</i>	333
<i>Ilustración 5-30: Valores de referencia para el sistema fotovoltaico (1722 kWh/m².año).</i>	334
<i>Ilustración 5-31: Resultados numéricos para el sistema fotovoltaico, en el caso de referencia.</i>	334
<i>Ilustración 5-32: Valores de referencia para el sistema eólico individual (velocidad viento anual: 4 m/s).</i>	335
<i>Ilustración 5-33: Resultados numéricos para el sistema eólico individual, en el caso de referencia.</i>	335
<i>Ilustración 5-34: Valores de referencia, instalación de conexión a red (Long. MT = 1,8 km; 3 casas/km²).</i>	336

<i>Ilustración 5-35: Resultados numéricos para el sistema “conexión a red”, en el caso de referencia.</i>	336
<i>Ilustración 5-36: Valores de referencia para el sistema diesel central (3 viviendas/km²).</i>	337
<i>Ilustración 5-37: Resultados numéricos para el sistema diesel central, en el caso de referencia.</i>	337
<i>Ilustración 5-38: Valores de referencia para el sistema diesel individual.</i>	338
<i>Ilustración 5-39: Valores de referencia para el sistema eólico-diesel.</i>	339
<i>Ilustración 5-40: Sensibilidad del LEC fotovoltaico.</i>	342
<i>Ilustración 5-41: Sensibilidad del LEC eólico.</i>	342
<i>Ilustración 5-42: Sensibilidad del LEC diesel individual.</i>	343
<i>Ilustración 5-43: Sensibilidad del LEC conexión a red.</i>	343
<i>Ilustración 5-44: Sensibilidad del LEC diesel central.</i>	344
<i>Ilustración 5-45: Sensibilidad del LEC eólico-diesel.</i>	344
<i>Ilustración 5-46: Influencia espacial de la demanda en Lorca (mapa y tabla para una demanda el 40% mayor que el caso de referencia).</i>	349
<i>Ilustración 5-47: Influencia del tiempo de vida del acumulador para Lorca (Mapa y tabla).</i>	350
<i>Ilustración 5-48: Influencia espacial del coste de inversión fotovoltaico en Lorca (Mapa y tabla para un coste de inversión fotovoltaico de 6000 €/kWp).</i>	351
<i>Ilustración 5-49: Influencia espacial del precio de combustible en Lorca (Mapa y tabla).</i>	352
<i>Ilustración 5-50: Influencia espacial de la radiación solar en Lorca (Mapa y tabla para una radiación solar de un 90% del caso de referencia).</i>	353
<i>Ilustración 5-51: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste de inversión diesel central.</i>	356
<i>Ilustración 5-52: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste de líneas de BT.</i>	358
<i>Ilustración 5-53: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste del kWh.</i>	359
<i>Ilustración 5-54: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al impuesto por emisiones de CO₂.</i>	360
<i>Ilustración 5-55: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la tasa de descuento.</i>	361

<i>Ilustración 5-56: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la variación del recurso eólico.</i>	<i>362</i>
<i>Ilustración 5-57: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la variación del coste de inversión en el sistema eólico.</i>	<i>363</i>

Presentación

A raíz de la crisis del petróleo de los años 70 se empezó a tomar conciencia por parte del conjunto de la sociedad de la enorme trascendencia que tenía el abastecimiento energético en los modos de vida. En respuesta a este fenómeno, hubo un movimiento que consideró que las energías renovables podían ser una alternativa energética que permitiese alcanzar un mayor grado de independencia de los recursos petrolíferos. Este papel de las renovables como energías alternativas se ha matizado, y han tomado fuerza en este discurso los aspectos ambientales y la demanda social, actuando como impulsores en el desarrollo de una nueva etapa en la integración de las Energías Renovables¹.

De esta forma, hoy en día los ciudadanos están tomando conciencia de los graves problemas derivados del uso insostenible de la energía, y a un modelo de concentración, basado en el petróleo y en los combustibles fósiles como fuentes de energía baratas y casi inagotables, se le contraponen, cada vez más, un nuevo modelo energético que parte de las siguientes premisas: la diversificación en las fuentes, la

¹ SÁNCHEZ, F.: "Energías Renovables, situación y perspectivas". En CIEMAT (1995a): *Energía Renovables*. Págs. 11 a 19.

racionalización, la eficiencia y el ahorro² en el consumo y el respeto al medio ambiente.

Estos aspectos, y especialmente el último, han tomado gran relevancia con los estudios sobre el ozono y el cambio climático global, plasmándose en los objetivos de reducción de emisiones de CO₂ que muchos países han ido asumiendo tras la Cumbre de la Tierra de Kyoto; y planteando el problema de la energía como una de las principales claves de la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible celebrada recientemente en Johannesburgo. Sin embargo, y a pesar de ello, como afirmaba recientemente el Premio Nóbel de Física Carlo Rubia ("El futuro de la energía", CIEMAT, 23-11-01), tanto el protocolo de Kyoto como el resto de medidas políticas, se muestran insuficientes a largo plazo, siendo necesario realizar un importante esfuerzo tecnológico para superar la situación ambiental y energética actual. Ante esta situación, junto con la tendencia a la descentralización de los sistemas de generación de energía eléctrica (diversificación y aprovechamiento de nuevos combustibles fósiles, utilización de ciclos de alta eficiencia y eliminación de pérdidas energéticas por transporte), las energías renovables pueden llegar a suponer, a mediados del presente siglo, el 50% del consumo de energía primaria.

² Si lugar a dudas, el ahorro en el consumo de energía es una de las piezas claves tanto para un modelo de desarrollo sostenible como para un uso racional de las energías renovables, sobre todo en aplicaciones descentralizadas.

En este sentido, resulta difícil concebir las energías renovables olvidando la perspectiva ambiental en la que nacen y se desarrollan. Sin embargo, en ocasiones, esta visión tiende a olvidarse, provocando rechazo social e incompreensión hacia una actitud que antepone esquemas de desarrollo con un carácter exclusivamente economicista frente a otros más técnicos y ambientales.

Desde una perspectiva social, las energías renovables tienen y deben tener una importante posición. En numerosas ocasiones es la demanda social, a través de la difusión de la tecnología y de la preocupación medioambiental, la que promueve el desarrollo de estas fuentes. A la par, la acción motora sobre el desarrollo tecnológico, económico y la mejora del empleo, son importantes acicates para su desarrollo.

Medio ambiente, recursos naturales, desarrollo económico y social... son variables con una fuerte impronta territorial y geográfica. Por ello, la integración de las energías renovables no sólo debe enfocarse desde un punto de vista técnico, sino también en la comprensión del sistema energético como un conjunto con una importante presencia territorial. Por lo tanto, en esta tesis el concepto de integración de energías renovables, además de la perspectiva de su integración en el sistema energético y de su colaboración en esta línea a la producción de energía, debe de contemplarse en su vertiente territorial, ambiental y social, es decir, las implicaciones y reciprocidades entre estos tres

aspectos y el desarrollo tecnológico, implantación física y difusión social de las energías renovables.

Las energías renovables, con sus características energéticas, ambientales y geográficas, deben tener un papel importante en este nuevo modelo energético. La mayor dispersión geográfica de estos recursos, frente a las fuentes convencionales, implica que siempre se puede contar con alguna fuente renovable de *carácter autóctono*. Lo cual, dota a las energías renovables de un gran valor de cara a la diversificación y a la complementariedad de las distintas fuentes en el sistema energético regional, contribuyendo a disminuir la dependencia energética del exterior. Estas características geoenergéticas, junto a la importancia de su *valor ambiental* y su *aceptación social*, justifican la intervención del Estado para fomentar su desarrollo y que sean incluidas como una parte de la planificación energética. La cual deberá basarse en la estimación de los recursos, la evaluación de la demanda y el desarrollo de planes de integración apropiados, que tengan en cuenta las tecnologías disponibles y las restricciones económicas, sociales y ambientales.

Todas estas características tienen una componente geográfica por lo que los sistemas de información geográfica (SIG) pueden jugar un papel muy importante en su integración (localización de emplazamientos, planificación regional, evaluación de impactos, análisis socioeconómicos, análisis multicriterio, etc.).

Por todo ello, esta investigación aborda, desde una perspectiva tecnológica, ambiental, social y geográfica, el papel que pueden jugar los sistemas de información geográfica en la integración de las energías renovables, con especial atención a los aspectos relacionados con la producción de descentralizada electricidad a partir de estas fuentes .

No quisiera cerrar la presentación de esta tesis doctoral sin antes mostrar mi agradecimiento a todas aquellas persona e instituciones que la han hecho posible.

En primer lugar, me gustaría mostrar mi gratitud al Departamento de Geografía Humana de la Universidad Complutense de Madrid, que con tanta generosidad me admitió en su programa de doctorado, y, muy especialmente, a Mercedes Molina y a Miguel Ángel Troitiño, codirectores de esta investigación, por su dirección, inestimable apoyo y consejo, indispensables para llevar a buen puerto este empeño.

No puedo olvidar aquí mencionar a todos mis compañeros del Departamento de Energías Renovables del CIEMAT y, muy especialmente, a Ignacio Martí y al resto de compañeros del Proyecto de Predicción, por el apoyo técnico y humano, así como su comprensión en el desarrollo de esta tesis.

Igualmente, desde aquí quiero expresar mi agradecimiento a Antonio Díaz Cano por su amistad, su apoyo, inestimable ayuda y

comprensión, y al resto del equipo de documentación y biblioteca, así como al del centro de cálculo del CIEMAT, por su importante papel en el desarrollo de esta investigación.

A Carmen Lago, Ana Prades y Vicente Roque, por sus conocimientos, apoyo y comprensión. Gracias por estar ahí y por mantener esa visión social y ambiental de la energía.

También es el momento de expresar mi reconocimiento a José M^a García Alvarado, que siempre creyó en mí; a Juan Maria Tortosa “Tiroliro”, de HIGUERUELA.net, por su amabilidad para publicar las fotos de La Higuera; y al resto de las personas que durante todo este tiempo me han apoyado y han creído que esto merecía la pena (todos ellos saben quienes son).

Finalmente, no puedo olvidar a Julio Amador, sin cuyo apoyo, ánimo y asesoramiento esta tesis no se habría escrito jamás. Gracias.

CAPÍTULO 1. Planteamiento de la investigación

Tras numerosas experiencias en el campo de la aplicación de los SIG y las energías renovables, la idea de que es imposible desarrollar una buena integración de estas fuentes sin tomar en consideración los factores territoriales se ha hecho cada vez más latente. Con el fin de perfilar esta idea, se ha realizado un importante esfuerzo de investigación por sistematizar los conocimientos que unen los campos de la geografía y de la energía, de forma tal, que se pueda dar respuesta a una doble preocupación: por un lado, aportar conocimiento territorial a la planificación energética y a la integración de las energías renovables y por otro, aportar las herramientas necesarias para incluir ese conocimiento en proyectos activos de integración.

1.1. Definición de objetivos

Como se ponía de manifiesto en la presentación de esta tesis doctoral y como continuación de las reflexiones arriba enunciadas, las energías renovables pueden contribuir notablemente a mejorar la situación energética, social y ambiental del planeta en un futuro no demasiado lejano. Para ello, es imprescindible sumar a los esfuerzos

políticos, económicos y sociales un apoyo decidido a la investigación y el desarrollo en este campo. En este sentido, una carencia importante es la capacidad de unir el conocimiento tecnológico con su impacto territorial, ya que el desarrollo de una tecnología no implica necesariamente que su aplicación práctica sea homogénea, perdiéndose en muchos casos oportunidades de integración, debidas al desconocimiento de la realidad geográfica, social, ambiental o económica donde se va a implantar. Es aquí donde los estudios territoriales pueden jugar un papel aglutinador en un análisis necesariamente múltiple y complejo. De este modo, los sistemas de información geográfica se plantean como una herramienta capaz de integrar premisas no espaciales (tecnológicas, económicas, etc.) en el territorio, entendido este no sólo como fuente de recursos o lugar de localización de infraestructuras energéticas, sino también como sistema complejo donde se desarrollan distintas actividades mutuamente relacionadas. Esta visión, y el empleo de estas herramientas, necesariamente habrá de activar sinergias que impliquen una mejor integración económica y territorial de las energías renovables y que contribuyan a mejorar su competitividad frente a las fuentes convencionales.

Con el fin de analizar las relaciones entre el territorio y las diferentes tecnologías de aprovechamiento de las fuentes de energía renovables (FER), poniendo de relieve la importancia de las herramientas de análisis geográfico para mejorar el planeamiento energético y su

integración en el sistema geoenergético, se plantea el **siguiente objetivo general**:

Analizar el papel de los sistemas de información geográfica en la integración de las energías renovables en el sistema energético y territorial.

Para alcanzar este objetivo a continuación se formulan los siguientes **objetivos específicos**:

- *Analizar las previsiones de integración de las energías renovables a medio y largo plazo, a través del conocimiento de los escenarios energéticos formulados por los principales organismos internacionales en la materia, así como sus implicaciones en la planificación energética.*
- *Estudiar las relaciones existentes entre la planificación energética, como manifestación de política sectorial, y la ordenación del territorio, con especial atención a las consecuencias de la misma a escala europea.*
- *Analizar el impacto de la liberalización del sector eléctrico en la política territorial y en la integración de las renovables, con especial atención a España.*
- *Identificar las principales fuentes de energías renovables, caracterizando su distribución geográfica y su impacto*

territorial, así como sus ventajas de cara a la integración en el medio rural.

- *Identificar las principales barreras existentes en la actualidad para la integración de las energías renovables así como el papel de las instituciones, nacionales y comunitarias, en la superación de las mismas.*
- *Analizar los principales aspectos ambientales de las energías renovables, diferenciando el comportamiento de las distintas fuentes.*
- *Analizar los principales aspectos sociales de las energías renovables con especial atención al empleo y a la participación ciudadana.*
- *Conocer el estado actual de las energías renovables en España y sus posibilidades de desarrollo.*
- *Analizar las principales aplicaciones de los sistemas de información geográfica en el campo de las renovables, diferenciando las cualidades de los mismos según se trate de aplicaciones centralizadas o descentralizadas.*
- *Evaluar, a través del desarrollo de casos prácticos, la aplicación de los SIG en la localización de sistemas renovables conectados a la red eléctrica.*

- *Evaluar, a través del desarrollo de casos prácticos, la aplicación de los SIG en el estudio de la competitividad territorial de las renovables de cara a su integración regional.*

1.2. Estructura metodológica y motivación

A fin de alcanzar los objetivos arriba enunciados, esta tesis doctoral se estructura en tres bloques temáticos: la planificación energética, la integración de energías renovables y los sistemas de información geográfica.

Esta estructura responde al siguiente planteamiento. En primer lugar se abordan las relaciones entre la planificación energética y la política territorial. Con este objetivo, al principio del bloque temático se perfila cual puede ser el futuro de la demanda de energía, en forma de escenarios, y cual será el papel de las FER en el mismo; y a continuación, se analizan las relaciones entre ordenación del territorio y política y legislación energética. Con ello se pretende entresacar las principales relaciones territoriales existentes entre la planificación energética y el territorio de cara a la aplicación de sistemas de información geográfica.

Desde el punto de vista metodológico, una de las tareas más interesantes en el desarrollo de este tema fue intentar sintetizar los diferentes escenarios de participación de las energías renovables en la producción de energía primaria. Para ello, se seleccionaron los principales organismos y empresas que emiten este tipo de informes (WEC, IEA,

SHELL...) y se compararon sus proyecciones en diferentes periodos a fin de contrastar la evolución y el grado de fiabilidad de las mismas.

Otro aspecto de interés fue identificar las principales directrices territoriales incluidas en la planificación energética y los aspectos vinculados a la energía incluidos en la política territorial europea, para lo que fue necesario analizar tanto los documentos de directrices políticas como la legislación vinculada al sector eléctrico.

Tabla 1-1: Articulación temática.

Bloque temático	Capítulo	Aspectos tratados
Planificación energética	C2. Planificación Energética	Escenarios energéticos
		Planificación sectorial y ordenación del territorio
Integración energías renovables	C3. Integración económica y territorial de las energías renovables	Liberalización del mercado eléctrico
		Caracterización espacial de las fuentes
		Ventajas y barreras
		Aspectos ambientales
		Aspectos sociales
SIG	C4. Estado del conocimiento	Política institucional
		Situación española
		Sistemas de soporte de decisiones
		Generación distribuida
	C5. Casos prácticos	Producción descentralizada
		SOLBIO
		SOLARGIS

En el segundo bloque temático se ponen de relieve los aspectos más importantes de la integración económica y territorial de las energías renovables, para lo cual, se definen las principales características energéticas, ambientales y geográficas de las diferentes fuentes,

analizando a continuación sus principales ventajas y barreras y como en ocasiones estas pueden ser superadas aplicando unos criterios espaciales más coherentes. Tras poner de relieve los principales aspectos ambientales y sociales se aborda la política de integración en Europa y en España, donde además se describe su situación. Con esta secuencia temática se trata de ir definiendo las principales variables a considerar en los estudios de integración desde un punto de vista geográfico.

Desde una perspectiva metodológica, en este apartado fue muy importante tratar de sintetizar los principales conceptos asociados a las FER y entresacar las implicaciones geográficas de los mismos (distribución, factores, etc.); y a la vez, poner de relieve aquellos aspectos considerados como más interesantes de cara a reforzar el discurso territorial en la integración de estas fuentes (aspectos ambientales y tecnológicos, sociales, etc.). Por lo tanto, hubo que utilizar tanto manuales generales que aportasen una visión amplia del problema como documentos e informes muy específicos sobre los temas más relevantes (empleo, externalidades, etc.).

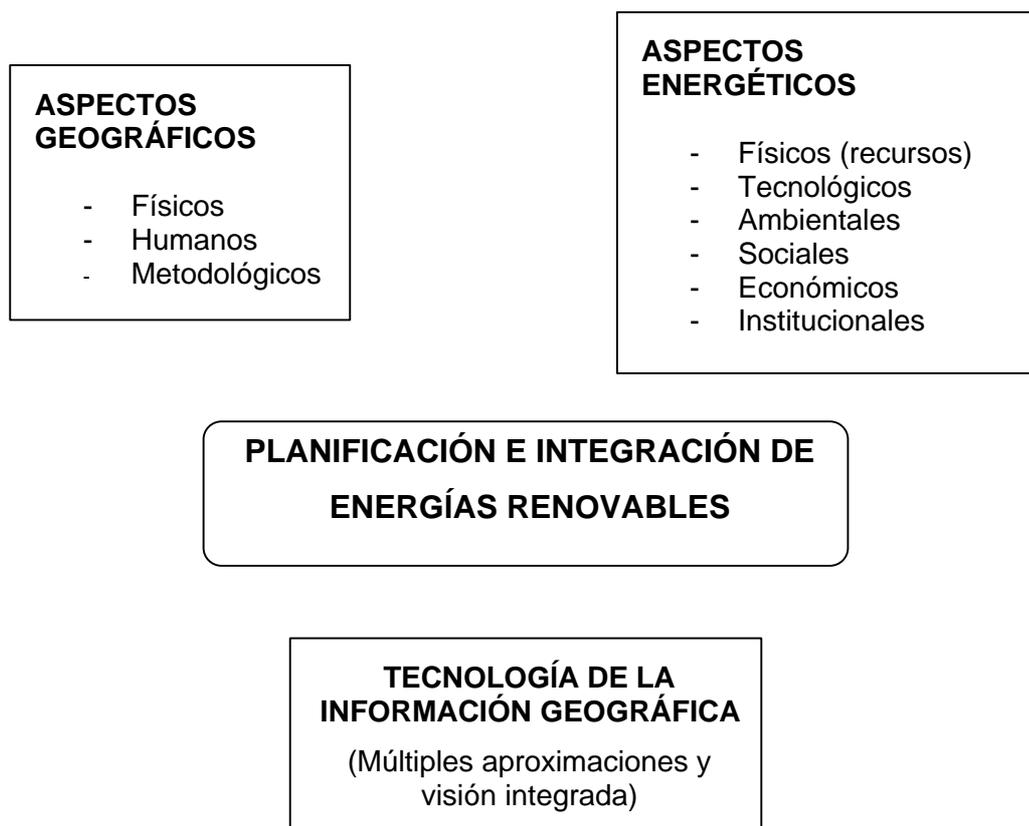
Finalmente, una vez abordados los principales temas y conceptos de la integración de las FER, se aborda la aplicación de los SIG en este campo. Para ello, en primer lugar se hace un estudio del estado del conocimiento de las aplicaciones SIG a las renovables. Este estudio se estructura en tres grandes temas: los sistemas de soporte de decisiones, los sistemas para producción distribuida y sistemas para producción

descentralizada. Una vez analizado el estado del conocimiento, se abordan en detalle dos aplicaciones. En la primera de ellas se analizan los estudios realizados con SIG para la localización del mejor emplazamiento para una central termoeléctrica mixta solar-biomasa conectada a la red eléctrica. En el segundo caso de estudio se propone un SIG de evaluación de la competitividad territorial de las FER frente a opciones convencionales de electrificación rural descentralizada. Con estos dos casos se pretende dar una visión amplia tanto en el número de fuentes estudiadas como en el análisis de sistemas conectados a red y de sistemas aislados.

Metodológicamente, este bloque tiene dos fases claramente diferenciadas. En la primera de ellas se realiza un exhaustivo estudio de las aplicaciones de los SIG en el campo de las renovables, sobre todo desde el punto de vista no geográfico, es decir, acudiendo a las fuentes especializadas en el campo de las FER con especial atención a las revistas científicas más relevantes. Esta aproximación permite esquematizar cuales son las principales necesidades y carencias *geográficas* en estos proyectos. En la segunda fase, se parte de proyectos en los que el autor tuvo una participación importante desde el punto de vista de aplicación SIG, para extraer nuevos análisis y conclusiones vinculados al problema que nos ocupa y que contribuyan a reforzar el discurso de la importancia de los SIG como herramienta para incorporar el conocimiento geográfico a la mejora de la integración de las FER.

Por lo tanto, la estructura de la investigación parte de la planificación sectorial para, tomando en consideración las variables espaciales y su relación con la política territorial, evaluar el papel de las energías renovables a nivel regional y local, desde una perspectiva social y ambientalmente sostenible, y proponer, sobre la base de las características geográficas de las fuentes de energías renovables y de las experiencias estudiadas, los SIG como aportación metodológica de la geografía a la planificación e integración de energías renovables.

Ilustración 1-1: Principales aspectos de la integración territorial de las energías renovables.



Como se puede apreciar en el esquema anterior, los SIG pueden ser utilizados como base técnica para desarrollar una planificación e integración de las FER coherente con el territorio, permitiendo una visión integrada e integral del problema, así como un enfoque multidisciplinar con múltiples aproximaciones (y por tanto con la posibilidad de *visualizar* múltiples resultados y escenarios), que sustenten tanto los aspectos energéticos más relevantes como las variables físicas.

Así por ejemplo, la utilización de un SIG en el campo de las energías renovables debería de permitir ponderar adecuadamente las variables contempladas en la planificación teniendo en cuenta el diferente *mapa* resultante; y por lo tanto, dotar al planificador de herramientas para evaluar los resultados territoriales de una visión predominante (ambiental, económica, social, técnica, o la que resulte mejor de la combinación de todas), puesto que estos sistemas aportan la capacidad de simular el impacto territorial de los diferentes escenarios energéticos, lo cual permitirá cuantificar, en términos espaciales, las diferentes opciones analizadas.

La posibilidad de conocer donde se encuentra el recurso, cuales son las infraestructuras, donde hay más mano de obra de unas determinadas características, cuales son las limitaciones ambientales, que actividades o usos se pueden beneficiar o cuales pueden resultar limitados.... entre otros muchos aspectos, debe de redundar sin duda en una mayor capacidad de penetración de las energías renovables frente a las fuentes convencionales, en las que todos estos parámetros están

habitualmente determinados por la localización de los recursos, las infraestructuras de generación y transporte, los centros de consumo o demanda y los mercados, respondiendo a una lógica territorial de concentración y de desarrollo polarizado y a un modelo de despilfarro energético.

Por ello, los SIG, desde una perspectiva de I+D, pueden contribuir a integrar las FER en un nuevo modelo energético que permita un desarrollo social y ambientalmente sostenible.

1.3. Análisis documental y fuentes

Para el desarrollo de esta tesis doctoral ha resultado imprescindible consultar una amplia bibliografía que dotase a la investigación tanto de una base conceptual adecuada como del estado actual del conocimiento científico en los campos abordados. También ha sido necesario recurrir a la experiencia acumulada en el desarrollo de proyectos de investigación que aplicaban sistemas de información geográfica al campo de las energías renovables.

La combinación de experiencias y la consulta de las fuentes ha puesto de manifiesto los principales interrogantes de los que se ocupa esta investigación.

1.3.1. Bibliografía y fuentes de información

Una de las técnicas fundamentales empleadas en esta tesis ha sido el análisis documental. En este sentido se han manejado básicamente tres grandes tipos de fuentes documentales: bibliográficas, cartográficas y estadísticas o numéricas.

Las **fuentes documentales**, recogidas en la bibliografía, se pueden clasificar en primarias generales y primarias especializadas. Entre las primeras se incluyen manuales y tratados generales, diccionarios, documentos divulgativos de grandes empresas del sector e instituciones y conferencias. Entre las segundas, revistas científico-técnicas, actas de reuniones y congresos, informes técnicos e institucionales, tesis doctorales, cursos y documentos legislativos.

Respecto de las fuentes primarias generales, se recogen manuales y tratados generales y diccionarios que versan sobre tres grandes bloques temáticos: obras metodológicas, geografía de la energía y tratados relacionados con la energía en general y con las fuentes de energía renovables en particular.

Dentro de las fuentes generales, también son de gran importancia para el desarrollo de esta tesis los documentos divulgativos de grandes empresas del sector e instituciones (muchos de ellos accesibles a texto completo desde Internet), en los que además de temas generales se han podido consultar una gran cantidad de estadísticas de gran actualidad. Entre las empresas cuyos documentos se han analizado se pueden

destacar los informes de la Shell y de otras compañías petroleras; los informes de las compañías eléctricas españolas, y sobre todo los emitidos por su asociación empresarial, UNESA; así como los del Foro Nuclear español (con un resumen estadístico anual excelente) y las publicaciones periódicas de REE. También son destacables los informes de asociaciones e instituciones energéticas y organismos internacionales (la Agencia Internacional de la Energía, el Consejo Mundial de la Energía, la ONU, la Unión Europea -especialmente la Comisión y las Direcciones de Energía y de Medio Ambiente-, la OCDE o el Consejo de Europa) y nacionales, donde destacan los informes emitidos por el IDAE, tanto en su aspecto divulgativo general como en la publicación de estadísticas y análisis sectoriales (empleo, medio ambiente, eficiencia energética...).

Dentro de las fuentes primarias especializadas se incluyen los artículos publicados en revistas científico-técnicas y divulgativas, tanto del campo de la energía como de la geografía, con especial atención a su actualidad y a su relevancia (suscripción a sistemas de alerta de revistas técnicas para controlar las últimas publicaciones sobre el tema y consulta de revistas incluidas en el *índice de citaciones* del ISI). Entre ellas se pueden citar publicaciones como Renewable Energy, Solar Energy, Biomass and Bioenergy, Applied Solar Energy, Applied Energy, Energy Policy, International Journal of Geographic Information Science, Cybergeo, GIS Europe, Energía, Era Solar, Ingeniería Química, Política y Sociedad, Estudios Geográficos, Estudios Territoriales y Mapping, entre otras.

Así mismo son de gran relevancia, por su carácter de fuente primaria especializada, las Actas de Reuniones Científicas y Congresos relacionados con la materia. En este apartado se incluyen referencias tanto de congresos como de reuniones internacionales (muchas de ellas reuniones de trabajo de la UE), en el campo de las renovables y en el de la información geográfica.

Otra fuente especializada utilizada han sido los Informes técnico-científicos e institucionales. Entre ellos tiene un especial interés la serie editada por el CIEMAT, tanto por su relación directa con los contenidos de esta investigación como por ser reflejo de los trabajos científico-técnicos elaborados en España. Igualmente, tienen gran interés los relacionados con la política energética europea y nacional y los preceptivos para su desarrollo (CNSE, IDAE, COM...).

De gran importancia para conocer el *estado del conocimiento* de la materia ha sido la revisión de Tesis Doctorales.

Otro recurso significativo ha sido la consulta de la documentación de cursos relacionados con la problemática energética en general y con las renovables en particular, la mayoría de ellos organizados por el CIEMAT.

Por último, la información procedente de los documentos legislativos (directivas, decretos, leyes...) que definen la política energética en tres niveles: europeo, nacional y autonómico; extraída de la consulta de los boletines oficiales respectivos (DOCE, BOE, BOJA...).

El uso de estas fuentes documentales se justifica, en primer lugar, por la necesidad de dotar a la investigación de un marco de referencia teórico y conceptual sólido que permitiese desarrollar los temas necesarios para alcanzar los objetivos propuestos. En segundo lugar, a fin de dotar a la misma de las necesarias características de originalidad e innovación, se hacía necesario conocer el estado del conocimiento en la materia con la mayor actualidad posible, estudiando las últimas innovaciones publicadas en revistas y congresos científicos. Además, se hacía necesario estudiar en profundidad los documentos políticos, institucionales y legislativos que marcan las pautas de la integración de las energías renovables. Finalmente, para perfilar el estado actual y las previsiones de desarrollo, era necesario recurrir a las fuentes estadísticas y documentales que habitualmente publican datos numéricos sobre las energías renovables y temas afines (anuarios, informes, etc.).

Para el análisis de estas fuentes documentales se ha recurrido a diferentes Centros de Información y Documentación. Entre ellos el del propio CIEMAT, el CINDOC del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, la BUC de la Universidad Complutense de Madrid, el CEYDE de la Universidad Politécnica de Madrid, el del DOE del gobierno de EEUU, EDTE, ISBN, etc., así como los ya citados sistemas de alerta de revistas y *news*, consultas *online*, información institucional en Internet, consultas a bases de datos especializadas realizadas desde el centro de documentación del CIEMAT, etc. Es de destacar aquí, las enormes posibilidades de documentación con las que ha contado el autor,

facilitadas tanto por el acceso a Internet como por las numerosas suscripciones a revistas y bases documentales con las que cuenta el CIEMAT y que permiten accesos *online* con un enorme ahorro de tiempo a la hora de realizar búsquedas temáticas especializadas.

Respecto al uso de las **fuentes cartográficas** su objetivo ha sido doble: de un lado proveer la base cartográfica para la elaboración de mapas temáticos que reforzasen el desarrollo teórico explicativo del estado de la integración de las renovables y del punto de partida y de los objetivos de la misma; de otro la utilización de variables geográficas para el desarrollo de los estudios específicos de localización de emplazamientos y competitividad territorial en los análisis de producción descentralizada para electrificación rural.

En el primer tipo de análisis, realizado a pequeña escala (a partir de 1/1.000.000), se ha recurrido a bases cartográficas de límites administrativos y funcionales (estado, comunidad autónoma, provincias y zonas de gestión eléctrica) extraídas de datos procedentes del Instituto Geográfico Nacional, ESRI y UNESA.

En el caso de los estudios de evaluación, localización e integración de renovables para electrificación rural abordados en el último capítulo de esta tesis, las fuentes cartográficas utilizadas han tenido tres niveles o escalas. Los estudios de evaluación general, definición de grandes áreas y evaluación de recursos y restricciones se han realizado a pequeña escala a partir de datos procedentes de Red Eléctrica Española (mapa de

la red de transporte de energía eléctrica, alta tensión y subestaciones, en España a escala 1/1.000.000), Instituto Geográfico Nacional (Base Cartográfica Nacional a escala 1/1.000.000 con información de carreteras, hidrografía y Modelo Digital del Terreno con una resolución de 1 km²) e imágenes de satélite METEOSAT de la Península Ibérica con una resolución de 5 y 7 km².

Los estudios de evaluación del potencial regional de biomasa se han realizado sobre la base cartográfica municipal facilitada por la Junta de Andalucía y con los datos del Censo Agrario desagregados a escala municipal y facilitados por el Instituto de Estadística de Andalucía.

Por último, en el análisis a escala local realizado en el municipio de Lorca se han utilizado los datos de la red de distribución de electricidad de media tensión facilitados por IBERDROLA a escala 1/25.000, los datos de distribución de viviendas facilitados por el Servicio Geográfico del Ejército a escala 1/25.000 y los mapas de radiación solar y de recursos eólicos elaborados para la provincia de Murcia por el CIEMAT y el Gobierno Regional.

Como ya se ha apuntado, los principales organismos de los que se han obtenido las **fuentes numéricas y estadísticas** han sido los siguientes. Para el análisis global de la situación energética y en la definición de escenarios, la Agencia Internacional de la Energía, el Consejo Mundial de la Energía, Naciones Unidas y la Unión Europea (Eurostat y las Direcciones Generales de la Energía y el Medio Ambiente).

Para el análisis específico de la situación nacional y de su posición respecto de la Unión Europea: UNESA, IDAE, Ministerio de Medio Ambiente y FORO NUCLEAR. Por último, en la evaluación específica de los proyectos estudiados: el INE, el Instituto de Estadística de Andalucía, el Gobierno de la Región de Murcia, el CIEMAT, Red Eléctrica Española e Iberdrola.

Además del análisis documental otra de las características de las técnicas empleadas ha sido la aplicación de métodos de análisis SIG a la integración de energías renovables.

1.3.2. Proyectos de referencia y base documental del análisis de casos

El marco de referencia del primero de los proyectos presentados (“Central termoeléctrica mixta solar-biomasa”) se remonta al año 1997, cuando el Instituto de Energías Renovables del CIEMAT, desarrolla para INABENSA³, en el ámbito del proyecto APAS-RENA de la Unión Europea y dirigido por Manuel Romero, el proyecto “Mercado de producción de Electricidad Solar Térmica con Tecnología de Torre. Aplicación a España (MERSOTERM)”⁴. Posteriormente, en 1999 se realizó el proyecto SOLBIO⁵ el cual, con la financiación de la iniciativa ATYCA, realizó un

³ *Instalaciones Abengoa S.A.*

⁴ *CIEMAT (1997): “Mercado de producción de electricidad...”.*

⁵ *Desarrollado en colaboración entre el CIEMAT, INABENSA, SERLED e IBERESE.*

estudio de viabilidad de una central termoeléctrica mixta solar-biomasa. Una amplia descripción de todo el proyecto puede ser consultada en ROMERO, M. et al. (2002)⁶.

El segundo de los proyectos, *“Análisis de las posibilidades de integración de las energías renovables en el municipio de Lorca”*, se desarrolló a partir de los resultados del proyecto SOLARGIS⁷; el cual, financiado por la Dirección General XII de la Unión Europea para la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo en el marco del programa JOULE II, fue realizado por diversos centros de investigación de la Comunidad Europea entre los que estaba incluido el CIEMAT. Posteriormente, se desarrolló, mediante un acuerdo de colaboración entre el CIEMAT y el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la U.P.M. (DIE-EUITI), el proyecto de investigación: *“Los Sistemas de Información Geográfica en la integración regional de las Energías Renovables para la producción descentralizada de electricidad. Análisis de parámetros técnicos”*, con el fin de mejorar tanto el ajuste de los parámetros técnico-económicos de la aplicación, como el propio control sobre el sistema.

⁶ ROMERO, M. et al. (2002): *“Central Eléctrica Mixta Solar-Biomasa”*.

⁷ *“Integration of renewable energies for decentralised electricity production in regions of European Union and developing countries”*.

Respecto de SOLARGIS, se pueden consultar, en primer lugar, los documentos relacionados con el primer diseño de la aplicación: Domínguez (1996)⁸, Neirac, F. et al. (1997)⁹ y Solargis Team (1996)¹⁰.

Los resultados de la revisión de los parámetros técnicos y económicos y del análisis de sensibilidad de SOLARGIS, fruto del acuerdo de colaboración entre la UPM y el CIEMAT, se recogen ampliamente en: Amador (2000)¹¹, Amador y Domínguez (2000b)¹² y Domínguez y Amador (2000)¹³.

1.4. Estructura y contenido de la investigación

La presente tesis doctoral se articula en torno a tres grandes temas cuya vinculación se pretende plantear. Estos son las relaciones entre la política energética, como manifestación de política sectorial, y la

⁸ DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier (1996): "Evaluación de emplazamientos potenciales para sistemas de producción descentralizada de electricidad con energías renovables" en Modelos y Sistemas de Información en Geografía".

⁹ NEIRAC, F. et al. (1997): "SOLARGIS project: Integration of renewable energies for decentralised electricity production in regions of EU and developing countries".

¹⁰ SOLARGIS TEAM (1996): "Solargis handbook".

¹¹ AMADOR, Julio (2000): "Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la integración regional de las energías renovables en la producción descentralizada de electricidad".

¹² AMADOR, Julio y Javier DOMÍNGUEZ, (2000b): "Los Sistemas de Información Geográfica en la Integración Regional de Energías Renovables".

¹³ DOMÍNGUEZ, Javier y Julio AMADOR (2000): "Integrating Renewable Energies into Local Level. Influence of the Socio-Economical and Technical Parameters in the Spatial Distribution of Decentralised Electricity Production".

ordenación del territorio; la integración de las energías renovables en el sistema energético y territorial y la aplicación de los sistemas de información geográfica tanto a la planificación como a la integración.

En la primera parte de la tesis se abordan los aspectos vinculados con la planificación energética y la ordenación del territorio. Este apartado comienza estudiando la planificación de la demanda energética a través de la definición de escenarios a escala supranacional. Posteriormente, se analiza la relación entre la planificación sectorial y la ordenación territorial desde una perspectiva europea. Para finalizar, se tratan las relaciones entre la planificación energética y la legislación, tomando como ejemplo la ley del sector eléctrico, y abordando temas como la desregulación, el mercado y la planificación.

El eje teórico fundamental de la investigación se basa en el estudio de la integración de las energías renovables. Para ello, se aborda en primer lugar un breve análisis de las principales fuentes, tanto desde el punto de vista físico como del de las tecnologías de aprovechamiento, incidiendo especialmente en los aspectos relacionados con la distribución del recurso. Una vez puestas de manifiesto las principales características de estas fuentes, se definen cuales son las principales barreras que tienen para su integración en el sistema energético; que papel juegan en la misma los aspectos sociales y ambientales (poniendo especial énfasis en las ventajas de la producción descentralizada de electricidad con renovables para el desarrollo sostenible así como en los aspectos relacionados con la generación de empleo); cual es el papel de las

instituciones europeas y nacionales en la integración (analizando el papel del *Libro Blanco de las Energías Renovables* de la Unión Europea y del *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*) y, por último, cual es la situación actual y las perspectivas de desarrollo a corto y medio plazo en España.

El último de los temas abordados es la aplicación de los sistemas de información geográfica tanto a la planificación como a la integración de las energías renovables. Su carácter es fundamentalmente práctico y metodológico y se aborda desde una doble perspectiva: estudio del *estado del conocimiento* en la aplicación de SIG como herramienta de evaluación, análisis, planificación e integración de energías renovables y análisis de estudios específicos desarrollados por el autor.

El estudio del *estado del conocimiento*, de la aplicación de los SIG en el campo de las renovables, se estructura entorno a tres grandes grupos de aplicaciones: los sistemas de soporte de decisiones, la generación dispersa o sistemas conectados a la red eléctrica y la producción descentralizada. En el primer caso se analizan varias aplicaciones, la mayoría desarrolladas bajo el auspicio de la Unión Europea, centradas fundamentalmente en el desarrollo de herramientas de ayuda para la planificación regional de las renovables. El segundo caso se estructura en torno a tres fuentes: eólica, biomasa y fotovoltaica, estudiando la optimización de emplazamientos para sistemas renovables de generación de electricidad conectados a la red eléctrica. En último lugar, se estudia la aplicación de los SIG a la producción descentralizada

de electricidad. Se trata de sistemas que utilizan esta herramienta para evaluar la mejor opción, en cada punto del área de estudio, para una serie de tecnologías de generación eléctrica, renovables y convencionales, evaluando la distribución espacial del LEC (o coste por unidad de energía producida) en sistemas de electrificación rural.

El análisis de proyectos desarrollados por el autor se realiza destacando dos ideas: en primer lugar, la facilidad tanto de la aplicación de los SIG, sobre todo de los análisis ráster, como de la elaboración de cartografía temática en la realización de estudios generales que sirvan para enmarcar las energías renovables desde una perspectiva territorial, y con una doble vertiente, la localización de emplazamientos óptimos y la integración, aplicada en instalaciones híbridas o sistemas mixtos, en los que se combine más de una fuente con características espaciales distintas, para la producción distribuida de electricidad. En segundo lugar, la aplicación de análisis más complejos, a una escala local o regional, para evaluar la competitividad territorial de diferentes sistemas renovables aislados frente a opciones convencionales de electrificación rural, con especial hincapié en el análisis de sensibilidad espacial de las diferentes variables propuestas.

CAPÍTULO 2. Planificación energética

El objetivo básico de la planificación energética es la satisfacción de la demanda prevista del modo más económico y seguro posible. A raíz de la crisis energética de principios de los 70, a este objetivo básico se le sumaron los de eficiencia, ahorro e independencia energética; y, más recientemente, el de compatibilidad medioambiental, expresado, a partir de la Cumbre de Río de 1992, en el concepto de *desarrollo sostenible*.

Dentro de la planificación energética general, la expresión de los objetivos a escala regional¹⁴, así como el análisis de las características y necesidades de los sistemas energéticos regionales, contribuye a alcanzar los objetivos de la planificación energética nacional (Saiz, 1988, p.8)¹⁵. Sea cual sea su escala, la planificación energética debe de incluir aspectos tales como el análisis del estado inicial (tanto respecto a los datos con los que se cuenta como al balance energético del área objeto de planificación), la especificación cuantitativa de los fines que se persiguen y las estrategias y acciones para conseguir dichos objetivos

¹⁴ *En esta obra se debe de entender por "planificación energética regional" la que afecta a un área funcionalmente integrada desde la perspectiva de su gestión energética, por lo tanto, en adelante el concepto de región utilizado no será el de un área geográfica o administrativa, si no el de una zona funcional homogénea desde el punto de vista de la planificación energética.*

¹⁵ SAIZ, A. (1988): "Operation research and energy planning".

En el *análisis del estado inicial* se trata de plasmar y estructurar los conocimientos de la realidad de la que se parte. Incluye una descripción general de la zona considerada y de su entorno, incluyendo también los aspectos socioeconómicos, ambientales y energéticos. En concreto, debe incluir información sobre: el medio inerte, el medio biológico, los recursos energéticos, población y hábitat, infraestructuras, marco legal, organismos relacionados y planes o programas en los que quede englobada la región. Estos datos deben estar suficientemente detallados para que se pueda derivar información de ellos, por ejemplo, no bastará conocer los recursos energéticos de la región sino que se deberá poder calcular su coste de explotación¹⁶.

La necesidad de un conocimiento tan exhaustivo del área de estudio se debe a las grandes interrelaciones que el sistema energético presenta con los sistemas social, ambiental y económico. Siendo la estructura económica fundamental para entenderlo.

Por otro lado, en esta descripción del estado inicial, los *balances energéticos* son necesarios para caracterizar el sistema energético regional. El balance energético indica la participación de cada una de las diferentes materias primas energéticas disponibles en la cobertura de la

¹⁶ Esto responde a la idea de recurso-reserva, en cuanto a relación económica.

demanda total de energía primaria¹⁷ durante un período determinado, que habitualmente es de un año. Además se añaden las producciones regionales con el fin de poder calcular el grado de autoabastecimiento (García e Iranzo, 1989, p.6)¹⁸.

Dicho balance incluye un análisis de la participación de cada una de las energías finales¹⁹ en la satisfacción de la demanda de energía. La producción y el consumo deben estructurarse por sectores productivos y por sectores económicos, e incluso por subsectores. Esta clasificación es imprescindible para la planificación, ya que permite considerar la relación entre los distintos sectores (Cortiñas, 1988, pág. 6 y 7)²⁰, dada la influencia que tienen en la evolución del sistema energético dichas relaciones. Toda esta información se representa a través de un diagrama de flujo energético.

Debido a que el consumo de energía puede aumentar por el sólo hecho de disponer de ella y por el desarrollo que conlleva, será necesario

¹⁷ La energía primaria es la que procede del medio natural, exigiendo un proceso de transformación para poder ser utilizada (p.ej. hidráulica, petróleo, carbón...) (MOLINA, M. y E. CHICHARRO, 1990, "Fuentes de energía y materias primas", p. 13)

¹⁸ GARCÍA, J.M. y J. IRANZO, (1989): "La energía en la economía mundial y en España".

¹⁹ La energías finales o secundarias son la formas de energía útil (p. ej. trabajo mecánico, luz, calor...). La conversión de energía primaria en energía final implica unas "pérdidas energéticas" (MOLINA y CHICHARRO, 1990, p.13). Lo cual se traduce en términos de "eficiencia energética". En ocasiones los sistemas de aprovechamiento de energías renovables tienen un carácter poco eficiente, si bien, la energía primaria utilizada tiene las ventajas de ser gratuita (a excepción de algunas formas de biomasa) y de tener un carácter renovable lo cual compensa, en términos ambientales, la menor eficiencia.

²⁰ CORTIÑAS, G. (1988): "Tools for energy planning".

conocer también la eficiencia energética de los equipos utilizados o demandados. A partir del balance energético regional se deben analizar que segmentos de la demanda actual y futura pueden ser cubiertos con la utilización de energías renovables.

Los *finés y objetivos* de la planificación se van a plasmar básicamente en la definición de escenarios. En esta etapa de la planificación se trata de describir el futuro que se busca. Los objetivos concretos que se pretenden conseguir con la planificación energética regional están, actualmente, condicionados por una serie de fines generales que afectan a toda planificación energética (García e Irazo, 1989, pág. 11 y 12): garantizar el suministro, minimizar costes, evitar al máximo la dependencia externa, diversificar la participación de las distintas energías primarias en el balance energético, reducir los impactos sobre el medio ambiente, especialmente sobre el calentamiento global, cumplimiento progresivo de los principios de desarrollo sostenible y coherencia con los objetivos de la planificación nacional y comunitaria. Además, los escenarios deben contemplar la dimensión territorial e incluir tanto las previsiones de conflictos de uso como una perspectiva interregional que permita superar las desigualdades territoriales existentes.

Para prever el estado del sistema energético en un futuro determinado se establecen varios modelos hipotéticos de desarrollo futuro

de la sociedad denominados *escenarios*²¹. La consideración de un escenario concreto permitirá determinar, dentro de un marco de coherencia, cuestiones fundamentales para el sistema energético como las tecnologías disponibles, el crecimiento económico, los precios de combustibles y los cambios en los modelos de consumo (Boyle, 1996, p.415)²².

Los escenarios son las principales herramientas que se utilizan para obtener descripciones cuantitativas del futuro, ya que no sólo evalúan las posibilidades técnicas y económicas de una tecnología sino que tratan de calcular los efectos y costes de esas posibilidades. Son producidos por gobiernos, empresas multinacionales, industrias, instituciones internacionales, grupos medioambientales, asociaciones independientes, etc. Tienden a ser documentos muy extensos, llenos de tablas numéricas y gráficas dando datos del uso actual de la energía y proyecciones de ese uso en el futuro. Las suposiciones sociales que sustentan estos escenarios no están normalmente explicitadas en estos documentos, aunque son las que determinan la naturaleza de las proyecciones y los resultados obtenidos.

Los escenarios energéticos que actualmente se utilizan buscan resolver los principales problemas del sector anteriormente enumerados:

²¹ Más adelante se describen algunos de los escenarios más representativos a escala mundial y europea

²² BOYLE (1996): "Renewable Energy".

dependencia energética, efecto invernadero y sostenibilidad, junto con la garantía de abastecimiento energético suficiente para el desarrollo. Para ello dan prioridad a opciones de suministros convencionales, energías renovables, ahorro energético, eficiencia energética, etc.; según los intereses de los organismos o instituciones que diseñan un escenario determinado.

En función de los objetivos buscados, es decir, del escenario al que se quiere llegar, se establecen una serie de *estrategias y de acciones* a realizar. Para evaluar las consecuencias de las acciones sobre el sistema a planificar es habitual construir un modelo del sistema energético o de alguna de sus partes (Saiz, 1988, p. 8), que permita conocer como influyen en el sistema las variables de las que depende. Esta influencia se determina a través del *análisis de la sensibilidad* del sistema a la evolución de estas variables (Gil, 1988, p. 2)²³.

Debido a que cualquier sistema energético tiene como características principales una oferta y una demanda energética determinada, la aplicación del modelo deberá cuantificarlas en el escenario considerado. Como resultado de la evaluación de las consecuencias de las acciones planificadas puede ser necesario reconsiderar las hipótesis que llevaron a establecer esas acciones y, por tanto, modificar el escenario de referencia. Esto pone de manifiesto el

²³ GIL, V. (1988): "Mathematical models".

carácter iterativo de la planificación energética (Saiz, 88, p. 12) y la necesidad de que el modelo permita manejar escenarios alternativos. De hecho, una de las prácticas habituales consistirá en realizar análisis de sensibilidad de una o varias variables considerando distintos escenarios²⁴.

Por otro lado, en el *planeamiento* deben participar todos los agentes de decisión implicados: autoridades administrativas, compañías eléctricas, inversores y promotores, etc.²⁵ Del mismo modo, y debido a las implicaciones territoriales, sociales, técnicas, económicas, ambientales y naturales que se manejan en la planificación energética, el equipo de planeamiento debe tener un carácter multidisciplinar, bien en su constitución, o en su funcionamiento (Voivontas et al. 98, p. 334)²⁶. El diseño de este grupo y su modo de trabajo es importante para la planificación energética regional, ya que en la medida de que los distintos agentes de decisión participen en la elaboración del escenario finalmente buscado y en la formulación de las distintas acciones a seguir, estarán motivados para llevarlas finalmente a cabo y que la planificación realmente se aplique. La mayor parte de las acciones a implementar no podrán establecerse de forma obligatoria y gran parte de los involucrados

²⁴ En este sentido, al final de la obra se incluye una amplia descripción del análisis de sensibilidad espacial desarrollado en un proyecto de integración de energías renovables en Lorca (Murcia).

²⁵ Estos agentes de decisión resultan similares en las regiones de la Unión Europea, aunque la importancia relativa de cada grupo de decisión varía de una región a otra (ANDERSON y HOLLAND, 96, "Accelerated regional integration of energy systems". p. 94).

²⁶ VOIVONTAS et al. (1998): "Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system".

serán de tipo privado. Estas razones hacen depender de los distintos agentes sociales la consecución de los objetivos diseñados.

Como se puede apreciar, una buena práctica planificadora tendrá evidentes connotaciones territoriales. En esta línea, se analizan más adelante las principales relaciones entre la política energética y la ordenación del territorio, haciendo especial mención a las relaciones entre la política energética de la Unión Europea y su territorio. Por otro lado, esta buena práctica planificadora se beneficiará de la utilización de herramientas de análisis geográfico como los SIG, en la medida que la integración resulta mucho más sencilla y versátil, permitiendo con facilidad la simulación de distintos escenarios y la visualización del impacto sobre el territorio de las diferentes actuaciones diseñadas en el plan. Esto es particularmente cierto cuando el objeto a planificar son las energías renovables y su integración se centra en regiones periféricas o desfavorecidas, donde los factores territoriales actúan de una forma más decidida.

2.1. Escenarios energéticos

2.1.1. Escenarios del Consejo Mundial de la Energía, WEC (World Energy Council)²⁷

El Consejo Mundial de la Energía (WEC) publicó en 1993 el Informe *“Energy for Tomorrow’s World”* donde se consideraban tres escenarios de demanda energética para el 2020. Posteriormente, el WEC establece variantes de estos escenarios básicos, en colaboración con el IIASA (International Institute of Applied Systems Analysis), y prolonga el estudio hasta el 2050 y 2100 en el informe *“Global Energy Scenarios to 2050 and Beyond”*.

A continuación se analizan las proyecciones manejadas por el WEC para el año 2020, y posteriormente, las del 2050 para así poder comprobar las desviaciones producidas entre ambas.

La población mundial considerada para el año 2020 es de 8.100 millones, según estimaciones de Naciones Unidas. Incrementándose en 2000 millones en el año 2050.

El WEC divide las Energías renovables en “tradicionales” (en las que incluye el aprovechamiento “tradicional” de la biomasa) con una aportación estimada en el 10% de las necesidades mundiales de energía

²⁷ <http://www.worldenergy.org/wec-geis/>

primaria en 1990; “hidráulica de gran tamaño”, que contribuye con el 6%; y las renovables “nuevas” (eólica, solar térmica y fotovoltaica) que aportaron en el citado año entorno al 2% de la demanda mundial de energía primaria, lo que supone unas 0,2 GTEP (millones de toneladas equivalentes de petróleo).

El estudio considera tres escenarios: medio, alto y ecológico. En el escenario de referencia, “Crecimiento económico medio” (B), la economía mundial crecería moderadamente a una media del 3,3% anual, resultando una demanda mundial de energía primaria en el 2020 de 13,4 GTEP, y una aportación de las renovables nuevas para ese año del 4,5% (0,6 GTEP).

En el escenario de “Alto crecimiento económico” (A), el crecimiento económico es del 3,8% y la demanda de energía primaria en el 2020 de unas 17 GTEP (el doble de la alcanzada en 1996: 8,38 GTEP) y una aportación de las renovables nuevas también del 4,5% (0,8 GTEP).

En el escenario “ecológico”²⁸ (C), prevalecería el ahorro de energía y el uso de las energías renovables, el crecimiento sería del 3,3%, pero la demanda de energía primaria crecería sólo hasta 11,3 GTEP en el 2020 y una aportación de las renovables nuevas del 11,5% (1,3 GTEP). En este escenario la contribución total de las renovables alcanzaría el 27% en dicho año.

Tabla 2-1: Evolución de las aportaciones de energía primaria por escenarios del WEC para el año 2020.

Valores en GTEP	1960	1990	En 2020		
			Medio (B)	Alto (A)	Ecológico(C)
Carbón	1,4	2,3	3	4,9	2,1
Petróleo	1,0	2,8	3,8	4,6	2,9
Gas natural	0,4	1,7	3	3,6	2,5
Nuclear	0	0,4	0,8	1,0	0,7
Hidráulica grande	0,15	0,5	0,9	1,0	0,7
Renovables tradicionales	0,5	0,9	1,3	1,3	1,1
Renovables nuevas	0	0,2	0,6	0,8	1,3
TOTAL	3,45	8,8	13,4	17,2	11,3

Fuente: WEC.

En la Tabla 2-1 se indican los datos que resumen la evolución de las distintas fuentes de energía primaria con la proyección realizada por el WEC para el 2020.

En el estudio publicado en 1995²⁹ se obtienen las siguientes conclusiones para todos los escenarios: a medida que se incrementen los niveles de renta en el mundo, el público demandará más energía con servicios energéticos más eficientes, limpios y cómodos; la disponibilidad de recursos fósiles no representará una restricción importante en la primera mitad del próximo siglo; y, por último, las consideraciones medioambientales probablemente influirán en un futuro con una mayor diversificación de las fuentes de energía en detrimento de los combustibles fósiles.

²⁸ "Crecimiento económico medio con orientación ecológica"

²⁹ WEC (1995): "Energy demand, life style changes & technology development".

El consejo Mundial de la Energía contempla, en sus proyecciones para 2050, la división de los Escenarios de demanda en seis categorías (WEC, 2001b)³⁰. A partir de los escenarios A, B y C descritos para el 2020, se crean unas nuevas "familias de escenarios" con seis variantes.

El escenario ("alto crecimiento") se subdivide en tres clases: A1, intensificación del uso de petróleo y gas natural; A2, intensificación del uso de carbón; y A3, mayor presencia del gas natural, nuevas renovables y nuclear.

El escenario B no se subdivide y el escenario C se divide en dos: C1, aumento de la eficiencia energética y aumento de las nuevas renovables (especialmente solar); y C2, aumento del papel de la energía nuclear.

Tabla 2-2: Proyecciones de la composición de la Demanda Global de Energía Primaria y las emisiones de carbono en 2050 para seis escenarios (datos en GTEP).

	1990	2050					
		A1	A2	A3	B	C1	C2
Carbón	2.2	3.8	7.8	2.2	4.1	1.5	1.5
Petróleo	3.1	7.9	4.8	4.3	4.0	2.7	2.6
Gas	1.7	4.7	5.5	7.9	4.5	3.9	3.3
Nuclear	0.5	2.9	1.1	2.8	2.7	0.5	1.8
Hidráulica	0.4	1.0	1.1	1.1	0.9	1.0	1.0
Nuevas Renovables	0.2	3.7	3.8	5.7	2.8	3.8	3.2
Biomasa tradicional	0.9	0.8	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
Total	9.0	24.8	24.8	24.8	19.8	14.2	14.2
Emisiones carbono (GtC)	6.0	11.7	15.1	9.2	10.0	5.4	5.0

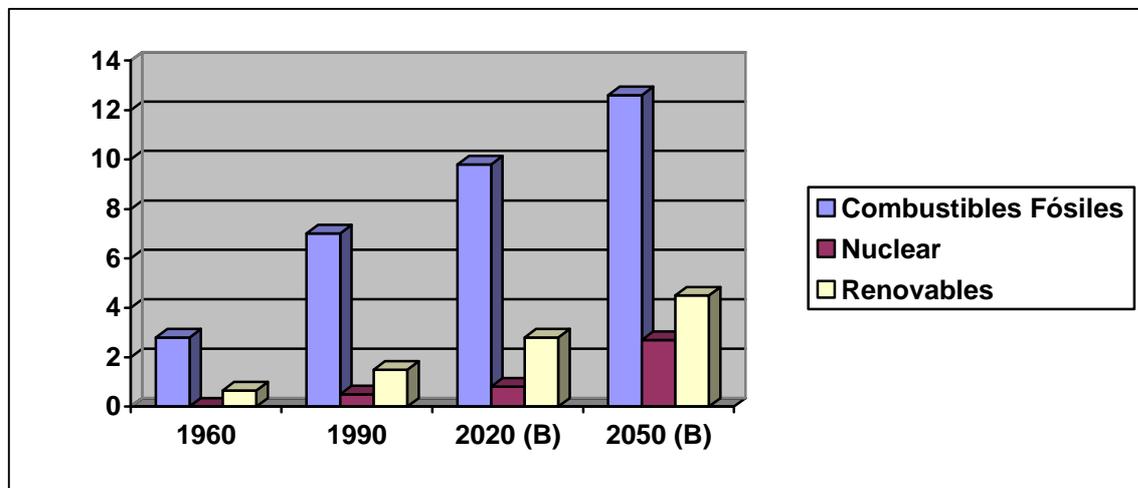
Fuente: WEC 2001b.

³⁰ WEC (2001b): "Global energy scenarios to 2050 and beyond".

En la Tabla 2-2 aparecen las previsiones para cada uno de los escenarios. En ella se aprecia como la demanda de Energía Primaria prevista para 2050 prácticamente triplica los niveles del año 90 en el escenario de rápido crecimiento económico. Este crecimiento se basaría más en un uso intensivo de la energía que en un aumento de la eficiencia energética. Escenarios más conservadores y ambientalistas, cifran este aumento en rangos que oscilan entre el 50 y el 100 % de la demanda de 1990. En ellos, junto a unas menores previsiones de crecimiento económico (no hay que olvidar que las previsiones de crecimiento de la población son iguales para todos los escenarios), hay una clara apuesta por la influencia del desarrollo tecnológico en el aumento de la eficiencia energética de los sistemas de transformación de la energía primaria.

En la Ilustración 2-1 se aprecia como la evolución de los combustibles fósiles se mantiene constante, estando equitativamente repartida entre las tres fuentes contempladas (petróleo, carbón y gas natural). Esto es así para un escenario de crecimiento medio. Si se contemplan los escenarios A o C, se puede apreciar como por un lado el crecimiento no es constante y por otro el reparto entre las tres fuentes no es proporcional. Sin embargo, el comportamiento de las renovables es mucho más homogéneo para todos los escenarios, dependiendo sus leves variaciones del incremento considerado en la demanda.

Ilustración 2-1: Evolución prevista por el WEC, por sectores, para un escenario de crecimiento medio.



Fuente: WEC.

Como conclusión se puede apuntar la coherencia existente entre los dos estudios, que se ve reflejada en la evolución prevista de la demanda. Además, señalar de nuevo, como las perspectivas de las Renovables son de crecimiento constante con cierta independencia de los niveles de crecimiento y una menor influencia de los escenarios.

2.1.2. Escenarios de la Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA)³¹

La Agencia Internacional de la Energía (International Energy Agency, IEA) publica anualmente las *Perspectivas energéticas mundiales* (World Energy Outlook. WEO).

³¹ <http://www.iea.org>

Las anteriores ediciones del WEO han partido de la base de un escenario llamado "*Business-as-Usual*" (BAU), es decir, en el que la evolución viene marcada únicamente por las tensiones de un mercado "teóricamente" puro. El objetivo de la IEA era dotar de un marco de trabajo en el que se pudiera ver cual sería el escenario energético mundial a medio plazo en el caso de que no hubiese ningún tipo de política energética. Se basaría por tanto en las previsiones de crecimiento económico y poblacional y en el análisis de la evolución del sector.

En la edición 2000 del WEO se cambia el BAU por un *Escenario de Referencia* en el que se van a tener en cuenta las medidas puestas en marcha por los países de la OCDE para contrarrestar los efectos del Cambio Climático. Este dato no podía ser considerado anteriormente ya que estas medidas arrancan a finales de los 90 y por lo tanto no se contaba con datos históricos para el análisis de su impacto en la oferta y la demanda energética. No incluye, sin embargo, iniciativas que aun no están en marcha, aunque previsiblemente se implanten en el periodo proyectado.

El *escenario de referencia* asume los siguientes aspectos: la reforma del mercado de la Energía, con ritmos diferentes para la OCDE y el resto de los países; la parte del precio final de la energía correspondiente a impuestos permanecerá constante para los países de la OCDE; la subsidiación de los precios energéticos tenderá a reducirse en los países externos a la OCDE; la importancia de los aspectos tecnológicos en las tendencias del mercado y, especialmente, en los

aspectos relacionados con las inversiones o detrimentos de stock de capital para la mejora de la eficiencia energética y el tiempo de vida de las instalaciones; y, finalmente, el impacto de las nuevas tecnologías en la generación de energía.

Las principales incertidumbres con las que se cuenta al realizar las proyecciones son: el marco macroeconómico y las dificultades para determinar la demanda energética; las fuentes de combustibles fósiles y su costo³²; las políticas energéticas; la energía nuclear; el papel de las tecnologías energéticas; y las políticas medioambientales.

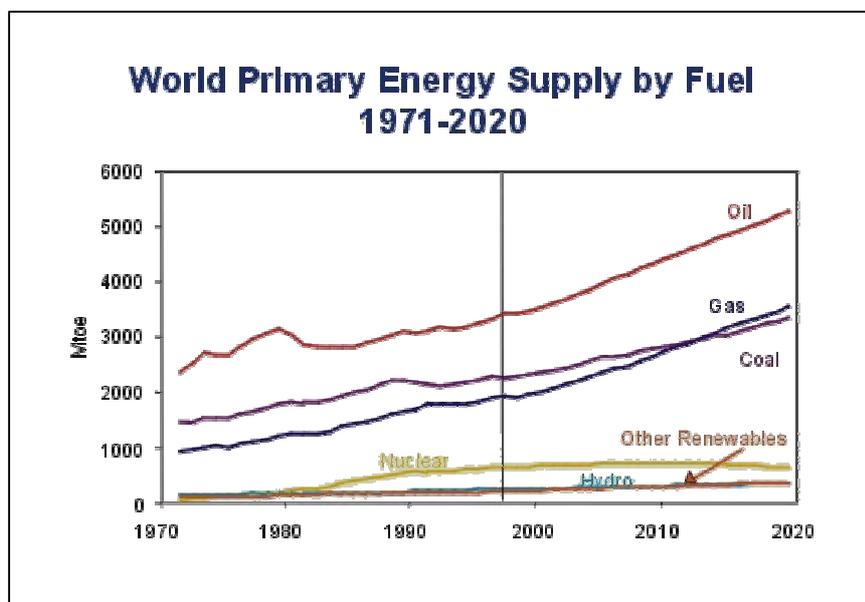
Los principales aspectos que la Agencia Internacional de la Energía extrae de sus proyecciones (WEO, 2000, p. 21 y ss)³³ son que el uso de la energía en el mundo, y las consiguientes emisiones de CO₂, continuarán con un crecimiento estable; los combustibles fósiles supondrán en 2020 el 90 % de la energía primaria mundial, porcentaje similar al del año 97; las diferencias regionales en la demanda energética mundial seguirán siendo muy importantes, decreciendo la parte de los países de la OCDE a favor de los países en desarrollo; se producirá un importante incremento en el mercado internacional de la energía, y especialmente en el del gas y el petróleo; aumentará notablemente la dependencia en las principales regiones consumidoras, especialmente en

³² Véase al respecto las enormes fluctuaciones del precio del petróleo y su influencia en factores económicos como la inflación.

³³ Periodo proyectado 2000-2020.

la segunda mitad del periodo proyectado³⁴; las emisiones de CO₂ no se ajustarán al Protocolo de Kioto; la generación de energía en los países en desarrollo se acercará a un tercio del incremento global de emisiones para el 2020; y, finalmente, la demanda mundial de energía primaria en el periodo 1997-2020 crecerá del orden de un 2% anual, un 0,2% menos que en el periodo 1971-97.

Ilustración 2-2: "Participación de la oferta mundial de energía primaria en el PIB 1971-2020".



Fuente: IEA (2000): "WORLD ENERGY OUTLOOK".

En la Ilustración 2-2 se pueden apreciar los resultados de la proyección, por fuente de energía primaria, para el periodo estudiado. La evolución de la demanda de energía primaria es creciente para todas las fuentes a excepción hecha de la energía nuclear, en la que a partir de

³⁴ 2010 a 2020.

2015 esta se invierte. El carbón también ralentizará su crecimiento (sin que este llegue a ser negativo) a partir del 2010. Las renovables (con o sin la Hidráulica) tienen una participación escasa con una ligera progresión a lo largo del periodo.

En la Tabla 2-3 se ven los resultados desglosados por cantidad demandada (en GTEP), por porcentaje y por crecimiento anual. En esta tabla se puede apreciar como, aunque el crecimiento de la demanda se mantiene a lo largo del periodo proyectado, su ritmo es ligeramente decreciente, pasando de un 2,2 % en el punto de salida (periodo 1971-97) a un 2,0 % en el total del periodo (1997-2020). Otro aspecto a destacar, en la perspectiva de este estudio, es que la participación del conjunto de las renovables se duplica en el periodo, aunque no llega a unas cifras de participación excesivamente significativas (prácticamente la mitad de las previsiones realizadas en el Plan de Fomento de las Energías Renovables para España en el año 2010).

El crecimiento de la demanda de energía primaria previsto en el WEO para el periodo 1997 - 2020, tiene un reparto regional desigual. Así, mientras el porcentaje de incremento a nivel mundial se sitúa en el 2 %, este baja al 0,9 % en el escenario de la OCDE. Sin embargo, el crecimiento previsto para las renovables (excluida la hidráulica) es similar: el 2,8 a nivel mundial y el 2,5 a nivel de la OCDE. Las causas de la desigual demanda son obvias y están directamente relacionadas con el nivel económico y social. Sin embargo, es interesante como el incremento

asignado a las Renovables se mantiene por encima del incremento medio previsto.

Tabla 2-3: Escenario de Referencia. Mundo.

	Demanda de Energía (GTEP)				Porcentajes				Crecimiento anual (%)		
									1971	1997	1997
	1971	1997	2010	2020	1971	1997	2010	2020	-	-	-
Total Energía	5012	8743	11390	13710	100	100	100	100	2.2	2.1	2.0
primaria	5012	8743	11390	13710	100	100	100	100	2.2	2.1	2.0
Carbón	1446	2255	2820	3350	29	26	25	24	1.7	1.7	1.7
Petróleo	2461	3541	4589	5494	49	41	40	40	1.4	2.0	1.9
Gas	900	1911	2724	3551	18	22	24	26	2.9	2.8	2.7
Nuclear	29	624	690	617	1	7	6	5	12.5	0.8	0.0
Hidráulica	104	221	287	336	2	3	3	2	2.9	2.1	1.8
Otras renovables	72	189	279	361	1	2	2	3	3.8	3.0	2.8

Fuente: WEO, 2000, p. 354.

2.1.3. Escenarios de la Shell

La multinacional petrolera Shell utiliza frecuentemente en sus estudios la metodología de los escenarios. En el estudio publicado en 1995 (Global Scenarios 1995 - 2020), maneja dos escenarios a largo plazo que estiman una aportación de las energías renovables de aproximadamente la mitad de la demanda de energía comercial total para el 2050.

El primer escenario *Da Wo* presupone una continuidad en el desarrollo económico, incremento de población y rendimiento energético,

que conduce a un mercado que suministrará abundante energía a precios competitivos. Los combustibles fósiles satisfacen este crecimiento hasta el 2025. Pero para el 2050 aportarán sólo un tercio de las necesidades de energía en lugar de los cuatro quintos de la actualidad. Su lugar lo ocupan las energías renovables (eólica, solar y biomasa, principalmente) y quizás otras tecnologías energéticas hoy desconocidas.

El escenario *Just Do It!* considera que las nuevas tecnologías, nuevos sistemas y formas de vida nos permitirán utilizar energía de forma mucho más eficaz. El consumo medio de energía per cápita, que casi se duplica en el escenario anterior, aumenta sólo en aproximadamente un 15% para el 2050. Los combustibles fósiles seguirían suministrando la mitad de la energía mundial en el 2050 y las energías renovables crecerían más lentamente.

Los planificadores que han realizado estos estudios suponen que los costes de la energía eólica, biomasa y fotovoltaica, seguirán un camino similar al del petróleo, gas y energía nuclear, que inicialmente fueron considerablemente mayores que los costes del carbón, pero que debido a los avances tecnológicos y a un uso extensivo han alcanzado grandes porcentajes del mercado. De hecho, el incremento de las energías renovables en el escenario *Da Wo* no es mucho más rápido que el que consiguió el petróleo en la primera parte de este siglo, en circunstancias económicas difíciles.

Tres años después la Shell publica un nuevo estudio: *Global Scenarios 1998 - 2020*, en el que se barajan dos nuevos escenarios: *The New Game* y *People Power*. El primero parte de la existencia de instituciones y organizaciones bien adaptadas a las nuevas necesidades de globalización y liberación. En todos los niveles (desde local a global) las sociedades resuelven conjuntamente sus problemas, se reconstruyen antiguas instituciones y surgen otras nuevas más eficientes. El segundo de los escenarios contempla un panorama mucho más individualista y diverso. Es un mundo más volátil con unas instituciones obsoletas e ineficaces (The Shell Report 2000, p. 34 y 35).

En el escenario *The New Game* la generación de energía en los países de la OCDE se correspondería con el siguiente reparto: un 50 % correspondería al gas y a las renovables, el 40 % correspondería a nuclear e hidroeléctrica y el resto correspondería a carbón y petróleo.

Tabla 2-4: Características de los escenarios de la Shell.

The New Game	People Power
Nuevas Instituciones Globales	Florecimiento de la diversidad
Mercado fluido y transparente	Obsolescencia institucional
Trabajos de Kioto	Crecimiento energético y saturación
Bajada de precios petrolíferos	Volatilidad

Fuente: *Global Scenarios 1998-2020*, p. 26-27.

La Shell contempla básicamente dos modelos sociales diferenciados con un distinto comportamiento energético. No obstante, esta diferencia no afecta demasiado a la generación de energía con renovables.

2.1.4. Escenarios de la Unión Europea

La Comisión europea ha realizado un amplio estudio sobre las perspectivas del sector energético europeo hasta el año 2020 ("European Energy to 2020"). El estudio describe cuatro escenarios: Conventional Wisdom (CW), Battlefield (BF), Hypermarket (MK) y Forum (FO).

El escenario *Conventional Wisdom* es del estilo BAU³⁵. Se caracteriza por ser un escenario conservador, con unas previsiones de crecimiento económico a largo plazo no muy elevadas³⁶, unidas a un descenso del desempleo y a una baja inflación. Se conseguiría la unión monetaria y se mantendría controlado el déficit público. La población tendría un pequeño incremento³⁷. Las políticas energéticas serían fragmentarias y dispersas. Los avances tecnológicos aumentarían la eficiencia energética y la competitividad de las empresas. Aumentaría el consumo de gas gracias a la desregulación y a la extensión de la red, lo que además repercutiría en la bajada de precios.

El escenario *Battlefield* se caracterizaría por el aumento de las contradicciones y de la inestabilidad en el sistema. La "globalización" aparece como excesivamente ambiciosa. Se produce una fragmentación en bloques geopolíticos con tensiones mutuas. Aumenta el

³⁵ Ver Escenarios de la IEA.

³⁶ Crecimiento medio del PIB en torno al 2%.

³⁷ Este crecimiento es igual para todos los escenarios.

proteccionismo y se reduce la eficiencia y la competitividad. Este proteccionismo hace crecer el precio del petróleo lo que lleva a una nueva recesión. El PIB se sitúa en torno al 1,6 %. Aumenta la inflación y el desempleo. Aumenta el uso del carbón. Las políticas energéticas están en función de las estrategias geopolíticas.

El escenario denominado *Forum* se caracteriza por las nuevas expectativas sociales generadas a partir de los procesos de globalización económica³⁸. Las instituciones nacionales e internacionales se tienen que adaptar a las nuevas demandas sociales. Hay un nuevo planteamiento de las políticas energéticas que tiene en cuenta no sólo los aspectos vinculados al crecimiento económico, sino también los aspectos medioambientales y las demandas de los consumidores. El incremento del PIB está en torno al 2,5%, lo que se acompaña con una fuerte caída del desempleo y una baja inflación. Los precios de la energía se mantienen estables. Aumento importante de la tecnología con una alta ratio de transferencia tecnológica. Cambio importante en la demanda energética. Aumento de las energías renovables.

Por último, en el escenario *Hypermarket* se produce el aumento y la consolidación de un mercado global, caracterizado por la liberalización y la privatización. El papel de la Administración es recortado al mínimo. Su capacidad de aplicar impuestos y subsidios se reduce, al igual que la

³⁸ Algo parecido sucedía con el escenario *People Power* de la Shell.

prestación de servicios. El PIB tiene un comportamiento menos homogéneo oscilando entre un 2 y un 3%. Se produce un descenso del desempleo y de la inflación. Las políticas energéticas son prácticamente inexistentes. Los precios de la energía se incrementan ligeramente. La penetración de nuevas tecnologías depende exclusivamente del mercado. El crecimiento de las renovables está mediatizado por su viabilidad económica.

Tabla 2-5: Producción de Energía Primaria en el Mundo.

	1980		1990		2000				
					CW	BF	FO	HY	
Gtep									
Total	6976		8396		9406	0,6	-0,5	1,1	
Sólidos	1808		2209		2406	1,1	-4,7	-0,1	
Petróleo	3147		3227		3347	0,0	1,0	1,6	
Gas	1237		1711		2118	0,8	1,8	2,1	
Nuclear	187		518		628	1,5	-0,2	0,9	
Renovable	597		731		907	0,1	0,2	0,1	
		2010				2020			
Gtep		CW	BF	FO	HY	CW	BF	FO	HY
Total		11103	-4,1	-0,5	3,0	12768	-7,2	-0,3	4,4
Sólidos		2756	-6,1	-7,2	1,9	3024	-7,4	-7,6	2,0
Petróleo		3688	-4,2	0,1	3,1	3981	-8,4	-2,5	4,2
Gas		2849	-2,9	2,0	4,6	3699	-8,4	1,3	7,5
Nuclear		700	-1,3	6,8	3,6	729	3,2	22,7	4,1
Renovable		1110	-3,3	2,7	1,4	1336	-5,3	6,1	2,4

Fuente: *European Energy to 2020. Anexo 1. Nota: Los valores de los escenarios Bf, Fo y HY son en porcentaje respecto al escenario de referencia CW.*

En las tablas 1-5 y 1-6 se refleja el valor de la producción de energía primaria, en millones de toneladas equivalentes de petróleo, para el escenario CW³⁹. El valor del resto de los escenarios se encuentra en

³⁹ *Conventional Wisdom (CW) es el escenario de referencia.*

porcentajes respecto del escenario de referencia. Además se incluyen los valores de los años 1980 y 1990 como inicio de la serie.

Tabla 2-6: Producción de Energía Primaria en la OCDE.

	1980		1990		2000			
					CW	BF	FO	HY
Gtep					CW	BF	FO	HY
Total	2696		3201		3399	0,9	-1,6	0,1
Sólidos	799		923		898	0,3	-8,5	-0,2
Petróleo	828		907		893	1,4	1,6	0,1
Gas	706		714		793	1,3	1,7	0,1
Nuclear	160		419		510	1,2	-0,8	0,7
Renovable	202		238		304	-0,7	-0,7	-0,6
	2010				2020			
Gtep	CW	BF	FO	HY	CW	BF	FO	HY
Total	3459	-2,1	-1,5	1,0	3476	-0,9	2,8	1,1
Sólidos	932	-8,8	-15,7	0,6	921	-8,2	-18,0	0,1
Petróleo	818	1,8	2,1	0,3	785	2,4	2,8	0,4
Gas	807	1,7	3,1	0,5	811	2,5	4,7	1,1
Nuclear	541	-1,9	7,1	3,3	534	4,0	27,3	2,4
Renovable	361	-2,4	4,2	1,1	425	-4,1	13,4	2,8

Fuente: *European Energy to 2020. Anexo 1. Nota: Los valores de los escenarios Bf, Fo y HY son en porcentaje respecto al escenario de referencia CW.*

Como se aprecia en las tablas 1-6 y 1-7, las diferencias en el comportamiento de los países de la OCDE, en el escenario de referencia, frente a las tendencias mundiales no son significativas: suave incremento de la producción de energía primaria, mayor peso relativo de las renovables... Sin embargo, si se comparan las proyecciones para el 2020 del escenario Forum, el comportamiento varía, duplicándose el valor de las renovables para ese año en el caso de los países de la OCDE frente a las expectativas mundiales. Así mismo resulta significativo en el escenario FO el enorme peso al final del periodo proyectado de la energía nuclear. Este dato está vinculado en gran medida al afán por reducir las emisiones

de CO₂ y a la mejora en la tecnología nuclear. Sin embargo, resulta mucho más significativo el diferente comportamiento entre grupos de países como se puede apreciar en la Tabla 2-7.

El papel de las Energías Renovables es totalmente desigual entre los diferentes grupos de países contemplados (ver Tabla 2-7). Frente a una media mundial del 10,5% de aportación de las renovables, los países de la OCDE y la mayoría de los países en vías de desarrollo superan este valor, y especialmente África que prácticamente la duplica⁴⁰. Esto contrasta con el dato de los antiguos Países del Este y de los de Oriente Medio donde las reservas de combustibles fósiles marcan claramente las pautas de producción.

Tabla 2-7: Participación estimada de las Energías Renovables en la Producción de Energía Primaria por Grupos de Países en el "escenario de referencia" para el 2020.

	Producción de Energía Primaria ⁴¹	Producción con Energías Renovables ⁴²
Mundo	100	10,5
OCDE	27,2	12,2
Países del Este	17,2	1,9
Oriente Medio	11,5	0,13
Asia	23,7	14,3
América Latina	9,4	12,6
África	11	20,4

Fuente: European Energy to 2020. Anexo 1. Elaboración propia.

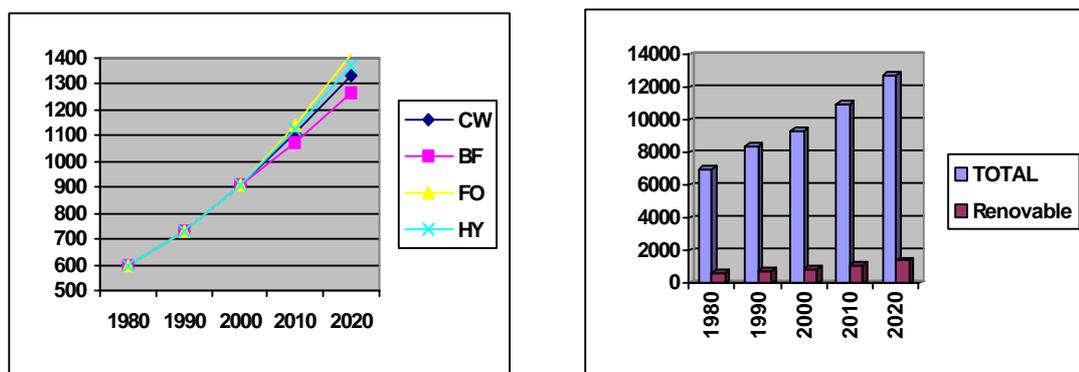
⁴⁰ No cabe duda de que el potencial de aprovechamiento de las Renovables en África es inmenso.

⁴¹ Porcentaje respecto del valor de producción mundial. Este valor nos sirve como referencia para ver el peso de cada grupo en el conjunto mundial.

⁴² Porcentaje respecto de la producción total de energía primaria por grupos de países.

Sin embargo, a nivel mundial, la evolución de las renovables es bastante homogénea para todos los escenarios, lo cual viene a coincidir con las conclusiones de otros estudios. Así por ejemplo, la proyección del peor escenario (BF) para el 2020 es de un incremento del 112% respecto a 1980 en la producción de energía primaria con renovables a nivel mundial, frente al 137% del mejor (FO). Respecto al comportamiento de las renovables en su aportación al conjunto, se puede apreciar como la evolución más favorable sólo supone un incremento del 2,5%, lo que supone pasar del 8,6 en 1980 al 11,1 en el 2020. No obstante, la evolución de la producción total en estos mismos años es del 85% frente al 137 ya comentado (ver Ilustración 2-3).

Ilustración 2-3: Evolución de las energías renovables en los diferentes escenarios y en relación a la producción energética mundial.



Fuente: *European Energy to 2020. Anexo 1. Elaboración propia.*

2.1.5. Síntesis de Escenarios

Todos los estudios recientes consultados indican un crecimiento potencial para las renovables, particularmente en escenarios en los cuales se impongan restricciones medioambientales, como emisiones de CO₂, etc. A los datos anteriores, se pueden añadir las estimaciones de

Naciones Unidas que calculan la aportación de renovables en el 30% de las necesidades mundiales, en el 2025, y el 45% en el 2050.

Por otra parte, el cumplimiento del protocolo de Kioto en cuanto a reducción de emisiones de gases de tipo invernadero en un 5,2 % en el 2010 respecto a los niveles de 1990, pueden favorecer la implantación de escenarios de corte ecológico, ya que, por ejemplo, los escenarios de “Ahorros energéticos” de la IEA y el de referencia del WEC están muy próximos a cumplir esa reducción, el escenario de orientación ecológica del WEC la cumple sobradamente (Escudero, 1998, p. 42–46)⁴³.

En Septiembre de 1998 se celebró en Houston, Estados Unidos, el XVIIº Congreso del Consejo Mundial de la Energía que centró su atención en distintos temas, entre ellos el suministro de energía en los próximos 50 años. Las conclusiones fueron las siguientes (Foro Nuclear, 1998, p.7)⁴⁴:

- De los 5.900 millones de habitantes del planeta, un tercio no tiene acceso a la electricidad comercial y en su mayoría vive en los países en desarrollo donde tiene lugar el 90% del crecimiento demográfico. Para el año 2020 la población mundial habrá aumentado en unos 2.000 millones y el

⁴³ ESCUDERO, J. (1998): “Escenarios energéticos mundiales”.

⁴⁴ FORO NUCLEAR (1988): “Conclusiones y recomendaciones del Congreso del Consejo Mundial de la Energía”.

consumo mundial de energía habrá aumentado en un 50%, lo que supone un reto técnico, social y financiero importante.

- Hay recursos de combustibles fósiles para el siglo próximo pero su empleo puede producir serios problemas ambientales si las nuevas tecnologías “más limpias” no se utilizan.
- En muchos países en desarrollo se continuará con la utilización de la leña y el carbón y se introducirán las energías renovables cuyo porvenir económico las hará viables, así como pequeñas unidades de energías convencionales.

En concreto, el WEC recomienda diversificar el aprovechamiento de recursos energéticos, considerando prioritario el desarrollo y utilización de las energías renovables; despejar las incertidumbres del cambio climático respecto al uso de combustibles fósiles en la generación de electricidad y en el transporte; y resolver la gestión de los residuos radioactivos.

Las perspectivas apuntan pues hacia un mundo con una mayor demanda energética, pero a la vez con una oferta más eficiente y competitiva. Basada en un mercado mucho más liberalizado y global que, sin embargo, no es capaz de eliminar las enormes diferencias regionales en la demanda de energía primaria.

En este marco, las renovables incrementarán progresivamente su peso relativo en el conjunto energético, aunque, tan sólo en las visiones más optimistas se aprecia un peso decisivo.

2.2. Política energética y ordenación territorial

La planificación energética afecta básicamente a tres ámbitos: tecnológico, socioeconómico y territorial. Desde el punto de vista tecnológico, el sistema energético en general, y el sistema eléctrico en particular, debido a su enorme importancia y complejidad, generan unas necesidades específicas de planeamiento que deben abordarse con una visión global e integradora. Desde el punto de vista socioeconómico, la planificación energética es también un elemento muy importante que afecta tanto a los sistemas productivos como a las necesidades o demandas de la población. Por último, en el ámbito territorial se produce ocupación del suelo por parte de los elementos de generación, distribución y transporte, así como una explotación de recursos naturales (fuentes de energía)⁴⁵.

Como la planificación energética afecta a la distribución de la energía, al aprovechamiento de los recursos, a los sistemas productivos y al medio ambiente, entre otros, cualquier estudio de implantación de

⁴⁵ *La energía tiene una gran influencia en todas las actividades humanas, con las que interactúa frecuentemente, pudiendo originar conflictos de uso que hacen imprescindible la ordenación del territorio (URBINA, 1983, "Influencia de las fuentes alternativas de energía...").*

instalaciones de aprovechamiento de energía debe considerar la zona de trabajo como un sistema complejo que incorporará tanto el "ecosistema social" (Díaz, 1989)⁴⁶, que define la población, los aspectos culturales, ambientales y tecnológicos, como el modelo territorial, debiendo ser ambos considerados en el estudio planificador.

Es por ello de capital importancia, el abordar el planeamiento energético desde una perspectiva de sistema dinámico que permita fácilmente la incorporación de nuevas formas de aprovechamiento energético, previendo las posibles interacciones y conflictos generados entre las distintas partes del sistema global, de forma que sea fácil volver al estado de equilibrio tras su introducción⁴⁷.

Junto a esta visión integradora y dinámica, es necesario tener en cuenta, tal y como señalan Gurgu y Alario (1983, p. 136)⁴⁸ en su estudio sobre las relaciones entre la política territorial y el ahorro energético, que el consumo de energía es en gran medida resultado de unas estructuras sociales determinadas, que en la mayor parte de los casos responden a

⁴⁶ DÍAZ, R. (1989). "Localización y desarrollo territorial: estudio de interdependencias".

⁴⁷ Este aspecto es de enorme relevancia cuando la introducción de nuevas tecnologías de produce en países en vías de desarrollo; en este sentido, GARCÍA CASALS, X. (1995) en su obra "Las energías renovables: su papel en la cooperación y en la elaboración de un modelo de desarrollo sostenible", remarca la enorme importancia que tiene esta visión dinámica que facilite tanto la integración como su mantenimiento posterior, afirmando que (...) "al pensar en la introducción de una fuente energética nueva en una aplicación rural, se debe pensar en forma de sistemas energéticos, que además de la introducción de la propia energía faciliten las condiciones para un uso sostenible de la misma"..

⁴⁸ GURGUÍ, A. y J. ALARIO (1983): "Bases para una política de ordenación territorial con ahorro de energía".

un modelo energético de concentración que discrimina entre los lugares de producción de las materias primas energéticas, los centros de generación y los centros de consumo. Para estos autores, de los tres sectores de la demanda energética, transportes, industrial y doméstico-servicios, es obviamente el primero el más vinculado a la organización territorial (o.c. p. 157) y, por lo tanto, el que más posibilidades presenta de un ahorro de energía a través de medidas territoriales (González, 1983, p. 132 y 133)⁴⁹.

Por todo ello, la planificación energética debe tomar en consideración criterios y conceptos de la Ordenación del Territorio, ya que sin ellos difícilmente podrá prever aspectos tales como los conflictos en los usos del suelo (Molina, 1980)⁵⁰, la satisfacción de la demanda energética o la preservación de los recursos y el medio ambiente, debiendo tener presente, en todas las decisiones de planificación de infraestructuras energéticas, la sensibilidad del entorno natural.

En este sentido, asumiendo la estrecha relación que debe de existir entre la ordenación del territorio y la política energética a fin de minimizar los conflictos e integrar ambas prácticas, a continuación se analizan

⁴⁹ GONZALEZ PAZ, J. (1983): *“Planificación energética vs. Planificación territorial”*.

⁵⁰ MOLINA, M. (1980): *“La producción de energía eléctrica en Aragón”*.

cuales son las relaciones entre la política territorial europea y la planificación sectorial

La Unión Europea (UE) en su *Informe sobre las políticas comunitarias y la ordenación territorial* (Comunicación de la Comisión Europea, COM, 1998)⁵¹ manifiesta como prioridades de la política energética la mejora de la competitividad, la seguridad en el abastecimiento y la protección del medio ambiente. Estas prioridades de la política energética comunitaria interaccionarán con el territorio según se recoge en el siguiente párrafo:

“El campo de la energía interactúa de dos modos con los aspectos territoriales. De un lado, la **producción y transmisión** de energía puede tener impactos negativos que necesitan ser mitigados, con una serie de consecuencias en los patrones de usos del suelo. De otro lado, la **distribución** de energía y las tecnologías de consumo, de acuerdo a sus características técnicas, influyen en la organización del territorio a través de los cambios inducidos en la conducta de los consumidores”. (COM, 1998, p. 28).

De esta forma, la política energética de la UE parte del principio de que la interacción entre la política energética y la territorial se produce en todos los procesos asociados a la energía: producción, transmisión y distribución, y afecta tanto a los patrones de usos del suelo como a los propios hábitos de los consumidores, con las consecuencias espaciales

⁵¹ Este informe es un paso previo a la definición de la estrategia territorial europea (ETE) recogida en “ESDP. European Spatial Development Perspective” y acordada en el consejo informal de Ministros responsables de la ordenación del territorio de la UE celebrado en Postdam los días 10 y 11 de mayo de 1999. En el documento de Postdam se recogen de forma sucinta las recomendaciones emanadas del informe anterior sobre las relaciones entre política energética y ordenación del territorio.

asociadas a ellos, en forma de impactos y de competitividad por el territorio⁵².

Junto a esta premisa de impacto y competitividad territorial de las actividades de producción, transmisión y distribución, la UE considera en su estudio, que la disponibilidad de energía a un precio competitivo es una condición clave para la competitividad regional, especialmente para las regiones periféricas y más desfavorecidas; y que por lo tanto, en la ordenación territorial de estas áreas, tendrán un especial interés los aspectos vinculados a la competitividad económica de la energía, como son el desarrollo de los recursos renovables locales, el uso racional de la misma y la consecución de un buen balance energético⁵³. Sin embargo, esta visión regional de la UE debe de convivir con una visión más global y a largo plazo de su territorio que tome en consideración las consecuencias derivadas de la liberación de los mercados del gas y de la electricidad, y de la creación de las Redes Trans-Europeas de transporte de energía (TEN)⁵⁴. Este modelo energético de la Unión generará

⁵² Los modelos de usos del suelo están relacionados con los sistemas de producción, transporte y distribución de la energía (Comunidad de Madrid, 1987, "Posibilidades de las energías renovables en el territorio de la Comunidad de Madrid", pág. 57).

⁵³ En esta línea, el informe destaca el enorme interés de la cogeneración, calor y electricidad, para estas áreas. En España es interesante el caso del municipio segoviano de Cuellar, donde existe una planta de cogeneración con biomasa que abastece a una parte de la población.

⁵⁴ En la ETE, las TEN están asociadas al impacto social de las políticas territoriales comunitarias.

impactos sobre el territorio, especialmente en la localización de las actividades y en la distribución del empleo.

Profundizando en el tema de las TEN, hay que considerar que aunque la planificación de las redes eléctricas se realiza a escala global, su impacto sobre el territorio tiene una escala local⁵⁵, que implicará una enorme disparidad en los procesos de ratificación, en las restricciones técnicas y ambientales y en la aceptación social de los diferentes lugares afectados por la construcción de una línea de distribución eléctrica (ESDP, 1999, p. 15 y 16).

Junto a este modelo un tanto convencional y centralizado, la *Estrategia Territorial Europea (ETE)*, al tratar el tema de las energías renovables desde la perspectiva de la ordenación del territorio, defiende tanto su valor ambiental como su flexibilidad, la cual puede favorecer la descentralización y las soluciones locales, contribuyendo así a mejorar la gestión de la demanda, la eficacia energética y el uso racional de los recursos⁵⁶. En esta línea de integración local, el informe destaca, aunque sin entrar demasiado a profundizar en ellas, las fuertes relaciones entre el sector energético y la ordenación del territorio, tanto a nivel local como en

⁵⁵ Sobre el impacto de las líneas eléctricas se puede consultar SÁNZ, L. y J. DOMÍNGUEZ (1995): "Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Planificación de Impactos Ambientales en Líneas Aéreas de Alta Tensión".

⁵⁶ En este sentido la ETE señala al importancia de mejorar la cohesión espacial desarrollando las sinergias funcionales, y pone como ejemplo la armonización del uso de la energía solar con los objetivos del planeamiento urbano (ESDP, 1999, p. 19).

escalas medias. También destaca como prioritarias las siguientes opciones de la *ETE* que convergen con las prioridades de la política energética (COM, 1998, p.30):

- La consideración de las condiciones locales, y especialmente del patrimonio natural y cultural, en el desarrollo de las energías renovables en áreas rurales.
- La mejora de las infraestructuras para los servicios ambientales, sociales y de negocios en las ciudades de áreas desfavorecidas.
- La promoción de una gestión “prudente” de los ecosistemas urbanos.

La idea de la *ETE* es que la política energética ha de formar parte, como política sectorial, de la ordenación del territorio; destacando los aspectos relacionados con la construcción de líneas de alta tensión, el desarrollo de las energías renovables, la localización de plantas de cogeneración y la reestructuración de las infraestructuras y sistemas energéticos de los países candidatos a la adhesión.

Finalmente, la *ETE* en sus fines de la política territorial europea apunta, entre otros, al *desarrollo endógeno, diversidad y productividad de las áreas rurales* (ESDP, 1999, p. 24 y 25), donde destaca el potencial de las energías renovables de cara a la diversificación económica, la mejora medioambiental, el uso eficiente de los recursos y la posibilidad futura de

exportar los excesos de producción utilizando las TEN. En este sentido, recoge como una de las opciones de esta política algo que ya se ha señalado, la necesidad de tomar en consideración para el desarrollo de las renovables las condiciones locales y regionales:

“Uso del potencial de energías renovables en áreas rurales y urbanas, tomando en consideración las condiciones locales y regionales, en particular el patrimonio cultural y natural”.

Junto a la ETE desarrollada por la Unión Europea, el Consejo de Europa, en los “Principios Directores para el Desarrollo Territorial Sostenible del Continente Europeo” (2000)⁵⁷, aborda también la relación entre política energética y ordenación del territorio (OT) destacando la importancia de la cooperación entre ambas (p. 8) e incluyendo el *desarrollo de los recursos energéticos y el mantenimiento de la seguridad* como uno de sus Principios. En el ámbito estricto de las FER y su relación con la OT, se afirma que:

“La ordenación territorial debe promover fuentes de energía renovables, en tanto que sistemas coherentes y respetuosos con el medio ambiente (...)”. (CEMAT, 2000, p.17 y 18)

En conclusión, la política energética no puede ser ajena a la ordenación del territorio, puesto que las actuaciones derivadas de la

⁵⁷ Los “Principios Directores” del Consejo de Europa son el equivalente, a nivel continental, de la “Estrategia Territorial Europea” de la UE.

misma tienen claramente una repercusión territorial. Además, las energías renovables han de tener en consideración las condiciones de áreas rurales y de regiones desfavorecidas para conseguir una implantación eficiente y armónica. En este sentido, resulta de capital importancia compatibilizar la actividad energética con otros usos del suelo y recursos de la economía local, evitando el peligro de la utilización exclusiva de estas áreas como soporte de actividades de generación, ajenas a los intereses de la población local e, incluso, incompatibles con la explotación de otros recursos.

2.3. La Planificación energética desde el punto de vista legislativo. El ejemplo de la Ley del Sector Eléctrico.

La competencia de los Estados en la Planificación Energética ha pasado por diferentes visiones. En la actualidad, conceptos como liberalización, desregulación, globalización o mercado, parece que se oponen en ocasiones a la idea de planificación estatal. En todo caso, la planificación, provenga del Estado o de los agentes económicos y sociales implicados es un hecho necesario al que se tiene que enfrentar el Sistema Eléctrico. La existencia de una demanda energética ha de ser suplida con una oferta adecuada y de calidad. A continuación se estudia como se ha abordado este problema, desde el punto de vista legislativo, en nuestro país.

La Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico, nace con vocación de convertirse en el motor de la desregulación del sector eléctrico en España. En la exposición de motivos afirma:

"La presente Ley tiene como fin básico establecer la regulación del sector eléctrico, con el triple y tradicional objetivo de garantizar el suministro eléctrico, garantizar la calidad de dicho suministro y garantizar que se realice al menor coste posible, todo ello sin olvidar la protección del medio ambiente (...)" (Ley del Sector Eléctrico, 1997, p. 5).

A pesar de que en esta exposición de motivos la ley afirma que trata de regular el sector, su fin último es la desregulación y la liberalización del mismo, estimando que la competitividad derivada de la libre actuación de los mecanismos de mercado será mucho más beneficiosa para alcanzar sus objetivos que la acción planificadora del Estado. En este sentido, declara:

"La planificación estatal (...) queda restringida a las instalaciones de transporte, buscando así su imbricación en la planificación urbanística en la ordenación del territorio".

La Ley desarrolla aquí una visión un tanto sesgada del planeamiento y la ordenación, convirtiendo a estos en un fin en si mismos y no en un medio para elaborar una visión territorial global e integradora. Desde el punto de vista energético se sustituye la visión ingenieril del sistema eléctrico por una visión donde se prima la eficiencia económica del mismo.

Respecto a su vocación "ambientalista" y a la importancia de las Energías Renovables hace también en la Exposición de motivos la siguiente declaración:

"(...) hace compatible una política energética basada en la progresiva liberalización del mercado con la consecución de otros objetivos que también le son propios como la mejora de la eficiencia energética, la reducción del consumo y la protección del medio ambiente. El régimen especial de generación eléctrica⁵⁸, los programas de gestión de la demanda y, sobre todo, el fomento de las energías renovables⁵⁹ mejoran su encaje en nuestro ordenamiento".

Como se puede apreciar, el espíritu de la Ley es contradictorio. La no intervención del Estado y la libre actuación del mercado eléctrico son dos variables que no necesariamente implicarán la defensa de los principios arriba apuntados⁶⁰. Esta contradicción se plasma por ejemplo en los Costes de transición a la competencia⁶¹.

El artículo 4, Planificación Eléctrica, señala que esta tendrá un carácter puramente indicativo a excepción, como ya dijimos, de las instalaciones de transporte. Los aspectos que serán objeto de esa "planificación" serán: la previsión de la demanda, la estimación de la potencia mínima instalada en función de esa demanda, las previsiones de transporte y distribución en función de la demanda, las líneas de

⁵⁸ Es en el que se incluyen las renovables. A este respecto se puede consultar el RD 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energía renovables, residuos y cogeneración. BOE núm. 312. 30/12/98. 44077 a 44090. Este RD es desarrollo normativo de la Ley del Sector Eléctrico.

⁵⁹ Es de destacar el Plan de Fomento de las Energías Renovables emanado desde aquí.

⁶⁰ Esta situación podría generar un estado de cosas similar al producido en California (EE.UU) a raíz de la liberalización del sector, donde la desregulación ha provocado un aumento de los costes para el usuario y una pérdida en la calidad del servicio. Ver MARTINEZ-ASENJO y FRANK, 2001, p. 518 y 519. FABRA (2001).

⁶¹ Los Costes de Transición a la Competencia o CTC es una compensación que se abona a las compañías eléctricas, por parte del usuario, en concepto de compensación por los problemas generados a las Compañías por la liberalización del mercado emanada de la Ley del Sector Eléctrico. Estos CTC han sido recurridos por la Comisión Europea.

actuación para asegurar la calidad del servicio, la eficiencia y el ahorro energéticos, la evolución de las condiciones del mercado y los criterios de protección medioambiental.

El artículo 5, Coordinación con planes urbanísticos, liquida en dos puntos toda la relación entre ambos planeamientos, circunscribiéndose al espacio ocupado por las infraestructuras de transporte y distribución eléctrica (ni siquiera de generación) y a su consideración dentro del planeamiento urbanístico, en función del suelo urbanizable o no, con las necesarias reservas de suelo; estableciendo, en el caso de que no existan esas reservas, la aplicación de los elementos contemplados en el artículo 244 del Texto Refundido de la Ley sobre Régimen del Suelo y Ordenación Urbana.

Lo que aquí se plantea es un escenario del estilo BAU (*Business as usual*) con un mercado no intervenido y con un papel del estado en el que la planificación no va mucho más allá de la previsión de la demanda (cosa que por otro lado suelen hacer las compañías eléctricas) y del suelo para la instalación de la red de transporte y distribución eléctrica, predominando, de este modo, una visión económica y de mercado al margen del territorio y de la organización planificada de la producción.

Como se ha visto, la perspectiva territorial de la *Ley del Sector Eléctrico* es más reducida que la planteada por la *Estrategia Territorial Europea*, lo que necesariamente implica un contraste de planteamientos y

una disfunción respecto a una política energética integrada a nivel de la Unión Europea.

No obstante, a pesar de esta visión, resulta totalmente evidente que el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la sociedad moderna pasa por la integración en el sistema energético de las energías renovables y por la adopción de unas prácticas de planeamiento que la favorezcan y faciliten la cohesión territorial desde esta perspectiva.

CAPÍTULO 3. Integración económica y territorial de las energías renovables

A raíz de la crisis del petróleo de los años 70 hubo un movimiento que consideró que las energías renovables podían ser una alternativa energética que permitiese alcanzar un mayor grado de independencia de los recursos petrolíferos. En la actualidad, el aumento global de la demanda energética ha generado numerosos problemas ambientales que, unidos a la demanda social, están actuando como impulsores en el desarrollo de una nueva etapa en su implantación⁶². Para conseguir afianzar esta implantación y efectuar una integración más eficiente de cara a la satisfacción de la demanda, se hace necesario considerar las características fundamentales de estas fuentes y relacionarlas con los aspectos ambientales, socioeconómicos e institucionales.

3.1. Principales Fuentes de Energías Renovables

En la introducción se ha realizado una clasificación de las FER en relación con el flujo de energía solar, a continuación se revisan los principales aspectos de estas fuentes y sus implicaciones geográficas.

3.1.1. Energía solar

La radiación solar recibida por la superficie terrestre puede ser aprovechada en forma de energía solar, presentando la distribución espacial más perfecta con pequeñas variaciones por la pendiente del terreno, que influirá en el ángulo de incidencia de los rayos solares, y por el sombreado, que influirá en las horas de exposición. Tiene una estabilidad adecuada en cuanto a los valores diarios medios mensuales, ya que, para un día determinado, sólo está afectada por la transparencia de la atmósfera.. Dos tipos de factores determinan pues su distribución sobre la superficie terrestre. En primer lugar, las condiciones de localización geográfica y temporal, latitud, orientación y hora. En segundo lugar, las condiciones meteorológicas y climatológicas que determinan la radiación diaria recibida y su variabilidad estacional. La influencia de los factores geográficos en la radiación es fácilmente calculable. No así, la variabilidad derivada de las condiciones climatológicas que se ha de basar necesariamente en modelos y aproximaciones derivadas de la observación.

La evaluación de recursos solares se realiza tanto con medidas en tierra (heliógrafos, piranómetros, estimación de la nubosidad...) como con

⁶² SÁNCHEZ, F.: "Energías Renovables, situación y perspectivas". En CIEMAT (1995a): *Energía Renovables*. Págs. 11 a 19.

modernas técnicas de detección remota⁶³. El objetivo es estimar la energía recibida por el colector solar, para ello se necesita conocer el perfil diario y estacional de la radiación, para así estimar la productividad potencial anual. Esta productividad dependerá tanto de las características climatológicas anuales (lo mismo ocurre con la energía eólica), como de la localización y orientación de los colectores.

En España se han realizado diferentes proyectos que combinan la evaluación de recursos solares con los sistemas de información geográfica⁶⁴. Aunque la distribución del recurso tiene un marcado carácter latitudinal, modificado por factores orográficos, y su presencia es abundante en todo el país, las áreas con un mayor potencial se sitúan en el Valle del Guadalquivir y en el sudeste (Almería y Murcia) peninsular⁶⁵ (ver ilustración 4-2).

El tipo de radiación (directa o difusa) y las características de su distribución son factores determinantes para la conversión de la energía solar en energía útil. La energía solar tiene diferentes niveles de aprovechamiento que están determinados por sus características de

⁶³ En este sentido es interesante la utilización de imágenes del satélite Meteosat para la evaluación de recursos solares. RAMÍREZ, L. (2000): "Radiación solar a partir de imágenes de satélite".

⁶⁴ Más adelante se analizan dos proyectos en este sentido: MERSOTERM y SOLARGIS.

⁶⁵ En estos estudios no se incluyeron las Islas Canarias, las cuales tienen unos importantes recursos. Es interesante observar como las especiales condiciones microclimáticas de las islas pueden incidir en la distribución del recurso solar. Igualmente, las condiciones poblacionales y orográficas hacen que la aplicación de sistemas aislados de ESFV sea muy interesante.

dispersión e intermitencia. Es una energía dispersa debido a su baja intensidad energética (normalmente menos de 1kW/m^2) lo que obliga a la utilización de grandes superficies para su aprovechamiento o bien al uso de sistemas que concentren la radiación y aumenten su densidad. Además, la intermitencia diaria y estacional de esta fuente obliga a utilizar sistemas de almacenamiento que permitan su utilización cuando no hay radiación.

Tradicionalmente el aprovechamiento de la energía solar se ha caracterizado por la aplicación de elementos arquitectónicos para el aprovechamiento energético⁶⁶. En la actualidad, se están produciendo notables avances en el aprovechamiento tecnológico de la energía solar, tanto en forma de calor (conversión térmica) como de electricidad (conversión fotovoltaica), desarrollando sistemas de captación o *colectores*.

El aprovechamiento del calor producido por la energía irradiada por el Sol o *conversión térmica* se divide en aplicaciones de baja (hasta 90°C), media (entre 90 y 300°C) y alta temperatura (a partir de 300°C).

⁶⁶ Aunque no es objeto de este trabajo el estudio del aprovechamiento de la energía en su forma de calor, es interesante destacar la enorme importancia que actualmente tienen los sistemas pasivos y las normativas de edificación derivadas de ellos, así como su influencia para conseguir un mayor ahorro y eficiencia en el consumo de energía. Este aprovechamiento pasivo tiene además unas posibilidades específicas para su aplicación en infraestructuras agrícolas como invernaderos, secaderos y establos.

Los sistemas de baja temperatura aprovechan la captación directa de la energía solar mediante colectores planos. No tienen un aprovechamiento desde el punto de vista eléctrico, empleándose habitualmente para la obtención de agua caliente sanitaria (a.c.s.).

Ilustración 3-1: CIEMAT, Vista de la Plataforma Solar de Almería. Central Solar de Torre.



Fuente: CIEMAT.

Los sistemas de media temperatura pueden llegar a alcanzar los 300°, con lo que el abanico de aplicaciones es mucho mayor que en el caso anterior. En este rango se utilizan habitualmente colectores cilíndro-parabólicos, que concentran la radiación en un tubo ubicado en el centro del semicilindro. Esto permite alcanzar una mayor temperatura y combinar varios colectores (“sistemas de colectores distribuidos”) destinados a aplicaciones industriales. Dentro de estas aplicaciones dominan las

propiamente térmicas (procesos térmicos industriales, desalinización, refrigeración...), aunque también se puede producir electricidad.

Existen básicamente dos sistemas de alta temperatura: los Paraboloides y las Centrales de torre. Los paraboloides tienen una concepción similar a los colectores cilindro-parabólicos, pero aumentan notablemente la relación entre la superficie reflectora y la zona donde se instala el absorbedor. Las Centrales de torre se basan en la utilización de un campo de heliostatos que dirigen la radiación hacia un punto central situado en una torre.

El aprovechamiento directo de la radiación solar para producir energía eléctrica se denomina *conversión fotovoltaica* y se basa en la capacidad de algunos materiales semiconductores para generar electricidad al incidir sobre ellos una radiación luminosa.

La transformación de la radiación solar en electricidad se realiza en la **célula solar fotovoltaica**, que habitualmente es un disco de silicio monocristalino. Éstas células se colocan en grupos, interconectadas y montadas entre dos láminas de vidrio en lo que se conoce como **módulo fotovoltaico**.

Aunque la ESFV tiene una amplia implantación en instalaciones aisladas, donde es capaz de competir con otros sistemas

convencionales⁶⁷, también existen instalaciones conectadas a la red. En este último caso es de destacar el enorme interés que presenta la instalación de lo que se conoce como *tejados fotovoltaicos*⁶⁸, donde la potencia instalada esta en el rango de la decena de kW , y de las centrales eléctricas fotovoltaicas (centenares de kW).

Entre las aplicaciones aisladas de la ESFV destacan las remotas, como antenas, repetidores, etc. que se caracterizan por la exigencia de una alta fiabilidad del sistema de alimentación y la necesidad de baterías. También son importantes las aplicaciones rurales tanto domésticas como agropecuarias (p.ej. riego).

3.1.2. Energía eólica

El viento es el resultado del desplazamiento de las masas de aire motivado por la existencia de un gradiente térmico y de presión. Además de la fuerza derivada de este gradiente, existen otras fuerzas que influyen en la circulación de las masas de aire, estas son la fuerza de fricción o rozamiento, relacionada con el rozamiento que sufren con la superficie terrestre las capas bajas de la atmósfera, y la fuerza de Coriolis, vinculada el movimiento de rotación de la Tierra.

⁶⁷ Más adelante se estudia la aplicación de los SIG al análisis de la competitividad territorial de los sistemas fotovoltaicos frente a otras opciones en la electrificación rural.

⁶⁸ Al respecto se puede consultar el RD 1663/2000 sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de BT. También el Plan de Fomento de las Energías Renovables recoge la

La circulación de las masas de aire presenta un esquema a nivel planetario que se conoce como **circulación general de la atmósfera** y que es la responsable de una gran parte de las características climáticas de nuestro planeta así como del régimen general de vientos. Sin embargo, el aprovechamiento energético del viento esta determinado en muchos casos por las características locales o **circulación a pequeña escala** definida por la situación geográfica, latitudinal y altura, las características climáticas locales y la topografía y los accidentes del terreno.

La distribución espacial de la energía eólica está rígidamente condicionada por la topografía de la zona, por lo que su empleo está restringido a determinadas localizaciones. Puede presentarse con una alta densidad energética, mayor que la procedente de un aprovechamiento directo de la radiación solar, o la biomasa; ya que es debida a la transformación de la energía solar en energía térmica en amplias zonas de la atmósfera. Si bien, debido a esto, presenta una mayor incertidumbre a escala diaria que el aprovechamiento directo de la radiación solar, debiendo considerar valores medios anuales de la velocidad del viento para caracterizar un lugar determinado. Tiene el inconveniente de que para su almacenamiento es necesaria una transformación energética.

enorme importancia que tienen este tipo de aplicaciones. Desde la perspectiva de los SIG más adelante se analiza un proyecto de evaluación desarrollado en EEUU.

Los recursos o potencial eólico son decisivos a la hora de evaluar el emplazamiento de un aerogenerador, sea este aislado o formando un parque eólico. La caracterización de los recursos eólicos de una zona se realiza mediante la realización de mapas eólicos, distribuciones de la velocidad del viento y perfiles de velocidades.

Ilustración 3-2: Parque Eólico de San Martín de Unx (Navarra).



Fuente: Autor.

Los criterios de selección del emplazamiento varían en función de la potencia demandada. Así, cuando se busca la instalación de un parque eólico, el criterio fundamental es la relación entre el coste del parque y la producción esperada. Sin embargo, cuando la instalación es de baja potencia el criterio es la proximidad al usuario.

En general, los criterios básicos a tener en cuenta en la selección de un emplazamiento son⁶⁹: la velocidad media del viento (hoy en día se considera como velocidad mínima entre 3,5 y 4 m/s); la turbulencia y vientos extremos acordes con el diseño de la máquina a emplazar; y, en el caso de sistemas aislados, la baja variabilidad diaria y estacional y el buen acoplamiento a la demanda.

Los emplazamientos geográficos con mayor potencial eólico son: los pasos entre montañas con un fuerte gradiente de presión, los valles largos, las zonas llanas elevadas (mesetas), las zonas llanas con un fuerte gradiente de presión, las elevaciones bien expuestas con vientos de altura y las zonas de costa bien expuestas tanto a vientos de altura como a gradientes térmicos y de presión.

Es importante tener en cuenta, a la hora de seleccionar un emplazamiento, no sólo las características técnicas de los aerogeneradores y el potencial eólico del lugar, sino también los aspectos económicos, ambientales, institucionales y la aceptación por parte de las comunidades vecinas; así como, en el caso de parques eólicos, la cercanía y características de la red eléctrica

La naturaleza del viento hace que no se pueda extraer todo su potencial ya que una parte de la misma siempre queda en la masa de

⁶⁹ MORILLAS, F. (1995): "Caracterización de los recursos eólicos" en CIEMAT: "Principios de conversión...", pág. 5.30 y 5.31.

aire, puesto que si no está quedaría parada. Es lo que se conoce como *Límite de Betz*.

El aprovechamiento de la energía eólica se realiza a través de las *máquinas eólicas* que son los dispositivos capaces de aprovechar la energía cinética del viento y de transformarla en energía mecánica (aeromotor) o eléctrica (aerogenerador).

Los principales elementos de las máquinas eólicas o aerogeneradores son el sistema de captación o rotor, que puede ser de eje vertical u horizontal⁷⁰. Además, el aerogenerador cuenta con un sistema de orientación, mediante aletas estabilizadoras o servomecanismos, un sistema de regulación que actúa variando la incidencia del rotor y de las palas, un sistema de transmisión de la energía mecánica obtenida por el rotor y un sistema de generación que puede ser una dinamo o un alternador asíncrono o síncrono.

Los parámetros que caracterizan un aerogenerador⁷¹ son la velocidad de arranque, la velocidad de conexión, la potencia nominal, la velocidad de frenado y el área de captación.

⁷⁰ En la actualidad, el sistema más difundido es el de eje horizontal con tres palas.

⁷¹ En este apartado se utiliza el término aerogenerador puesto que el objeto de estudio es la producción de electricidad con energías renovables.

Existen dos grandes tipos de aplicaciones de la energía eólica, las aplicaciones centralizadas y las aplicaciones autónomas, descentralizadas o aisladas⁷².

Las **aplicaciones centralizadas** más características son las de producción de electricidad en parques eólicos conectados a la red eléctrica o bien en aerogeneradores individuales de gran potencia⁷³.

Las **aplicaciones descentralizadas** pueden estar diseñadas para aprovechar directamente la energía mecánica o bien para convertirla en energía térmica o eléctrica. Una forma clásica de aprovechamiento de la energía mecánica es el bombeo de agua. La transformación de la energía mecánica en térmica se puede realizar tanto por rozamiento mecánico como por compresión de un fluido. Este tipo de conversión se aplica básicamente en climatización.

La aplicación “aislada” más interesante es la producción de electricidad. La ausencia de red eléctrica implica habitualmente el uso de baterías para la acumulación o el uso de un generador convencional complementario.

Las principales aplicaciones descentralizadas de la energía eólica en el medio rural son el bombeo de agua y riego, la desalinización, el

⁷² El término aislado hay que entenderlo aquí como no conectado a una red general de distribución eléctrica.

⁷³ En la actualidad, en el entorno superior al megawatio

acondicionamiento y refrigeración de almacenes, la refrigeración de productos agropecuarios, el desecado de productos agroforestales, el agua caliente, el acondicionamiento de establos y el alumbrado y usos eléctricos diversos.

Al igual que la energía fotovoltaica, la conversión eléctrica en pequeños aerogeneradores permite su aplicación en instalaciones remotas y aisladas de unas características similares a las expuestas pero con una mayor demanda de energía o con sistemas *híbridos* eólico-fotovoltaicos⁷⁴.

3.1.3. Energía de la biomasa

La energía de la biomasa procede de la radiación solar, que es transformada en energía química de enlace, gracias al proceso de fotosíntesis desarrollado por las plantas verdes. Esta energía química es acumulada en diferentes compuestos orgánicos. Su capacidad natural de almacenamiento constituye una diferencia característica respecto a otras energías renovables.

Debido a que procede de la radiación solar puede considerarse un recurso renovable, pero hay que puntualizar que, a diferencia de las otras

⁷⁴ En este sentido es interesante el estudio llevado a cabo por Arribas et al. en la Base Antártica Española (BAE). ARRIBAS (2000): "Evaluación del Potencial Eólico...".

FER, la biomasa lo será sólo si el uso de la misma es más lento o igual que la velocidad a la cual se regenera⁷⁵.

La biomasa presenta una distribución espacial dispersa, pero en menor medida que el aprovechamiento directo de la radiación solar. Su concentración energética se produce por acumulación a través del tiempo, ya que su rendimiento energético respecto a la radiación solar incidente es muy pequeño, entre el 0,5% y el 4%. Aunque tiene la gran ventaja del acumulamiento natural de energía, la certidumbre del recurso, relacionada con el ciclo del agua, puede presentar variaciones anuales importantes.

Est energía absorbida por las plantas es transmitida al resto de los seres vivos a través de la cadena trófica y de los residuos. En función de ello, se pueden clasificar los principales tipos de biomasa, desde la perspectiva de su aprovechamiento energético, en **biomasa vegetal**, **biomasa animal** y **biomasa residual**.

El aprovechamiento energético de la biomasa se puede realizar mediante una transformación industrial o directamente como combustible, tal es el caso del aprovechamiento de los residuos y de los cultivos energéticos.

⁷⁵ En muchos casos la sobreexplotación de la biomasa para usos domésticos (carbóneo, leña...) e industriales ha producido tanto la pérdida del recurso como otros problemas asociados (deforestación, erosión, etc.).

El aprovechamiento de la biomasa contenida en los residuos para su transformación en energía útil presenta varias ventajas como son la existencia de la materia prima, la concentración, las ventajas ambientales de su eliminación y la generación de subproductos con un alto valor añadido.

En función del origen se puede distinguir entre **residuos agrarios** (procedentes de las actividades agrícolas, ganaderas y forestales), **industriales** (procedentes básicamente de la industria agraria de transformación) y **urbanos** (pueden ser residuos sólidos urbanos o parte orgánica de las basuras y aguas residuales o lodos de depuración).

Además se puede dividir la biomasa residual en **seca** (residuos agrícolas, forestales e industriales y residuos sólidos urbanos) y **húmeda** (residuos ganaderos, agroindustriales y aguas residuales)⁷⁶.

Los residuos sólidos urbanos (RSU) son la fuente de biomasa residual con mayores posibilidades de aprovechamiento ya que cuentan con un servicio de recogida organizado. Además, su recogida y eliminación es imprescindible, su crecimiento es continuo y permite la recuperación de subproductos de alto valor como metales, plásticos o vidrio.

⁷⁶ CIEMAT (1996): "La Biomasa...".

Los **cultivos energéticos** se basan en el tratamiento y mejora de especies de alto rendimiento desde el punto de vista energético. Se trata pues de cultivar variedades agrícolas cuyo fin no es la alimentación, sino la generación de un combustible que posteriormente será transformado en energía.

Entre los cultivos tradicionales con un aprovechamiento energético se incluyen cereales, caña de azúcar, sorgo dulce, maíz de tallo azucarado, remolacha, mandioca, girasol, plantaciones forestales...

Otros cultivos menos frecuentes pero cuyo alto valor energético les está dotando de una gran relevancia en el campo de la biomasa son: cardos, pataca, chumberas, agaves, caña de Provenza, pasto elefante, helechos...

Estos dos grupos de cultivos tienen en común su alto rendimiento energético que se manifiesta en la producción de hidratos de carbono, sin embargo las características energéticas de otros cultivos se basan en sus peculiaridades como plantas productoras de combustibles líquidos. Son plantas con una gran fracción leñosa que producen sustancias fácilmente utilizables como combustibles a través de un tratamiento sencillo⁷⁷. Entre ellas se puede citar diferentes tipos de palmas, la tabaiba, el árbol del caucho, el membrillo negro, el alga elástica, etc.

⁷⁷ JARABO (1988): "El libro de las Energías Renovables", págs. 130-133.

Como se puede apreciar, la enorme variedad y características de estos cultivos permite su explotación en una amplia variedad de ámbitos geográficos, adaptando su distribución a las peculiaridades de cada cultivo.

La baja densidad energética y el contenido de humedad hacen necesario transformar la biomasa por diferentes procedimientos. Los procesos más habituales para su aprovechamiento se dividen en **procesos termoquímicos**, que incluyen la combustión, la gasificación y la pirólisis, y **procesos bioquímicos**, que incluyen la fermentación alcohólica y la digestión anaerobia (Jarabo, 1988, págs. 133-151).

La **combustión** es el aprovechamiento energético más tradicional de la biomasa. Los sistemas de combustión cuentan habitualmente con una caldera, un equipo de recuperación de calor y un sistema para la utilización de la energía recuperada. La energía así obtenida se puede utilizar tanto en forma de calor (aplicaciones domésticas e industriales) como para la producción de electricidad. La eficacia de este procedimiento está entorno al 30%, pudiendo superar este límite aplicando ciclos combinados.

Según el comburente utilizado en el proceso de gasificación de la biomasa se distingue entre **gas de gasógeno**, cuando la transformación de la biomasa en gas utiliza como comburente el aire, y **gas de síntesis** cuando es oxígeno. El primero, debido a sus características de baja densidad energética y bajo poder calorífico, se utiliza directamente en

unidades de combustión para la obtención de electricidad y vapor. El gas de síntesis tiene un mejor comportamiento calorífico y además tiene la enorme ventaja de que puede ser transformado en combustibles líquidos (metanol y gasolinas).

La **pirólisis** es la descomposición de la biomasa por la acción del calor en ausencia de oxígeno, dando lugar a tres grandes tipos de productos de reacción: gases compuestos por hidrógeno, óxidos de carbono e hidrocarburos; líquidos con compuestos hidrocarbonados complejos; y residuos sólidos carbonosos y cenizas.

Otro posible aprovechamiento de la biomasa es su transformación en etanol a través de la **fermentación alcohólica** de la glucosa. El etanol así obtenido ha de sufrir diferentes procesos de separación y purificación que nos llevarán a su utilización última como combustible.

Por último, la **digestión anaerobia** consiste en la fermentación microbiana de la biomasa dando lugar a **biogás**⁷⁸ y a un fango residual.

Las diferentes formas de transformación de la biomasa implican diferentes posibilidades de aplicación, las cuales se pueden sintetizar en las siguientes⁷⁹: obtención de combustibles sólidos, obtención de

⁷⁸ *El biogás de vertedero tiene unas amplias posibilidades de aplicación en la producción de energía eléctrica. A este respecto se pueden consultar los trabajos recogidos en CARRERAS (1998) "Guía para la extracción ...".*

⁷⁹ *CIEMAT (1996): "La Biomasa...".*

biocombustibles líquidos, producción de electricidad, obtención de carbón vegetal, obtención de compost y gestión de residuos sólidos y líquidos.

3.1.4. Energía geotérmica

La energía geotérmica procede del interior de la Tierra en forma de calor. Este calor se produce por la desintegración de los isótopos radioactivos contenidos en las rocas. La transferencia de este calor a la superficie se realiza de una forma extremadamente lenta, debido a la baja conductividad térmica de los materiales implicados. Existe por tanto, un *gradiente geotérmico* que es del orden de 1°C por cada 33 m. de profundidad.

El *flujo geotérmico* normal, o flujo de calor derivado del gradiente geotérmico, evaluado en unos 60 mW/m², manifiesta la baja densidad de esta forma de energía. Ello implica, que la explotación de esta fuente de energía se ha de realizar en lugares donde este flujo es muy superior al *normal*, dándose gradientes que pueden llegar a ser diez veces éste. En estos lugares se localizan los **yacimientos geotérmicos** que se clasifican en función de su temperatura en yacimientos de baja entalpía⁸⁰ (<150°C) y yacimientos de alta entalpía (>150°C). Además de la condición de un

⁸⁰ La entalpía es la cantidad de energía de un sistema modificada en un proceso o reacción.

alto gradiente, los yacimientos geotérmicos⁸¹ tienen que reunir otras tales como la posibilidad de ser recorrido por una corriente de agua, ya que, debido a la baja conductividad de las rocas, debe de existir un fluido capaz de transferir el calor almacenado a la superficie para su explotación.

Estos yacimientos suelen estar asociados a cierto tipo de manifestaciones superficiales como pueden ser la existencia de un vulcanismo reciente, zonas de alteración hidrotermal, emanaciones gaseosas, fuentes termales y minerales o anomalías térmicas. Esto implica que la distribución geográfica de las zonas geotérmicas es muy similar a la de las áreas más activas tectónicamente.

El aprovechamiento de la energía geotérmica suele estar tanto en las aplicaciones directas de calor (caldeamiento geotérmico) como en la producción de electricidad (centrales geotérmicas).

Actualmente, la explotación más habitual de los yacimientos se realiza mediante los llamados **sistemas hidrotérmicos**, formados por una fuente de calor a escasa profundidad (menos de 10 km.) sobre la que existe algún tipo de estrato poroso con contenido de agua (acuífero) circulando junto a la roca a alta temperatura. Esta bolsa de agua se encuentra impermeabilizada en su parte superior lo que permite la

⁸¹ Un yacimiento geotérmico en sentido estricto es “un volumen de roca con temperatura anormalmente elevada para la profundidad a la que se encuentra”. JARABO (1988): “El libro de las Energías Renovables”, pág. 161.

generación de unas zonas de convección con un importante intercambio de calor en altura. Existen dos grandes tipos de sistemas hidrotérmicos: los que tienen un predominio de vapor y los que predominan el agua.

La explotación de los **yacimientos de alta entalpía** (independientemente de que en ellos predomine el vapor o el agua) se realiza, habitualmente, en centrales eléctricas geotérmicas. El rendimiento⁸² termodinámico de estos yacimientos se sitúa en torno al 30%.

El aprovechamiento de los **yacimientos de baja entalpía** suele estar dirigido a los sistemas de calefacción, tanto en aplicaciones urbanas como agrícolas e industriales.

Más adelante se abordan algunos de los problemas técnicos y ambientales relacionados con la explotación de los yacimientos geotérmicos.

3.1.5. Energía hidráulica

La energía hidráulica se obtiene de la transformación de la energía cinética del agua manifestada de dos formas: la energía contenida en el propio movimiento del agua (es la energía cinética “real” del cauce y por lo tanto depende directamente del caudal que se produce en cada

⁸² El rendimiento o eficiencia de un sistema es la relación entre la cantidad de energía primaria introducida en el mismo y la cantidad de energía transformada que es capaz de producir.

momento) y la energía potencial contenida en una masa de agua en elevación. El aprovechamiento de la energía hidráulica está, por tanto, en relación con el **caudal** y la **pendiente**⁸³. Mientras que la pendiente es fina, el caudal varía estacionalmente de acuerdo al régimen del río. Esta variación también es interanual, por lo que la producción energética será irregular. Esta condición es muy importante en el aprovechamiento eléctrico de la energía hidráulica. (Molina, 1980, pág. 14)⁸⁴. Por lo tanto, su distribución espacial estará determinada por las condiciones fisiográficas de la cuenca, y su aportación condicionada tanto por la cantidad del recurso (caudal y salto) como por la distancia a la que se encuentre del punto de demanda⁸⁵. El aprovechamiento hidroeléctrico tiene la gran ventaja de facilitar la acumulación de la energía por medio del embalsamiento del agua. Sin embargo, su mayor inconveniente es la posibilidad de fuertes variaciones interanuales en el recurso.

La energía contenida en el agua puede ser aprovechada directamente de dos formas: como energía mecánica (aprovechamiento tradicional de los molinos de agua) y en la producción de energía eléctrica o **hidroelectricidad**. El rendimiento de esta fuente de energía renovable

⁸³ *La potencia de un aprovechamiento hidráulico es directamente proporcional al caudal del agua y al salto.*

⁸⁴ *MOLINA, M. (1980): "La producción de energía eléctrica..."*.

⁸⁵ *Es frecuente encontrar en nuestros cauces viejas "fábricas de la luz" ya abandonadas que sirvieron para una electrificación rural incipiente, así como para abastecer pequeñas instalaciones industriales diseminadas y, en muchos casos, con un carácter agroindustrial.*

es muy alto, entre el 80 y el 90 %, teniendo además otras ventajas como la ausencia de residuos o su capacidad de almacenamiento⁸⁶.

Ilustración 3-3: Minicentral hidroeléctrica de Anzánigo (Huesca).



Fuente: UNESA (1998) "Centrales eléctricas", pág. 15.

Dentro de la **energía minihidráulica** se incluyen las pequeñas instalaciones: *minicentrales hidroeléctricas* (hasta 5000 kW⁸⁷). Los principales tipos de centrales minihidráulicas son: las centrales de agua fluvente y las centrales con regulación. Molina (1989, pág. 36) destaca el interés actual por este tipo de minicentrales y señala como las centrales

⁸⁶ Mercedes Molina señala como grandes ventajas de la hidroelectricidad el que se trata de una energía limpia y no contaminante, de producción instantánea y con un sistema de producción duradero. MOLINA, M. (1989): "Fuentes de energía...", pág.36.

Los principales inconvenientes de la energía hidráulica, junto a los ya comentados de la variabilidad del régimen hidrológico, se centran en la multiplicidad de usos del agua (MOLINA, M. (1980): "La producción de energía eléctrica...", p.37), muchos de ellos incompatibles entre sí, en la variación de las condiciones naturales de los cauces que supone su aprovechamiento y en la ocupación del suelo que supone la creación de presas y embalses. Este último aspecto hace que en ocasiones se excluya del grupo de las renovables a la gran hidráulica. Sin embargo otros autores defienden su inclusión en el mismo debido a las características del recurso (Molina, 1989).

⁸⁷ Algunos autores ponen este límite en los 10 MW. UNESA (1998): "Centrales eléctricas", pág. 14.

de saltos fluyentes se caracterizan por ser más adecuadas para pequeños ríos con un caudal medio de 6,35 m³/seg. Este tipo de centrales se adapta a las características del caudal fluvial y no a las características de la demanda⁸⁸.

Habitualmente una minicentral esta compuesta por un sistema de almacenamiento o embalse, un sistema de conducción del agua (canales y tubos) y un sistema captador (ruedas hidráulicas o turbinas).

Las **centrales hidroeléctricas reversibles** o de bombeo, constan de dos embalses a diferente nivel. El turbinado del agua del embalse superior al inferior en horas punta o llanas y el bombeo del inferior al superior en horas valle, permiten una mayor adaptación de la potencia instalada a nivel nacional a la curva de carga diaria.

3.1.6. Energía del mar

El aprovechamiento de la energía del mar se realiza fundamentalmente de tres formas: la energía de las mareas o maremotriz, la energía maremotérmica y la energía de las olas.

La **energía maremotriz** (mareas) tiene un funcionamiento similar al de las minihidroeléctricas, basándose en el almacenamiento del agua en un depósito artificial durante la pleamar, para su posterior turbinado en la

⁸⁸ MOLINA, M. (1989): "Fuentes de energía y materias primas...".

bajamar. El rendimiento probable de estas centrales estará en torno al 25%. Una central maremotriz puede funcionar en un ciclo elemental de efecto simple o de efecto doble, según las turbinas trabajen en uno o dos sentidos.

La **energía maremotérmica** se basa en el aprovechamiento del gradiente térmico de las aguas del mar. El aprovechamiento de este gradiente en una central maremotérmica para la producción de electricidad se realiza con un ciclo termodinámico de Rankine, que puede ser de ciclo abierto o de ciclo cerrado, en el primer caso se utiliza como fluido de operación el agua calida de la superficie del mar, mientras que en el segundo se utiliza otro fluido distinto.

La **energía de las olas** se basa en el aprovechamiento de la energía eólica almacenada en las mismas.

Para el aprovechamiento de esta energía primaria se utilizan **convertidores** que son capaces de capturar la energía mecánica aleatoria contenida en las olas y convertirla en energía secundaria, generalmente eléctrica.

3.2. Demanda rural de energía y características geográficas de las FER

El desarrollo industrial ha dado lugar a la búsqueda de recursos de densidad energética creciente, desde el carbón vegetal, pasando por el

carbón mineral, el gas natural y el petróleo, hasta la energía de los átomos, para satisfacer altas concentraciones de la demanda.

Desde el punto de vista de las pérdidas en el transporte y distribución de energía, así como para buscar una infraestructura energética más equilibrada y menos dependiente, sería útil que cada región produjera la energía que consume (GURGUÍ y ALARIO, 1983)⁸⁹. Esto es especialmente difícil por la dispar distribución de los recursos energéticos convencionales, por lo que la introducción del aprovechamiento de recursos renovables puede contribuir a dicho equilibrio.

Por otro lado, para satisfacer de una forma eficiente la demanda pequeña y dispersa, característica del medio rural, se necesitan recursos energéticos con una distribución espacial adaptada a la demanda o, lo que es lo mismo, que se produzca un “acoplamiento” espacial entre recursos y necesidades de consumo. Este acoplamiento es notablemente ineficiente con un modelo energético de concentración.

Los recursos renovables presentan una distribución espacial dispersa, por lo que, además de ayudar al equilibrio del balance energético regional, presentan claras ventajas en el suministro rural; permitiendo con sus características perfilar un nuevo modelo energético-

⁸⁹ GURGUÍ, A. y J. ALARIO (1983): “Bases para una política de ordenación territorial...”, p. 139.

territorial de oferta y demanda, en el cual se consideren tanto los aspectos derivados de la generación, transporte y distribución de la energía, como los aspectos vinculados a la demanda, ambos desde una perspectiva descentralizada y apoyando un nuevo modelo energético que se adapte mejor a una demanda territorialmente descentralizada y que contribuya a mejorar la gestión de los recursos endógenos.

La generación de energía en el medio rural debería basarse, según R. Alvargonzález (1982)⁹⁰, en el aprovechamiento directo de la radiación solar y de la biomasa, ya que son los recursos con una distribución espacial más perfecta. La energía hidráulica y la eólica, con una distribución espacial más concentrada, serían complementarias salvo para localizaciones concretas, en las que debido a la densidad del recurso, pudieran ser dominantes. La demanda de energía en el sector rural se divide en: energía mecánica, energía térmica de baja temperatura y energía eléctrica. Para conseguir la autonomía energética en una región se deberían determinar tanto sus recursos como sus necesidades energéticas para así poder identificar la fuente que mejor se adapte a cada tipo de demanda. En general, la energía mecánica podría ser suministrada a través de los biocombustibles y de la energía eólica (bombeo directo); la energía térmica de baja temperatura podría ser suministrada tanto por la biomasa como por el aprovechamiento directo

⁹⁰ ALVARGONZÁLEZ, R. (1982): "Generación de energía en el medio rural", p. 19.

de la radiación solar; y la energía eléctrica podría ser de origen fotovoltaico, hidroeléctrico o eólico.

Las FER presentan una distribución espacial y temporal con un doble carácter, disperso y concentrado, en función de las propiedades de la fuente tratada. Este carácter presenta tanto una variabilidad espacial como *temporal*, manifestándose esta última en forma diaria (viento), estacional (radiación solar, caudal hídrico, estadio fenológico de los cultivos...) e interanual (biomasa, hidráulica...). La *variabilidad espacial* está influida por factores naturales y antrópicos. Uno de los *factores naturales* más determinantes es la topografía, con una presencia clara tanto en los aprovechamientos hidráulicos, como en la búsqueda de emplazamientos para parques eólicos o en la influencia del sombreado para aprovechar la energía solar. Muy relacionada con el relieve está la distribución de la red hidrográfica. Junto a estos factores geomorfológicos, habría que situar los factores relacionados con el clima y con la localización latitudinal. Estos factores serán los responsables del régimen de vientos, del régimen hidrológico, de la viabilidad de los cultivos (junto a las características edáficas y litológicas) y de la insolación (tanto en horas de radiación y ángulo de incidencia, como en su relación con la nubosidad).

Junto a los factores naturales no se puede obviar la influencia que tiene en el aprovechamiento de las FER los factores antrópicos. La competencia en el uso del suelo ya apuntada con anterioridad, así como la viabilidad técnica y funcional de los proyectos y las propias

características de la demanda influyen notablemente en la *distribución* del aprovechamiento de las FER.

Las características geográficas de las FER son tratadas, en numerosas ocasiones, como variables de sistemas de información geográfica desarrollados para abordar diferentes problemas en la integración regional de las energías renovables.

3.3. Ventajas de las energías renovables a escala regional

Al estudiar los diferentes escenarios energéticos se comprobaba como las energías renovables tenían un papel en todos ellos. En la actualidad, las tecnologías relativas a la explotación y conversión de las fuentes de energías renovables han adquirido un nivel de madurez que permite la comercialización de instalaciones y equipos en muchas de sus aplicaciones. Entre ellas, algunas presentan una especial relevancia, tal y como se veía anteriormente, en su desarrollo en el medio rural, y tienen importantes ventajas para su integración a escala regional.

Además, la explotación de las fuentes de energías renovables presenta otras ventajas de carácter más general como son el hecho de que su impacto ambiental es muy pequeño, especialmente en cuanto a emisiones de CO₂. Además, una política energética basada en energías renovables permite un suministro de energía sostenible, reduciendo el consumo de combustibles fósiles. El empleo de un rango amplio de fuentes favorece la seguridad del suministro energético debido al aumento

de la diversidad energética. Tienen implicaciones positivas para la balanza comercial debido a que son recursos autóctonos, lo que puede reducir el desequilibrio Norte-Sur, ya que los mayores recursos renovables se encuentran en los países en desarrollo⁹¹. Su desarrollo permite la disponibilidad de tecnologías apropiadas y fiables para su transferencia a los países en desarrollo. Esto abre un campo de enormes posibilidades comerciales para la Unión Europea debido a su liderazgo mundial en el sector de las tecnologías de energías renovables, y al crecimiento previsto de consumo de energía en los países en desarrollo (COM, 1996, págs. 4 y 20).

También son ventajas de estas fuentes el largo tiempo de vida previsto para las instalaciones de energías renovables; el corto tiempo entre la decisión y su implantación; el hecho de que el coste de la energía está determinado principalmente por la inversión, implicando una mayor estabilidad de los costes y menores riesgos financieros, ya que la evolución de los costes es fácilmente predecible y no depende, al menos rígidamente, del agotamiento de recursos, de la estabilidad de una determinada zona del mundo, etc. Además, las energías renovables incluyen los costes externos.

⁹¹ *Kristoferson y Bokalders (1991) estudian de forma muy exhaustiva las aplicaciones de las energías renovables para países en vías de desarrollo.*

Respecto a la importancia de las energías renovables en los países en vías de desarrollo, García Casals (1995, pág. 7)⁹² señala como principales ventajas la amplia distribución geográfica de los recursos, la modularidad⁹³ y los beneficios medioambientales, tanto a escala local como global. Además de estas ventajas, considera muy importantes otros factores tales como la fabricación local (Casals, 1995, pág. 15)⁹⁴

Las energías renovables presentan ventajas en el ámbito ambiental, social y económico, contribuyendo a diversificar y estabilizar la oferta energética y, tal como señala R. Sáez (1999)⁹⁵,

"Mejoran la cohesión económica y social, especialmente en comunidades rurales alejadas, proporcionándoles servicios energéticos y maximizando la utilización de recursos energéticos endógenos".

Con estos antecedentes parece que la introducción de este tipo de energías en áreas rurales debería ser fácil y su utilización masiva. La realidad demuestra lo contrario. Se ha investigado esta situación desde distintos puntos de vista, haciendo especial hincapié en el aspecto económico. Pero la problemática de la implantación de las energías renovables supera la cuestión puramente económica.

⁹² GARCÍA, X., (1995): "Las Energías Renovables: su papel en la Cooperación...".

⁹³ La modularidad de las instalaciones renovables tiene importantes efectos ya que reduce el riesgo financiero, aumenta la adecuación a la demanda, y disminuye las pérdidas por distribución y transformación.

⁹⁴ La fabricación local implica la creación de empleo industrial local, el aumento de la capacitación laboral, la mejora de la disponibilidad de piezas y recambios, la asunción de la tecnología por parte de las sociedades rurales, y el desarrollo de un tejido microempresarial.

Tabla 3-1: Características de las FER.

Fuente	Aspectos positivos	Aspectos negativos	Principales factores de localización de los emplazamientos	Superficie (ha.) necesaria para producir 1 GWh	Dualidad de usos del suelo
Eólica	Emisiones y vertidos inexistentes en atmósfera, agua o suelo Emisiones evitadas	Impacto visual Avifauna Pérdida vegetal Conflictos de uso	Orográficos Circulación atmosférica Infraestructuras (red eléctrica y accesos) Ambientales	2	SI (excepto bosques)
Solar Térmica	Emisiones y vertidos inexistentes en atmósfera, agua o suelo Emisiones evitadas Aprovechamiento edificios	Impacto visual Ocupación del suelo (centrales termoeléctricas)	Latitudinales Climatológicos Técnicos y arquitectónicos Ambientales (conexión a red) Infraestructuras	0.48	NO
Solar Fotovoltaica	Electrificación en condiciones extremas Emisiones y vertidos inexistentes en atmósfera, agua o suelo Emisiones evitadas Aprovechamiento edificios	Consumo de energía en producción de células Ocupación del suelo (centrales solares fotovoltaicas) Impacto visual	Latitudinales Climatológicos Arquitectónicos (tejados) Ambientales (conexión a red) Infraestructuras	0.64-1	SI (tejados)
Biomasa	Desarrollo zonas agroforestales Reforestación y efecto invernadero	Emisiones atmosféricas Conflicto de usos por el recurso	Latitudinales Climáticos Biogeográficos Agronómicos Recursos Infraestructuras de transporte	48400	NO (usos agroforestales) SI (residuos pecuarios e industriales)
Biogás	Gestión de residuos	Emisiones atmosféricas	Vertederos Explotaciones ganaderas		Vertederos

⁹⁵ SÁEZ, R. et al. (1999): "Costes y beneficios externos de la energía...", pág. 30.

RSU	Gestión de vertederos	Emisiones y residuos	Vertederos	Vertederos
		Inundación de zonas de valor agrícola		
		Patrimonio natural y cultural		
Hidráulica > 10 MW	Regulación de cauces y previsión de inundaciones Otros usos: recreo, riego, agua potable	Modificación condiciones microclimáticas Modificación régimen hidrológico Biosfera, riveras Competencia uso del agua Modificación régimen hidrológico	Hidrológicos Climáticos Orográficos Técnicos Ambientales	NO (aunque puede existir dualidad en los usos del agua)
Hidráulica < 10 MW	Regulación de cauces y previsión de inundaciones	Biosfera, riveras Competencia uso del agua		

Fuente: Varios, ZEGERS (2001), Autor.

3.4. Las barreras para la integración de las energías renovables

Como se ha expuesto, ciertas aplicaciones de las energías renovables han alcanzado plena madurez tecnológica y son económicamente competitivas, pero su nivel de integración en las estructuras energéticas debería ser mayor, ya que la situación actual dista en muchos casos de ser óptima.

"La extensión limitada del empleo de las energías renovables en la actualidad no es por la ausencia de una tecnología adecuada, sino por la inercia del sistema económico y político que no reacciona a las necesidades de la humanidad, haciéndolo únicamente a la situación de mercado" (Comunidad de Madrid, 1987, pág. 57)⁹⁶.

⁹⁶ COMUNIDAD DE MADRID (1987): "Posibilidades de las energías renovables...".

Este punto de vista formulado por la Comunidad de Madrid al final de los 80 no parece haber perdido actualidad, así lo manifestaba una década después la Comisión Europea:

“(...) la limitada penetración del mercado de las fuentes de energía renovables puede achacarse en buena medida a la inexistencia de voluntad política” (COM, 1996, pág. 24)⁹⁷.

Uno de los mayores problemas para conseguir la penetración efectiva de las energías renovables en el sistema energético es la superación del modelo territorial de concentración, basado en la polarización de centros de generación y de consumo conectados por la red eléctrica. La superación de esta dinámica debe de contar tanto con el esfuerzo tecnológico por adaptar las renovables a sistemas de producción distribuida, como con una clara voluntad social y política, que comprenda la ineludible responsabilidad ambiental para superar este conflicto y fomentar la integración de las renovables en un nuevo modelo energético que, sin olvidar las necesidades de la sociedad, apueste claramente por un desarrollo ambientalmente sostenible.

Se han realizado muchos estudios para identificar las barreras que impiden esta difusión y así poder delimitar y solucionar el problema. Las principales barreras identificadas se pueden agrupar en las siguientes categorías:

⁹⁷ COM (1996): “Energía para el futuro : Fuentes de Energías Renovables...”.

- **Estructuras energéticas** existentes (regulación del sector eléctrico, resistencia de las empresas eléctricas a la generación descentralizada, etc.).
- **Políticas** regionales y nacionales (políticas de precios, incentivos económicos, marcos legislativos, etc.).
- Barreras **económicas** (coste de capital por energía producida, sistemas demasiado pequeños para poder beneficiarse de la economía de escala, no consideración de costes externos en sistemas convencionales, preferencias de inversión, desconocimiento de riesgos, etc.) .
- Barreras **técnicas** (escasez de estandarización, intermitencia de suministro, inviabilidad de grandes plantas, etc.).
- **Desconocimiento** de los agentes de decisión energéticos del potencial real y de las ventajas de las energías renovables.

García Casals (1995)⁹⁸ identifica algunas barreras para la integración de las energías renovables en los países en vías de desarrollo. Entre ellas están el desigual acceso al capital de inversión

⁹⁸ GARCÍA, X. (1995): "Las Energías Renovables: su papel en la Cooperación y en la elaboración de un Modelo de Desarrollo Sostenible".

(mayor coste de instalación, problemas de mercado y financiación y un mayor coste de tramitación); las distorsiones del mercado energético (subsidios carbón, etc., tarifas inferiores a costes reales, externalidades⁹⁹...); las herramientas de planificación suelen ir unidas a sistemas centralizados; y la inexistencia de unas instituciones fuertes para la comercialización de renovables (científicas y tecnológicas, empresariales, mantenimiento, construcción...).

Zegers (2001)¹⁰⁰ señala como principales barreras para el desarrollo de la energía fotovoltaica los costes económicos (que pueden disminuirse aumentando la producción, mejorando la eficiencia y utilizando los tejados para la instalación de paneles con lo que se evitan los costes en suelo) y su carácter intermitente. Además, señala como barreras comunes para la penetración en el mercado de las instalaciones fotovoltaicas y las pilas de combustible¹⁰¹ las siguientes: no existe una demanda que facilite la producción a gran escala de equipos renovables (al menos en módulos fotovoltaicos)¹⁰²; requieren grandes inversiones en nuevas infraestructuras; la mayor parte de la producción renovable se

⁹⁹ Las externalidades son “todos aquellos costes o beneficios asociados a una actividad económica concreta que recaen indiscriminadamente sobre la sociedad y el medio ambiente y no están incorporados al precio del producto que los ocasiona”. SÁEZ, R. et al. (1999): “Costes y beneficios externos de la energía...”, págs. 5 y 6.

¹⁰⁰ ZEGERS, P. (2001): “The role of fuel cells in a sustainable energy supply”.

¹⁰¹ Aunque no se incluyen en esta obra el estudio de las pilas de combustible, su futuro en un diseño energético sostenible es muy interesante.

¹⁰² Este estadio está siendo superado por la energía eólica.

dirige a la electricidad, siendo aun pequeña la penetración en el campo del calor y el transporte; la producción es dispersa por lo que dificulta su aprovechamiento por parte de la gran industria; y, además, se producen conflictos de usos (ver Tabla 3-1).

Respecto a este último aspecto, este autor señala como el uso energético de la biomasa puede chocar en ciertas regiones con el aprovechamiento alimentario de los cultivos o incluso con su aprovechamiento industrial. La idea de *conflicto de uso* también es apuntada por Mercedes Molina (1989) para el caso de la hidroelectricidad, donde se producen tanto conflictos por el uso del agua (regadíos, consumo...), como por el uso del territorio (inundación de áreas de cultivo...)¹⁰³.

En resumen, la integración de las energías renovables cuenta con barreras que en muchos casos son superables. Sin embargo, algunas están delimitadas por las propias características del recurso (aleatoriedad de la fuente, carácter distribuido y de bajo rendimiento, fluctuaciones diarias y estacionales, conflictos de uso...). No obstante, otras barreras como las económicas y financieras, las jurídicas y normativas y las tecnológicas, son superables haciendo un esfuerzo en la planificación, en la clarificación del mercado energético y en la actitud política y social.

A continuación se revisan con mayor detalle algunas de ellas.

3.4.1. Barreras económicas, financieras y legales

Aunque la curva de costes de la mayoría de las fuentes renovables está decreciendo rápidamente, su uso se ve en muchos casos obstaculizado por el mayor coste de inversión frente a los ciclos de combustible convencionales¹⁰⁴.

Ello se debe fundamentalmente al hecho de que los precios de la energía y los combustibles no reflejan actualmente los costes totales, incluido el coste externo que representa para la sociedad el daño ambiental causado por el uso de combustibles fósiles y convencionales.

Tabla 3-2: ¿Puede ser competitiva la electricidad renovable?.

	Precio actual € céntimos / kWh	Coste final € céntimos / kWh
Fotovoltaica	25-50	6-10 (3-5)
Eólica	4-9	2.5 - 5
Biomasa	4-8	3 - 5
Geotérmica	12	4
Solar térmica	12	4

Fuente: Zegers, 2001, pág. 15¹⁰⁵.

Algunos estudios muestran que las energías renovables tendrían una cuota de mercado mucho mayor, en el estado actual de la tecnología, si, por ejemplo, el precio de los combustibles fósiles reflejará los costes

¹⁰³ MOLINA, M. (1989): "Fuentes de energía y materias primas...", pág. 36.

¹⁰⁴ JARABO (1988): "El libro de las...", pág. 172.

¹⁰⁵ ZEGERS, P. (2001): "The role of fuel cells in a sustainable energy supply".

totales de las externalidades, sobre todo el coste derivado de la protección del medio ambiente (COM, 1996, págs. 4 y 24)¹⁰⁶.

En muchas ocasiones, la evaluación económica de un sistema renovable no considera aspectos como la durabilidad de las instalaciones, su escaso coste de operación y mantenimiento, la ausencia de gastos de combustible (y por lo tanto la independencia de los precios del mercado) y el coste ambiental positivo que supone la ausencia de emisiones de CO₂.

Por otro lado, la evolución de los precios de las energías renovables permite ser optimistas respecto a su competitividad futura. En este sentido, la Tabla 3-2 muestra como el precio esperado de las diferentes tecnologías supone una reducción superior al 50% en la mayoría de los casos.

La Comisión Europea, en el informe sobre el proyecto Atlas¹⁰⁷, señala las siguientes barreras impuestas por el mercado al conjunto de las renovables: los bajos precios de las energías convencionales; la inconsistencia de las estructuras de precios, el bajo retorno económico ofrecido por las compañías eléctricas a los productores independientes y el incremento que supone el IVA en los componentes renovables; la infraestructura de la oferta energética no está diseñada para estas nuevas tecnologías; la inexperiencia en el mercado energético lo que implica un

¹⁰⁶ COM (1996): "Energía para el futuro : Fuentes de Energías Renovables...".

¹⁰⁷ Comisión Europea (1997): "Energy technology...", págs. 18-19.

aumento de los costes de gestión; y la distancia entre la localización de algunas fuentes y los grandes consumidores.

Entre los principales **problemas financieros** comunes a la mayoría de los proyectos de energías renovables, cabe citar los prolongados períodos de amortización al nivel actual de precios.

Sin indicaciones claras del escenario futuro, los inversores y las instituciones financieras son incapaces de tener una visión a largo plazo de los proyectos. Así por ejemplo, en el estudio *La energía en Europa hasta el año 2020*¹⁰⁸, se indica literalmente como “(...) los resultados cuantitativos hallados confirman (...) que puede haber futuros energéticos muy distintos” (COM DG XVII, 1996, pág. 9), confirmando así un nivel de incertidumbre que perjudica notablemente a las renovables.

Suelen sobrestimarse, por tanto, los riesgos, tanto comerciales como técnicos, percibidos por las instituciones financieras y los inversores. A lo anterior se añade el hecho de que la escala de muchos proyectos renovables es demasiado pequeña para muchas instituciones financieras, lo que explica que sean numerosos los proyectos energéticos renovables, sólidos y económicamente viables, que no superan la fase de planificación (COM, 1996, pág. 25).

¹⁰⁸ COM. DG XVII (1996): “La energía en Europa hasta el 2020”.

Por otro lado, los **marcos jurídicos** sobre montes, aprovechamiento de aguas públicas, medio ambiente, etc., tienen una influencia fundamental en la implantación de las energías renovables. En cualquier plan de integración de las energías renovables se deben analizar estos marcos jurídicos con el objeto de detectar las posibles barreras y proponer nuevos planteamientos.

En este sentido, y a modo de resumen, se reproducen las conclusiones de Valero Urbina (1983)¹⁰⁹ en su estudio de la Comarca de Sanabria, que no han perdido actualidad:

"(...) puede decirse que el marco jurídico debe enfocarse hacia la supresión de algunas trabas existentes en la actualidad... A regular y fomentar la obtención de ciertos productos energéticos sustitutivos de las gasolinas y gasóleos... a descentralizar la producción de energía para suministro al medio rural; al fomento de aquellos aprovechamientos que supongan además de la obtención de energía otros beneficios indirectos... y, por último, al establecimiento de ayudas técnicas y financieras para el aprovechamiento de las fuentes alternativas de energía en el medio rural".

3.4.2. Barreras tecnológicas y normalización

La calidad de las instalaciones con energías renovables ha sido otro de los "talones de Aquiles" en la implantación de estas tecnologías. Las razones han sido de distinto tipo, así por ejemplo, se ha considerado que estas instalaciones tenían muy poca dificultad técnica cuando la realidad ha demostrado que aunque son instalaciones relativamente sencillas, su realización en zonas aisladas les proporciona una dificultad

¹⁰⁹ URBINA V. (1983): "Influencia de las fuentes alternativas de energía en la ordenación del territorio...".

añadida nada despreciable. En muchos casos no se ha superado la etapa inicial de implantación debido a las dificultades de crecimiento. También ha influido la carencia de estandarización de sistemas y componentes derivada, entre otras razones, de la ausencia de una normativa técnica específica. Debido a estas y otras cuestiones se ha producido una ausencia de un mantenimiento adecuado.

Para evitar estos problemas es necesario actuar en dos direcciones. En primer lugar es necesario crear una **infraestructura humana y tecnológica** que permita suministrar una adecuada calidad de servicio a unas instalaciones dispersas geográficamente que requieren grandes costes de micro-gestión y de viajes de mantenimiento¹¹⁰. En segundo lugar, se deben de elaborar **normativas técnicas** que garanticen la calidad de las instalaciones. Es imprescindible la elaboración de normas, del sistema completo y de cada uno de sus componentes o, en el caso de que ya existan, depurarlas y actualizarlas.¹¹¹

¹¹⁰ VALLVÈ X. y SERRASOLSES J. (1997): "PV stand alone competing successfully with grid extension in rural electrification...", págs. 23-26. Los autores destacan como la política llevada a cabo ha consistido en la realización de proyectos en áreas bien delimitadas para alcanzar una cierta densidad de instalaciones. Además se ha entrenado a técnicos locales y se ha capacitado a los usuarios para el mantenimiento elemental (al tratar el papel del usuario, se aporta más información de este proyecto).

¹¹¹ En este sentido hay que resaltar la labor realizada por la Junta de Andalucía. Ver por ejemplo: JUNTA DE ANDALUCÍA (1990): "Especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares para producción de agua caliente" y, más recientemente, BOJA (1995): "Orden de 8 mayo de 1995, por la que se convocan subvenciones a los Ayuntamientos destinadas a la rehabilitación de la vivienda rural en localización aislada".

La estandarización es una opción que puede impulsarse en el ámbito político y que conducirá a un incremento de confianza para los inversores y reducirá los costes asociados al mantenimiento y remplazamiento de equipos¹¹².

Por su importancia e interés actuales (STÖHR, 1996, págs. 445-446)¹¹³, se estudia en este punto la estandarización de las instalaciones de producción de energía eléctrica descentralizada con energías renovables, centrando el análisis en las fotovoltaicas.

Eduardo Lorenzo, en su examen del estado de la electrificación rural fotovoltaica (LORENZO, 1997)¹¹⁴, considera que “el primer paso hacia la estandarización es la determinación de las necesidades eléctricas en kWh/día”. Esta demanda de energía es perfectamente conocida para aplicaciones profesionales, pero para la electrificación de viviendas, el consumo depende de las preferencias del usuario.

Por otra parte, la modularidad de las instalaciones de energías renovables facilita el diseño a medida del sistema. Para realizar dicho diseño es necesario conocer la demanda concreta. Esto ha llevado a una situación en la que han proliferado instalaciones muy diferentes en cuanto a diseño, instalación, etc. La necesidad de aumentar la fiabilidad y de

¹¹² ECOTEC (1994): “The impact of large-scale research and development (R&D) investment on renewable energy in the EU”.

¹¹³ STÖHR, M. (1996): “PV for the world's villages”.

¹¹⁴ LORENZO E. (1997): “Photovoltaic Rural Electrification”.

disminuir los costes, obliga a la estandarización de las instalaciones y de los equipos utilizados. Por lo tanto, además de la estandarización de los consumos, y en línea con ella, es necesario conseguir una homogeneidad en la configuración de las instalaciones, que conduzca a un mayor grado de fiabilidad y a una mayor economía de las mismas.

Dicha fiabilidad pasa necesariamente por el establecimiento de controles de calidad sistemáticos de las instalaciones de electrificación rural, ya que aunque los componentes procedan de compañías de gran prestigio con sus propios y rigurosos controles de calidad internos, las condiciones particulares de la instalación pueden requerir modificaciones. Esto se traduciría en el tratamiento adecuado de temas que frecuentemente se descuidan como son la calidad de las conexiones, el dimensionamiento de los cables, etc. que en la práctica dan lugar a una gran pérdida de fiabilidad (LORENZO, 1997, págs. 16-17)¹¹⁵.

La base de cualquier procedimiento de control de calidad está en las especificaciones técnicas de materiales, equipos e instalaciones. Varias instituciones y organismos han publicado especificaciones o recomendaciones para sistemas aislados de electrificación rural con sistemas fotovoltaicos¹¹⁶.

¹¹⁵ LORENZO E. (1997): "Photovoltaic Rural Electrification".

¹¹⁶ Un análisis de estas recomendaciones puede consultarse en LORENZO et al. (1997): "Universal technical standards for solar home systems", pág. 20.

R. Eyras (1996), en uno de los estudios más completos de estandarización de sistemas aislados, propone unos sistemas para la electrificación rural fotovoltaica de viviendas aisladas con las siguientes características: suministro en continua, 24 V, para iluminación y en alterna, 220 V, para el resto de las cargas; con un tamaño tipo de 400 W_p, 240 W_p y 180 W_p, según la familia sea extensa, intermedia o reducida. Las instalaciones realizadas a través de programas comunitarios emplean generadores FV entre 300 y 1200 W_p, con la mayoría de las instalaciones entre 300 y 800 W_p (EYRAS, 1996, pág. 63)¹¹⁷.

Todavía queda un largo camino por recorrer para que la estandarización de los sistemas se traduzca en la reducción de los costes y en el aumento de la fiabilidad.

Otra de las cuestiones que debe abordarse en la normalización de los sistemas aislados es la elección, en el caso de agrupación de viviendas a electrificar, de sistemas centralizados o descentralizados. Los sistemas centralizados presentan una serie de ventajas como son la minimización de costes (tamaño del generador, ahorro en el sistema de regulación, menor coste del mantenimiento, etc.), además de permitir una cierta gestión de la carga que disminuye la potencia nominal del acondicionamiento de potencia con la pérdida de rendimiento asociada (EYRAS, 1996, pág. 11), esta gestión del consumo permite también

¹¹⁷ EYRAS, R. (1996): "Estandarización de sistemas fotovoltaicos autónomos".

aumentar el rango de aplicaciones. Además, los sistemas centralizados pueden resultar más atractivos para las empresas eléctricas ya que se asemejan más a su forma habitual de trabajar y de establecer relaciones con el cliente.

Todas las ventajas de los sistemas centralizados quedan solapadas por la escasa fiabilidad de los mismos, principalmente debida a los fallos en los inversores. Esta puede ser la razón por la cual, algunas compañías eléctricas con amplia experiencia en la electrificación rural fotovoltaica, hayan elegido sistemas descentralizados para sus programas de cierta envergadura (LORENZO, 1997, págs. 14-15)¹¹⁸.

3.4.3. Superación de barreras

Para la superación de estas barreras, especialmente las de tipo técnico y económico, se deben continuar desarrollando tareas de investigación y desarrollo que conduzcan a mejorar los rendimientos, aumentar la fiabilidad y reducir los costes. Las trabas de tipo económico que impiden la expansión de las renovables pueden salvarse a base de unos costes realistas y transparentes de los combustibles tradicionales que reflejen los costes marginales y las externalidades (ECOTEC, 1994, págs. 21-23)¹¹⁹.

¹¹⁸ LORENZO, E. (1997): "Photovoltaic Rural Electrification".

¹¹⁹ ECOTEC (1994): "The impact of large-scale research and development (R&D) investment on renewable energy in the EU".

En este sentido, R. Sáez (1999)¹²⁰ apunta que la consideración del coste total de la energía, es decir, la inclusión de las externalidades en el precio final de la misma, conlleva una serie de ventajas en la toma de decisiones sobre aspectos tales como la selección de tecnologías y combustibles en función de su impacto ambiental, la introducción de nuevas tecnologías energéticas, la selección de emplazamientos desde una perspectiva global, el establecimiento de prioridades en la planificación energética, medioambiental y en la investigación, la optimización de las regulaciones sobre contaminación, el diseño de estrategias para un desarrollo sostenible y la contabilidad verde.

Este proceso de *internalización* de los costes externos o externalidades contempla las siguientes etapas¹²¹: identificación de las externalidades; definición de los efectos de las mismas y de sus rutas de impacto; cuantificación y valoración económica; selección del mecanismo de internalización; y, por último, la implantación del mecanismo seleccionado.

Para realizar esta internalización se pueden utilizar **instrumentos económicos** tales como: impuestos sobre emisiones y procesos¹²²;

¹²⁰ SÁEZ, R. et al. (1999): "Costes y beneficios externos de la energía...", págs. 8-9.

¹²¹ SÁEZ, R. et al. (1999): "Costes y beneficios externos de la energía...", pág. 30-31. IDAE (2000b): "Impactos ambientales de la Producción eléctrica...", pág. 67-69.

¹²² Santisirisomboon señala recientemente la importancia de la adopción de tasas de CO₂ que benefician la producción de electricidad con biomasa. J. SANTISIRISOMBOON et al. (2001): "Impacts of biomass power generation...", pág. 984.

impuestos sobre el tipo de combustible; comercialización de permisos de contaminación; subsidiación de fuentes energéticas; desgravaciones fiscales; y medidas promocionales de carácter divulgativo y educativo.

En esta línea, también resulta muy interesante la llamada *tarifa verde* que consiste en que el consumidor pueda seleccionar el origen renovable de su consumo eléctrico aunque esto le suponga un coste añadido. Un estudio reciente desarrollado en el Reino Unido expone la conclusión de que una gran mayoría de los consumidores están dispuestos a asumir un sobre coste en esta *tarifa verde* del 2%. Esta capacidad de ofrecer *kW verdes* será un factor claro de competitividad de las empresas eléctricas (LEVICK, 2001, pág. 64)¹²³.

Por su parte, García Casals (1995)¹²⁴ propone las siguientes estrategias para la superación de estas barreras: integrar las energías renovables en proyectos más amplios; mejorar la capacidad local para la comercialización de las energías renovables; y adecuar las instalaciones a las circunstancias locales.

Siguiendo con las estrategias para la integración, F. Ferrando¹²⁵ (CIEMAT, 1995b, pág. 22.12) resume las condiciones necesarias para

¹²³ LEVICK, R. (2001): "Dispuestos a pagar más por las energías ecológicas".

¹²⁴ GARCÍA, X.(1995): "Las Energías Renovables: su papel en la Cooperación y en la elaboración de un Modelo de Desarrollo Sostenible".

¹²⁵ FERRANDO, F.: "Aspectos Económicos", en CIEMAT (1995b): "Principios de Conversión...".

que las energías renovables se incorporen a la oferta energética en las siguientes: madurez tecnológica, comercial e industrial; disponibilidad y recursos; competitividad económica; e inexistencia de condicionantes externos para su aplicabilidad.

En cualquier caso, es esencial el papel desarrollado por los actores sociales, entre los que destacan las autoridades locales y regionales. Por lo que se hace necesario que los diferentes agentes de decisión dispongan de instrumentos de planificación energética regional, que evalúen las potencialidades técnicas y económicas de las energías renovables.

Hay varios proyectos en marcha con el objetivo de diseñar herramientas o sistemas de soporte de decisiones sobre energías renovables para las regiones de los países de la Unión Europea. Todos estos proyectos tienen una serie de características comunes tales como la gran cantidad de datos técnicos y socioeconómicos que manejan; el perseguir metodologías “universales”, aplicables a cualquier región; la utilización de una o varias regiones de prueba; y, especialmente interesante para este estudio, el empleo, como base del método, de Sistemas de Información Geográfica (SIG)¹²⁶.

¹²⁶ Más adelante se aborda con más detalle el estado del conocimiento de la aplicación de los SIG en el estudio de las Energías Renovables y las principales características y posibilidades de interacción entre ambos campos.

3.5. Aspectos ambientales de la integración

Los impactos sobre el medio ambiente de la energía eléctrica están asociados a las actividades de generación, transporte y distribución¹²⁷. Estas actividades generan múltiples impactos de los cuales el IDAE¹²⁸ señala los siguientes:

Los daños más importantes derivados de la utilización, transformación y transporte de la energía suelen estar asociados a las *emisiones atmosféricas contaminantes*¹²⁹, a la *contaminación de los medios acuático y terrestre* y a la *generación de residuos*. (IDAE, 2000b, pág. 13).

Otras afecciones ligadas a las actividades de generación, transporte y distribución de la energía son la utilización del suelo, el ruido, el impacto visual y la pérdida de biodiversidad.

Estos impactos se pueden clasificar, en función del área afectada, en impactos globales e impactos locales. Dentro de los *impactos globales* se incluyen aspectos tales como la lluvia ácida, el cambio climático, la destrucción de la capa de ozono, el aumento del ozono troposférico, la deforestación, los residuos, la contaminación del agua, la pérdida de biodiversidad, la desertificación... En los *impactos locales* se incluyen

¹²⁷ UNESA (1996): "El sector eléctrico español...", págs. 5, 18-19.

¹²⁸ IDAE (2000b): "Impactos ambientales de la producción eléctrica...". Pág. 13-17.

¹²⁹ Principalmente SO₂, CO₂, metales pesados e hidrocarburos.

afecciones como el ruido, la contaminación de suelos o aguas, la ocupación del suelo¹³⁰, el paisaje o la alteración de la flora y de la fauna.

A continuación se desarrollan de forma específica los aspectos ambientales de las energías renovables.

3.5.1. Energías renovables y medio ambiente

Ya se ha abordado anteriormente como las energías renovables presentan unas claras ventajas tanto en los aspectos ambientales (menor impacto en el entorno, ausencia casi total de emisiones atmosféricas...), como en su contribución para reducir la dependencia energética y aumentar la diversificación, así como para contribuir al ahorro de energía primaria convencional¹³¹. Así, se puede considerar que la generación de electricidad con energías renovables presenta tres grandes grupos de **aspectos positivos**¹³² sobre el medio ambiente: la ausencia de *emisiones, vertidos y residuos* durante la generación (a excepción hecha de la geotérmica¹³³ y la biomasa); el *ahorro y la diversificación* energética

¹³⁰ En el punto anterior ya se ha abordado el problema de la incompatibilidad y conflicto en el uso del suelo entre las actividades de generación de energía y otros usos.

¹³¹ UNESA (1996): "El sector eléctrico español...", págs. 93-105.

¹³² En este apartado, el concepto de impacto no es sólo territorial, sino fundamentalmente medioambiental. En este sentido, un impacto positivo es aquel que contribuye a mejorar el medio ambiente o a evitar su deterioro (emisiones evitadas).

¹³³ Respecto al aprovechamiento de la energía geotérmica, Jarabo (1988, pág. 173) señala el conocimiento incompleto de su impacto ambiental, y apunta entre otros los problemas relacionados con la utilización del terreno, la influencia sobre el suelo, los niveles de ruido, la

y el no uso de combustibles fósiles; e importantes *impactos sociales* tales como el empleo, el desarrollo industrial y empresarial y la electrificación de zonas aisladas.

Tabla 3-3: Las energías renovables y el medio ambiente.

Fuente	Impactos positivos	Impactos negativos
Energía solar térmica	No produce emisiones atmosféricas. No genera vertidos líquidos. Evita el uso de combustibles.	Impacto visual sobre el paisaje. Ocupación del suelo.
Energía solar fotovoltaica	Electrificación en condiciones extremas.	Impacto visual sobre el paisaje. Ocupación del suelo. Residuos tras su desmantelamiento.
Energía eólica	No produce emisiones atmosféricas. No genera vertidos líquidos. No produce residuos en la generación.	Impacto visual sobre el paisaje. Avifauna. Ruido. Movimiento de tierras para su instalación.
Geotérmica		Ocupación del suelo: erosión y hundimientos. Agua: contaminación, modificación del régimen hidráulico, disponibilidad para otros usos.
Biomasa	Efecto invernadero. Reforestación.	Contaminación atmosférica asociada a la combustión.

Fuente: UNESA, 1996¹³⁴. Elaboración propia.

Sin embargo, las energías renovables también pueden tener efectos negativos sobre el medio, los cuales se pueden resumir en los siguientes: *emisiones* atmosféricas en el caso de la geotérmica y de la biomasa, si bien esta última, produce muchas menos emisiones que la generación térmica convencional y además tiene un efecto global positivo

contaminación del aire, el uso y la contaminación del agua, la contaminación térmica y sus efectos sobre el clima y la alteración de los ecosistemas.

¹³⁴ UNESA (1996): "El sector eléctrico español...", págs. 95-99.

puesto que la biomasa contribuye a fijar gases como el CO₂; *impacto visual y ocupación del suelo*, ambos impactos están relacionados lógicamente con la escala de la instalación siendo prácticamente inexistentes en el caso de instalaciones aisladas; *impacto sonoro*, sobre todo en el caso de la eólica y la geotérmica; obras de la instalación y *movimientos de tierras*, sobre todo en el caso de la energía eólica e hidráulica; e impacto sobre los *ecosistemas y la biodiversidad*: problemas de impactos de avifauna en el caso de la energía eólica e impactos sobre los ecosistemas acuáticos y riberas en el caso de la energía hidráulica.

Como se puede apreciar, muchos de estos impactos dependen del tamaño de la instalación y, habitualmente, las medidas para su reducción y corrección son simples y sencillas de aplicar.

Tabla 3-4: Emisiones del ciclo de vida de las renovables.

	Cultivos Energéticos		Hidráulica		Solar	Eólica	Geotérmica	
	Tecnología Actual	Tecnología Futura	Pequeña Escala	Gran escala	FV	Térmica Eléctrica		
CO ₂	17-27	15-18	9	3,6-11,6	98-167	26-38	7-9	79
SO ₂	0,07-0,16	0,06-0,08	0,03	0,009-0,024	0,20-0,34	0,13-0,27	0,02-0,09	0,02
NO _x	1,1-2,5	0,35-0,51	0,07	0,003-0,006	0,18-0,30	0,06-0,13	0,02-0,06	0,28

Fuente: IEA, 1998¹³⁵. Datos en gramos por kWh generado.

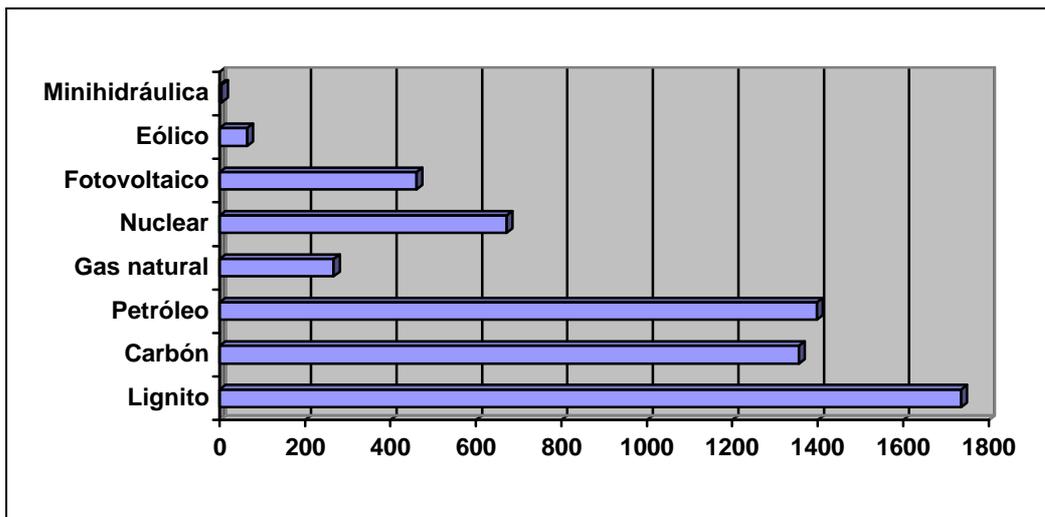
No obstante, la correcta evaluación del impacto ambiental de la energía requiere tomar en consideración no solo los aspectos vinculados

¹³⁵ IEA (1998): "Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables".

a la generación, sino todos los impactos producidos a lo largo de su *ciclo de vida*.¹³⁶

En la Tabla 3-4 se puede apreciar el diferente comportamiento ambiental de varias tecnologías para la producción de electricidad basadas en fuentes de energías renovables, en relación con el análisis del ciclo de vida sobre las emisiones de tres sustancias: CO₂, SO₂ y NO_x. La energía eólica y la hidroeléctrica son las que presentan un mejor resultado.

Ilustración 3-4: Ecopuntos totales por sistema.



Fuente: IDAE¹³⁷, 2000b, pág.24, elaboración propia.

¹³⁶ **El Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** es el "procedimiento para determinar los impactos sobre el medio ambiente de un producto, proceso o actividad, a través de la consideración de todas las fases por las que transcurre, desde la extracción de las materias primas necesarias para su elaboración, hasta su gestión final como residuo" (IDAE, 2000b, "Impactos ambientales de la producción eléctrica...". pág. 20).

¹³⁷ IDAE (2000b): "Impactos ambientales de la producción eléctrica...". La clasificación en ecopuntos, donde la mayor cantidad de los mismos implica un mayor impacto contabilizado a lo largo de todo el ciclo de vida, tiene la gran ventaja de permitir la comparación entre sistemas y situaciones distintas, sin embargo su traducción en términos monetarios es compleja.

Tomando en consideración otras fuentes no renovables de generación de electricidad e incluyendo otros impactos ambientales, además de los atmosféricos, se puede apreciar como el resultado es similar. Así por ejemplo, en un estudio promovido por el Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía (IDAE, 2000b) sobre el *Análisis del Ciclo de Vida* de diferentes tecnologías de generación de electricidad se extraen los resultados de la Ilustración 3-4.

El relativo mayor impacto ambiental de la energía solar fotovoltaica se debe al gran consumo de electricidad que se precisa en la fabricación de los módulos. El avance tecnológico en el diseño y fabricación de células fotovoltaicas permitirá, sin duda, mejorar la eficiencia ambiental de esta fuente.

A modo de resumen, se pueden citar los principales beneficios medioambientales que las energías renovables en su conjunto tienen desde la perspectiva de la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 1998)¹³⁸. En primer lugar, la reducción de emisiones de gases, que en la actualidad se evalúa en un 7% del total de emisiones relacionadas con la energía y que para el año 2020 se puede situar en un 40% de las emisiones actuales de CO₂ (entre 6000 y 9000 Mt); en segundo lugar, la mejora de la calidad del agua en aspectos tales como el bombeo, la desalinización, la gestión de residuos líquidos, evitar la erosión o la simple

¹³⁸ IEA (1998): "Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables".

disponibilidad y regulación; en tercer lugar, la recuperación de tierras y hábitats degradados para su aprovechamiento con cultivos energéticos; en cuarto lugar, la reducción de la polución atmosférica generada por el transporte mediante el uso de combustibles alternativos (p. ej. etanol) y de vehículos eléctricos; en quinto lugar, los aspectos relacionados con la distribución de la electricidad, optimizando y minimizando los impactos derivados de la transmisión y distribución de energía eléctrica; y, por último los beneficios socioeconómicos¹³⁹.

Los impactos producidos por las renovables tienen unas características comunes como son su pequeña escala, son específicos del lugar donde se produce el aprovechamiento y por lo tanto tienen una naturaleza local y suelen implicar una pérdida de calidad del territorio (impacto sobre el paisaje y contaminación acústica).

La IEA señala también la necesidad de reducir los impactos y para ello propone las siguientes medidas: realizar una buena elección de los emplazamientos atendiendo a aspectos como la calidad paisajística, realizar una evaluación de impacto ambiental, usar la mejor tecnología disponible en cada momento, evaluar los beneficios e impactos a escala local, regional y global, incluir en la planificación la información pública y

¹³⁹ *Los principales beneficios socioeconómicos son: la diversificación y seguridad de la oferta, así como la estabilización de precios, el empleo rural, la descentralización de los mercados energéticos, el desarrollo económico por la independencia de los combustibles fósiles y la electrificación de comunidades rurales y países en desarrollo.*

las organizaciones relevantes¹⁴⁰ y demostrar los beneficios a las poblaciones afectadas.

Por último, señala como principales grupos de impactos los siguientes: los conflictos en los usos del suelo, la intrusión visual y el deterioro de los paisajes, el impacto acústico y los daños sobre los ecosistemas.

A continuación se analizan con mayor detalle los impactos ambientales de las grandes instalaciones de generación de electricidad con renovables (parques eólicos, centrales hidroeléctrica y centrales termoeléctricas con biomasa) para, seguidamente, estudiar los impactos de las aplicaciones descentralizadas (fotovoltaicas y eólicas), a fin de obtener una perspectiva de la diferente magnitud, tipología y características ambientales de ambas formas de generación con FER.

3.5.2. Parques eólicos

El estudio realizado por C. Lago (1993)¹⁴¹ sobre los parques eólicos españoles define las siguientes categorías de impactos: efectos sobre las aves, ruido e impacto visual.

¹⁴⁰ *La conveniencia de descentralizar la planificación de las instalaciones renovables, así como de contar con la población afectada, ha sido puesta de relieve por Lago et al. (1993) en su estudio sobre los impactos ambientales y sociales de diferentes parques eólicos españoles. No obstante, salvo en casos como el Plan eólico de Navarra, estos aspectos no constituyen una práctica habitual ni bien desarrollada en la planificación de estas instalaciones en España.*

¹⁴¹ LAGO, C. et al. (1993): "Study of environmental aspects...", págs. 7-8.

Respecto al impacto sobre la **avifauna** la autora destaca que este dependerá del tamaño y de la velocidad de rotación de las palas. Así mismo, señala que no se han detectado impactos importantes en los parques españoles. No obstante, para la mitigación de este impacto se hacen necesarias medidas tales como la elaboración de censos de aves y el conocimiento de los patrones migratorios. Además, el mayor impacto lo producen las líneas aéreas de evacuación de la energía, lo que hace aconsejable, en algunos casos, su soterramiento.

Ilustración 3-5: Vista del Parque Eólico de la Higeruela.



Foto cortesía de Juan María Tortosa.

El grado de **contaminación acústica** dependerá de cuatro factores: el ruido producido por la operación de los aerogeneradores, la posición de los mismos, su distancia a la población y el ruido de fondo en

el área del parque. El ruido generado por un aerogenerador¹⁴² proviene de dos fuentes. Una es el *ruido mecánico* procedente de los elementos que componen la máquina, este tipo de ruido es fácilmente reducible. La otra es el ruido de *naturaleza aerodinámica* producido por la rotación de las palas y cuya corrección es mucho más compleja.

La **intrusión visual** de un parque eólico sobre el paisaje es sin duda alguna el impacto más frecuentemente destacado en todos los estudios, sin embargo es el más difícilmente cuantificable y el menos investigado. La percepción visual de un paisaje es altamente subjetiva. Los principales efectos visuales de un parque eólico dependen del proceso de percepción del observador, del propio paisaje (topografía, construcciones, vegetación y climatología) y de las características de los aerogeneradores (tamaño, altura, material y color).¹⁴³

Sin embargo, según las conclusiones del estudio realizado por I. Cañas (1998)¹⁴⁴, el impacto sobre el paisaje de un parque eólico es inferior al impacto producido por las instalaciones agrarias.

¹⁴² LAGO, C. (1995): "Aspectos medioambientales" en CIEMAT: "Principios de conversión de la energía eólica", pág. 23.20.

¹⁴³ Como se puede apreciar en la ilustración 2-6, la proximidad del Parque Eólico de la Higeruela al núcleo urbano produce un fuerte impacto visual, sin embargo este no siempre es percibido como algo negativo y, en ocasiones, pasa a incorporarse como un elemento más del paisaje funcional, reflejando cierto nivel de "inquietudes" por la mejora de la calidad de vida en núcleos rurales.

¹⁴⁴ I. CAÑAS et al. (1998): "Comparative of visual impact on agricultural constructions and windfarms in Spain", en Ratto y Solari (1998) "Wind Energy and Landscape".

No obstante, esta visión responde sólo a una concepción de impacto visual sobre el paisaje, que no entra a evaluar los posibles conflictos de usos generados por las instalaciones eólicas. Así, desde el simple aprovechamiento del paisaje como objeto de consumo a los conflictos con actividades de ocio y esparcimiento, el desarrollo indiscriminado de este tipo de instalaciones puede llegar a suponer una pérdida de recursos locales, lo que hace imprescindible el uso de una correctas prácticas planificadores que contemplen las necesidades y opiniones de todos los agentes implicados y de la población local, evitando actitudes de rechazo como las que recientemente se han producido en Castilla y León.

En menor escala, como ya se ha apuntado anteriormente, los parques eólicos presentan impactos sobre el **suelo** y la **flora** debidos fundamentalmente al movimiento de tierras realizado para su construcción. Estos impactos son, obviamente, de fácil corrección.

Como conclusión, la producción de energía en parques eólicos no genera contaminación del aire, agua o suelo, utiliza un recurso renovable, tiene una baja ocupación del suelo y un leve impacto ambiental. Además, estos impactos tienen un efecto localizado y un carácter reversible, superable, en muchas ocasiones, con pequeñas correcciones técnicas¹⁴⁵.

¹⁴⁵ LAGO, C. (1995): "Aspectos medioambientales" en CIEMAT: "Principios de conversión de la energía eólica", pág. 23.23.

3.5.3. Centrales hidroeléctricas

Ya se ha señalado anteriormente que la energía hidráulica suele dividirse en **energía minihidráulica** y en medianas y grandes centrales hidroeléctricas. Como señala Mercedes Molina (1980 y 1990)¹⁴⁶, las pequeñas centrales hidroeléctricas cayeron en una gran decadencia hasta la década de los 70 debido fundamentalmente a su escasa competitividad económica y funcional. A partir de los 80 se producen una serie de acciones por parte de la Administración que tratan de relanzar el aprovechamiento de estas centrales en nuestro país.

Los impactos ambientales asociados a las centrales minihidráulicas son similares a los de las centrales de mayor tamaño. Sin embargo, la magnitud del impacto de estas pequeñas centrales es muy inferior, por lo que las medidas correctoras son mucho más sencillas y eficaces (UNESA, 1996).¹⁴⁷

La producción de energía en **centrales hidroeléctricas**¹⁴⁸ produce impactos ambientales que se manifiestan tanto en el entorno, como en la alteración del caudal y en la modificación de las riberas. A continuación se revisan algunas de las principales afecciones para los diferentes tipos de centrales: agua fluyente, regulación, bombeo y acumulación.

¹⁴⁶ MOLINA, M. (1980): "La producción de energía eléctrica en Aragón", y M. Molina y E. Chicharro (1990): "Fuentes de energía y materias primas".

¹⁴⁷ UNESA (1996): "El sector eléctrico español...", págs. 99-100.

Las *centrales de agua fluyente* producen una modificación del caudal del río desde el lugar de la captación hasta el salto. También afectan a las laderas las obras de construcción de las conducciones de captación, las vías de servicio y la propia central, pudiendo tener efectos negativos tanto de erosión de las propias laderas como de impacto visual.

Las *centrales de regulación* también producen importantes variaciones, incluso diarias, en el caudal del río, afectando a las comunidades y ecosistemas del mismo.

Las *centrales de bombeo* en lagos de montaña producen perturbaciones debido a las bruscas oscilaciones del nivel y la temperatura del agua. Estas perturbaciones tienen consecuencias negativas tanto para la calidad del paisaje como para los ecosistemas de márgenes y riberas.

Las *centrales de acumulación* implican el embalsamiento del agua y tienen un efecto directo sobre la calidad de las mismas. Además la turbinación afecta al ciclo térmico de los ríos. Otros efectos ambientales del embalsamiento son la alteración en el transporte de materiales, la barrera para las migraciones de salmónidos y las modificaciones producidas en los cauces aguas abajo del embalse.

¹⁴⁸ UNESA (1996): “El sector eléctrico español...”, págs. 51-61.

Los principales efectos ambientales de los *embalses* son la eutrofización, el aterramiento y la estratificación térmica. Otros efectos ambientales no ligados a la calidad de las aguas son los relacionados con la reproducción y migración de la fauna acuática y terrestre, la creación de zonas húmedas y oscilaciones en el nivel del agua, las modificaciones del nivel de base y la erosión de laderas y las repercusiones socioeconómicas: sistema territorial, impacto sobre la población e impacto económico.

Las principales afecciones sobre el *sistema territorial* se refieren a la modificación del sistema de relaciones territoriales, cambios en la distribución y modificación de los usos del suelo determinadas por los embalses y cambios en la distribución de los núcleos y la red viaria afectados por el embalse.

3.5.4. Centrales eléctricas con biomasa¹⁴⁹

El impacto de la producción de electricidad con biocombustibles sobre el medio ambiente puede ser analizado desde varias perspectivas. Por un lado, y atendiendo al origen del impacto a lo largo del *ciclo de vida* de la tecnología, se puede dividir en dos niveles: impactos producidos en la producción y preparación de los biocombustibles e impactos producidos en su utilización. Por otro lado, atendiendo a sus efectos, se puede

¹⁴⁹ Se toma como base de este punto el estudio de J. Carrasco (1996): "Aspectos medioambientales...", 40 pág.

estudiar desde varios puntos de vista: la emisión de gases a la atmósfera y su relación con el efecto invernadero, la emisión de efluentes líquidos y sólidos y su efecto sobre las aguas y el suelo, y las afecciones sobre la biosfera, tanto al nivel de suelo (erosión y pérdida de fertilidad) como en la pérdida de biodiversidad.

La producción de **CO₂**, derivada de la combustión de biomasa, presenta un balance prácticamente neutro en su relación con el **efecto invernadero**; pudiendo, incluso, jugar un papel importante en el control y disminución de las emisiones de este gas procedentes de la generación energética. Esto se debe a que el incremento de biomasa (relacionado sobre todo con la reforestación y el aprovechamiento de tierras baldías) tiene un importante efecto *sumidero* durante el crecimiento de las especies forestales¹⁵⁰ y a que la sustitución de combustibles fósiles por biomasa en la generación de electricidad evita emisiones de CO₂, ya que las emisiones producidas por la biomasa son considerablemente inferiores (ver Tabla 3-5).

Otro aspecto a tener en cuenta en la emisión de CO₂ es la liberación de este gas en la fase de pretratamiento y, especialmente, durante los procesos de *secado natural y almacenaje*¹⁵¹. Es por tanto de gran importancia optimizar este proceso para reducir al mínimo las

¹⁵⁰ Otros posibles "sumideros" son la utilización de acuíferos o de pozos abandonados de petróleo, pero su coste es muy superior.

¹⁵¹ Lógicamente también hay emisiones de CO₂ en las fases de producción y transporte.

perdidas energéticas y las emisiones de CO₂ (CARRASCO, 1996, pág. 16-17).

Por otro lado, la combustión de biomasa produce otras emisiones atmosféricas que son, principalmente¹⁵², **partículas e hidrocarburos volátiles**. Si bien su problemática depende en gran medida de la tecnología de combustión utilizada y de las medidas de control y corrección puestas en marcha (filtros). En este sentido, las grandes centrales de biomasa (> 10 MW) son las que poseen unos sistemas más eficientes, lo cual se refleja en una reducción muy importante de las emisiones de CO y NO.

Tabla 3-5: Valores típicos de emisiones de diferentes combustibles fósiles.

Combustible	S (%)	SO _x (g/GJ)	NO _x (g/GJ)	Partículas ¹⁵³ (g/GJ)	CO ₂ (Kg/GJ)
Hulla	0,9	584	200	1100	102
Fuel Oil	1,0	495	150	60	74
Gas Oil	0,2	90	100	0.5	74
Gas Natural	0	0	150	0	57
Paja	<0,1	130	130	1100	0
Madera	<0,1	130	130	500	0

Fuente: Carrasco, 1996, pág. 15.22.

En la Tabla 3-5 se puede apreciar cual es el comportamiento de la biomasa en comparación con diferentes combustibles fósiles respecto a las principales emisiones.

¹⁵² Las concentraciones de dioxinas y furanos son prácticamente despreciables en la biomasa natural (CARRASCO, 1996, pág. 21).

J. Carrasco (1996, pág. 23) expone una valoración global de las emisiones atmosféricas producidas por la biomasa:

“(…) la combustión de biomasa en grandes centrales no representa problemas de relevancia en lo que a cumplimiento de la normativa de emisiones se refiere (...) un buen control de las condiciones de proceso en combinación con la existencia de elementos filtrantes comunes tales como ciclones y electrofiltros o filtros de mangas, son suficientes para, en general, asegurar una combustión limpia, con unos niveles globales de emisiones muy inferiores a los del carbón, incluso de buena calidad, y fuelóleo”.

Respecto a la emisión de **efluentes líquidos y sólidos** en la fase de combustión, las cantidades generadas son, en general, pequeñas. Los efluentes líquidos son básicamente productos orgánicos tóxicos procedentes de la limpieza de gases. Tienen una producción muy localizada y su tratamiento es sencillo y eficaz. Los efluentes sólidos están constituidos por la deposición de las partículas emitidas a la atmósfera y por las cenizas recogidas en los sistemas de filtraje y los restos de la combustión. Estas cenizas pueden llegar a ser utilizadas para fertilizar tierras de cultivo.

También las fases de producción, transporte y pretratamiento pueden producir efluentes que son mucho más significativos en el caso de cultivos energéticos que de utilización de biomasa residual. El impacto de estas emisiones dependerá de las condiciones locales (suelo, clima...) y de las características propias de los cultivos, si bien uno de los criterios de selección de especies energéticas debe ser su rusticidad o escasa

¹⁵³ Los valores son los de las emisiones a la salida de la caldera. Estos valores se reducen notablemente con el uso de ciclón o electrofiltro.

exigencia en cuanto a agua, clima o nutrientes. Esto implica que es necesario definir la idoneidad local de un cultivo tomando en cuenta su particular comportamiento ambiental.

Otros efectos medioambientales son los relacionados con la **erosión y fertilidad** del suelo y la pérdida de **biodiversidad**.

La erosión del suelo está relacionada con las labores agroforestales que necesita la biomasa. Sin embargo, habitualmente su impacto es menor que el de las tareas agrícolas convencionales. Además, en muchos casos, la reforestación con biomasa de tierras abandonadas y marginales tiene un efecto beneficioso sobre el suelo, tanto al nivel de protección del mismo frente a la erosión como en el aporte de nutrientes que mejoran su fertilidad. En este sentido, la retirada de residuos es también una vía importante para la prevención de incendios forestales evitando así las consecuencias sobre la erosión del suelo y el arrastre de nutrientes.

Respecto a la pérdida de biodiversidad, J. Carrasco señala lo siguiente:

"(...) el grado de conocimiento actual indica que, a salvo de los efectos medioambientales negativos pudiera causar las futuras especies seleccionadas o la utilización de métodos de explotación y gestión inadecuados de los recursos de biomasa, los sistemas de producción de biomasa para energía no están, por principio, reñidos con la preservación de la biodiversidad. Por el contrario, las características de rusticidad y bajos *inputs*, en general, del cultivo de especies agroenergéticas, vienen a poner un toque esperanzador a la posibilidad de que la implantación de tales especies en el actual medio rural pudiera ser un elemento favorecedor para el desarrollo de la biodiversidad misma." (J. Carrasco, 1996, pág. 38).

En conclusión, la biomasa es una forma de energía más limpia que los combustibles fósiles que puede contribuir a mejorar tanto el medio ambiente como las características del medio rural.

Respecto al impacto ambiental de las **aplicaciones descentralizadas** de generación de electricidad con renovables ¹⁵⁴, a continuación se hará especial hincapié en su papel la producción descentralizada de electricidad y los sistemas aislados. En este sentido, la importancia de los aspectos medioambientales en la integración de cualquier tecnología energética hace que se dedique este apartado a analizar los impactos ambientales positivos y negativos de las tecnologías fotovoltaica¹⁵⁵ y eólica para aplicaciones rurales.

¹⁵⁴ Los aspectos aquí tratados se describen en AMADOR, J. (2000) "Integración regional...", págs. 22-25.

¹⁵⁵ El punto anterior no aborda de forma específica los aspectos medioambientales de la energía solar fotovoltaica, los cuales se desarrollan más en profundidad en este apartado. Esto es debido a que en la actualidad son muy escasas las grandes instalaciones de esta tecnología y en ningún caso son comparables en términos de potencia a las aplicaciones estudiadas anteriormente. Estos mismos aspectos han sido tenidos en cuenta para no incluir en el apartado anterior a la producción de electricidad con energía solar térmica.

3.5.5. Instalaciones fotovoltaicas aisladas¹⁵⁶

El conjunto de los aspectos ambientales relacionados con las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica es extraordinariamente positivo, teniendo en general efectos beneficiosos de cara al entorno, tanto en la comparación con otras posibles alternativas de aprovisionamiento energético como directamente por los beneficios generados en las propias aplicaciones.

No obstante su aplicación presenta efectos potencialmente **negativos** en los siguientes aspectos: los materiales utilizados, el proceso de fabricación, la salud y la seguridad, la reposición de baterías, los usos del suelo y el impacto visual.

Los impactos relativos a los materiales utilizados en la fabricación de módulos derivan de la necesidad de industrias extractivas para la obtención de los mismos, si bien, estos impactos son muy limitados, ya que las células fotovoltaicas están constituidas por silicio, que es, después del oxígeno, el material más abundante de la corteza terrestre, no siendo necesario explotar yacimientos localizados de forma intensiva.

La fabricación de células fotovoltaicas requiere grandes cantidades de varios gases, algunos de ellos altamente tóxicos e inflamables. La

¹⁵⁶ Respecto a las aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en el medio rural se pueden consultar entre otras las siguientes referencias IDAE (1996): "Energía solar fotovoltaica" y COM DG XVII (1994): "Prospects for renewable energy...".

emisión en condiciones normales de operación puede ser reducida de forma eficiente a través de procesos de tecnologías de depuración e incineración, a niveles que no deberían plantear problemas de salud a trabajadores y público.

Durante la instalación y mantenimiento de un sistema fotovoltaico hay riesgo de shock eléctrico, ya que los paneles al recibir la luz solar comienzan a generar electricidad inmediatamente. Una puesta a tierra adecuada de las instalaciones, así como protecciones apropiadas, junto con una organización de los trabajos pueden minimizar este riesgo.

El cambio de baterías debe realizarse con sumo cuidado, ya que contienen elementos que pueden ser muy perjudiciales para el entorno. Lo más apropiado es depositarlas en instalaciones dedicadas al tratamiento de las mismas o en “puntos limpios” del municipio.

La superficie necesaria para instalaciones fotovoltaicas de una dimensión media, no es significativa como para poner en duda su implantación por consumo de suelo. Este suelo generalmente contaría con escasas aplicaciones para un uso alternativo. Por otra parte, la posibilidad de integrar los paneles en tejados, fachadas, etc., minimiza este efecto.

Las distintas posibilidades de instalación de los paneles, hacen de éstos un elemento fácil de integrar y armonizar en diferentes tipos de estructuras, minimizando su impacto visual. En el caso de instalaciones de electrificación de nuevos edificios, el impacto visual es prácticamente

nulo. Pero en la electrificación rural los paneles fotovoltaicos, colocados sin empotrar en los tejados de casas de arquitectura típica del lugar, producen un impacto visual no despreciable.

La energía solar fotovoltaica (ESFV) presenta impactos positivos tanto ambientales como sociales. En el primer caso hay que considerar la ausencia de contaminación del aire, del agua o del suelo, así como la sustitución de elementos y fuentes con mayor impacto (tendidos eléctricos, generadores diesel...). En el segundo caso, la ESFV puede contribuir a mejorar las condiciones de vida y de trabajo en zonas rurales, evitando el despoblamiento.

La generación de energía eléctrica directamente a partir del sol no requiere ningún tipo de combustión, lo cual implica que no se produce ni contaminación térmica directa ni emisiones de CO₂. Además, la ausencia de tendidos eléctricos¹⁵⁷ evita los daños sobre la avifauna y la vegetación. En aplicaciones aisladas las instalaciones fotovoltaicas sustituyen en muchos casos a generadores alimentados por combustibles fósiles que, además de contribuir al efecto invernadero, tienen un impacto no desdeñable por ruido. Tampoco producen contaminación de acuíferos o de aguas superficiales ni por consumo, ni por contaminación por residuos o vertidos. Así mismo, la incidencia sobre las características fisicoquímicas del suelo o su erosión es nula, ya que no se producen

¹⁵⁷ Estas ventajas hacen a las instalaciones fotovoltaicas especialmente interesantes para aplicaciones en entornos de alto valor ecológico.

contaminantes, ni vertidos, ni son necesarios grandes movimientos de tierra, ni grandes obras.

En el caso de la electrificación rural, la ESFV contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes, incidiendo positivamente a mejorar las condiciones de trabajo y aumentar la rentabilidad de las explotaciones. Este hecho puede contribuir a la disminución del despoblamiento de las zonas rurales. Junto a ello, la ESFV puede actuar como generador de empleo, sobre todo en el diseño e instalación de los sistemas de electrificación de viviendas aisladas.

Como conclusión, indicar que se están introduciendo sistemas destinados directamente a la protección del medio ambiente, que únicamente son posibles gracias a la energía solar fotovoltaica, como pueden ser sistemas de detección de incendios, sistemas de oxigenación de aguas, etc.

3.5.6. Instalaciones eólicas aisladas

El impacto ambiental de instalaciones eólicas es un tema de gran actualidad debido al número de parques eólicos instalados, pero el impacto de las pequeñas turbinas eólicas, empleadas en producción descentralizada de electricidad, es totalmente diferente debido al tamaño mucho menor y a que no se instalan de forma agrupada.

Las pequeñas turbinas eólicas presentan las ventajas ambientales del resto de los recursos renovables, como es la producción limpia de

electricidad sin emitir gases, ni emplear agua, ni producir residuos de forma significativa.

Como en el caso de los sistemas fotovoltaicos los principales impactos ambientales están asociados a la producción de los equipos. Para hacer un planteamiento riguroso y poder comparar con otras fuentes energéticas debe realizarse el análisis de ciclo de vida de un aerogenerador. Estos se han realizado para aerogeneradores de potencias medias, pero no para los de pequeña potencia. A pesar de lo anterior, se puede decir que los materiales más problemáticos de un pequeño aerogenerador son el PVC y los lubricantes. Estos últimos muy reducidos en los minigeneradores respecto a los de mayor potencia debido a la ausencia de multiplicador. Estos materiales deberían ser sustituidos por “materiales renovables” (plásticos y lubricantes biodegradables, etc.) o, si es posible, evitarlos en el diseño.

De dicho análisis se deduce, como por otra parte es evidente, que las emisiones atmosféricas son debidas exclusivamente al empleo de combustibles fósiles en la fabricación de las distintas partes de un aerogenerador y en el transporte del mismo hasta el lugar de instalación.

El empleo de instalaciones eólicas en la producción descentralizada de electricidad puede generar mejoras sociales y económicas. En primer lugar y, al igual que para las instalaciones fotovoltaicas, la disponibilidad de energía eléctrica aumentará el nivel de vida. Por otra parte, el empleo de estas instalaciones facilitará la creación

de una infraestructura de distribución, instalación y mantenimiento, que será favorable para el empleo local.

En la actualidad el empleo en el área de fabricación e investigación de pequeñas turbinas eólicas en Europa es del orden de unos pocos cientos de personas. La generación de empleo en cuanto a la realización de las instalaciones está normalmente asociada a instaladores eléctricos convencionales, que además realizan el mantenimiento de dichas instalaciones.

En cuanto a los **impactos negativos**, los de ocupación de suelo y, por tanto sobre la vegetación, serán despreciables. No se ha detectado ningún impacto sobre las aves de estos minigeneradores, aunque podrían tener algún efecto perturbador por emisión de ruido y cuerpo en movimiento sobre una zona de nidificación cercana, pero la necesidad de que la turbina no esté afectada por ningún obstáculo hace improbable este tipo de situaciones.

El impacto por ruido si puede ser notable, debido a la necesidad de la cercanía del minigenerador al receptor y a su elevada velocidad de giro. Respecto al impacto visual debido a que estos aerogeneradores se instalan de forma aislada, no dan lugar a un impacto apreciable, aunque este tema es subjetivo. El desarrollo de comunidades ecológicas (“ecoaldeas”) en distintas zonas parece indicar que el impacto visual de una turbina eólica es “positivo” ya que induce a la curiosidad de quién por allí pasa para visitar estos lugares.

Por último, señalar el riesgo de caída de la torre, rotura de pala, riesgos asociados a la corriente eléctrica (por ejemplo: manipulación, caída de rayo), etc. sobre la seguridad de las personas. Todos estos riesgos son muy pequeños si los diseños y las instalaciones se realizan con un cuidado mínimo.

3.6. La demanda social de energías limpias

La búsqueda de un nuevo modelo energético, compatible con un desarrollo económicamente sostenible y socialmente integrador, pasa, tal y como nuevamente se ha podido comprobar en la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo¹⁵⁸, por un apoyo decidido a la integración de las energías renovables.

Ya se ha indicado anteriormente que, frente a la idea de las renovables como alternativa al petróleo característica de los 70, hoy en día predominan los criterios medioambientales y la demanda social¹⁵⁹ como motores de su integración en el sistema energético.

¹⁵⁸ <http://www.un.org/spanish/conferences/wssd/index.html>

¹⁵⁹ PRADES, A. y C. LAGO (2001) en "Aspectos Medioambientales y percepción social...", destacan la importancia del apoyo social a las renovables y, en especial, el apoyo recibido por la energía eólica.

La demanda social de las fuentes de energías renovables, percibidas como seguras y no contaminantes¹⁶⁰, empieza a cuajar en la década de los 80, ya que, como señala Menéndez (2001, pág. 102)¹⁶¹:

“La sociedad va tomando conciencia de los problemas ambientales unidos a los usos energéticos y, desde los medios de comunicación, se transmiten mensajes a favor de estas nuevas tecnologías renovables como solución al menos parcial”.

Este mismo autor (MENÉNDEZ, 1996)¹⁶² también señala que la aceptación social de las energías renovables pasa por tres **factores** que le son característicos: la estabilidad de los precios, la seguridad en el suministro y el menor riesgo ambiental.

Por su parte, R. Sáez (1999) destaca la importancia de aspectos sociales tales como la provisión de servicios energéticos en zonas rurales y el aumento del nivel de empleo en áreas deprimidas¹⁶³; señalando el empleo, el incremento del PIB y de la recaudación impositiva como los impactos socioeconómicos más habituales (SÁEZ, 1999, págs. 12-14). Así mismo destaca el *efecto multiplicador* de la inversión realizada, la generación neta de empleo y el no agotamiento de recursos energéticos.

¹⁶⁰ Esta es una de las principales razones para la aceptación social de las renovables. En este sentido, un reciente estudio sobre la aceptación de la energía eólica en la región de Murcia refleja como la mayoría de los residentes en la zona de ubicación de un parque eólico consideran como principal motivo para preferir las renovables su carácter menos contaminante (Ramírez, 2000, pág. 62).

¹⁶¹ MENÉNDEZ, E. (2001): “Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo”.

¹⁶² MENÉNDEZ, E. (1996): “El reto de las energías renovables...”.

¹⁶³ SÁEZ, R. et al. (1999): “Costes y beneficios externos de la energía...”, pág. 25.

Esta misma autora señalaba también en una obra anterior¹⁶⁴ como las energías renovables contribuyen al desarrollo social y económico y, especialmente, a la generación de empleo rural; fomentan la recuperación de tierras abandonadas con sus implicaciones no sólo ambientales sino también socioeconómicas; reducen las emisiones atmosféricas con los consiguientes beneficios para la salud; contribuyen a la diversificación e independencia energética; y generan un nuevo tejido industrial tecnológico.

La energía eólica es un caso característico de la importancia que tiene la **información pública** en la aceptación por parte de la sociedad de la tecnología. En este sentido, J. Amador (1999)¹⁶⁵ señala

“la importancia que tiene informar sobre todos los aspectos de la instalación de un parque eólico y en concreto, exponer los objetivos, realizar una descripción general del proyecto fácilmente comprensible para el público, la cronología de realización, las cualidades y ventajas de la energía eólica y el estudio de impacto ambiental”.

En este mismo sentido, Ana Prades y Carmen Lago (2001) destacan, siguiendo las recomendaciones de la EWEA¹⁶⁶, la importancia del diálogo y las consultas con los colectivos involucrados, y más concretamente, con las autoridades, comunidades y grupos sociales

¹⁶⁴ SÁEZ, R.(1995): “*Externalidades de energías renovables*”, págs. 2-5.

¹⁶⁵ AMADOR, J.(1999): “*Evaluación del impacto ambiental de parques eólicos*”, pág. 32.

¹⁶⁶ EWEA (European Wind Energy Agency): “*European best practice guidelines for wind energy development*”.

locales, y remarcan la relación existente entre los aspectos medioambientales y la percepción social de los mismos.

“(…) la forma de presentar un proyecto eólico a la comunidad afectada resulta crucial: cuando desde un primer momento se han comentado y debatido los puntos críticos con la comunidad afectada los problemas han podido superarse”. (PRADES, 1997, pág. 168)¹⁶⁷.

Como se apuntaba más arriba, la percepción que tiene la sociedad de las energías renovables es muy positiva. En países como Canadá, Dinamarca, Holanda, Reino Unido o Estados Unidos, una gran parte de la población es partidaria de estas fuentes de energía. Esta opinión se apoya en criterios¹⁶⁸ tales como la percepción de las energías renovables como una alternativa a otras fuentes convencionales; el peligro del cambio climático; y el carácter no contaminante, seguro e ilimitado del recurso.

Frente a ello, los principales aspectos negativos¹⁶⁹ percibidos por la sociedad son que las energías renovables no pueden resolver por sí solas el problema energético; la falta de fiabilidad de los sistemas; el precio; el impacto sobre el paisaje y el ruido. Como se puede apreciar, los criterios de fiabilidad, coste e impacto son comunes a la mayoría de los estudios de aceptación social de las renovables.

¹⁶⁷ PRADES, A. (1997): “Energía, tecnología y sociedad”.

¹⁶⁸ PRADES, A. y LAGO, C. (2001): “Aspectos Medioambientales y percepción social...”.

¹⁶⁹ En algunos casos, esta percepción negativa va asociada al llamado efecto NIMBY o rechazo social por vecindad.

La difusión de esta tecnología en el ámbito de la cooperación al desarrollo debe, igualmente, contar con estos aspectos. Además, en las aplicaciones descentralizadas, habrá que tener un buen conocimiento de las condiciones existentes y de los problemas que quieren ser resueltos con las renovables. Junto a ello, habrá que desarrollar actividades formativas y de promoción de la tecnología¹⁷⁰.

En el estudio desarrollado en la pasada década sobre la percepción social de la energía eólica en algunos parques españoles y su comparación con el resto de los países de la Comunidad Europea (PRADES, 1997)¹⁷¹, se destaca el escaso grado de conocimiento español sobre la energía eólica y sus aplicaciones en comparación con el resto de la Unión Europea. Igualmente, la valoración de la energía eólica por los españoles es distinta al resto de la comunidad, destacando en el caso de España el valor de los beneficios directos y a corto plazo sobre la localidad frente a las ventajas a escala global y a largo plazo. El estudio también señala como el impacto sobre el paisaje y el ruido no se consideran temas prioritarios en España, donde la actitud general hacia la eólica es menos favorable que en el resto de la Unión Europea.

Como conclusión, es necesario resaltar que la demanda social de las energías renovables se basa en la percepción de estas como un

¹⁷⁰ SUHARTA, H. et al. (1999): "The social acceptability ...".

¹⁷¹ PRADES, A. (1997): "Energía, tecnología y sociedad", págs. 219-221.

elemento ambientalmente positivo y compatible con el *desarrollo sostenible*. El mantener esta visión positiva, evitando conflictos muchas veces innecesarios, es una tarea fundamental para conseguir una integración plena de estas fuentes en el sistema energético. Para ello es necesario potenciar dos factores: la participación ciudadana y la información pública, ya que como señala Ana Prades (1997, pág. 227):

“(...) la participación activa de la sociedad en el debate energético es crucial, y no afecta únicamente al futuro de la energía eólica, sino a la plena consolidación del nuevo modelo energético y de la nueva sociedad postindustrial”.

A continuación se examina con más detenimiento cual es el papel de los individuos como usuarios de estas nuevas tecnologías energéticas.

3.6.1. El papel del usuario en las aplicaciones descentralizadas

Uno de los aspectos fundamentales para la aceptación de las renovables por parte de la sociedad es el de la *fiabilidad*. En este sentido es fundamental el papel del consumidor en cuanto usuario de estos sistemas¹⁷².

Los consumidores de productos energéticos renovables pueden considerarse con toda propiedad usuarios debido a la relación que establecen sus actividades con estos productos. Por tanto, el éxito de un proyecto de este tipo está determinado por el comportamiento de estos

¹⁷² AMADOR, J. et al. (2000): “Integración regional...”, págs. 25-28.

usuarios. El conocimiento de sus necesidades presentes y futuras será fundamental. Este es un punto clave, ya que la eficiencia última del sistema dependerá del empleo que de él haga el usuario.

Para las instalaciones fotovoltaicas y eólicas aisladas, debido a la gran aleatoriedad del suministro energético, es necesario almacenar energía en acumuladores. Estas características dan lugar a una serie de condicionantes en el consumo que deben ser tenidos en cuenta por el usuario. En general el usuario debe conocer los principios de funcionamiento de la instalación con objeto de prevenir problemas de suministro, perjuicios para el rendimiento de la instalación e, incluso, daños a los equipos. En concreto, el usuario debe de tener en cuenta¹⁷³ que la energía que se puede consumir es limitada, adaptando el consumo a las condiciones diarias y estacionales y extremando las medidas de eficiencia y ahorro energético, evitando el uso de aparatos eléctricos sobredimensionados y escasamente eficientes. Por estas razones, es evidente que el usuario debe recibir un cierto entrenamiento en el uso racional de la energía.

Las tareas de *mantenimiento* que el usuario debe realizar en una instalación de electrificación aislada suelen consistir en el remplazamiento de las lámparas y la limpieza de los paneles (en el caso de instalaciones fotovoltaicas). Otras perspectivas incluyen también el control del nivel de

¹⁷³ IDAE (1996): "Energía solar fotovoltaica" y BOJA (1995): " Orden de 8 mayo de 1995...".

electrolito y el chequeo de la instalación eléctrica. En el estudio de Aguilera (1995)¹⁷⁴, se establecen tres niveles de capacitación para el mantenimiento de una instalación fotovoltaica, indicando el funcionamiento de una “cadena de mantenimiento” en el proyecto base del estudio. En este documento también queda justificado que el coste de mantenimiento de instalaciones fotovoltaicas aisladas dista mucho de ser despreciable.

Una de las experiencias más significativas en el ámbito de los usuarios es la de la asociación Serveis Energètics Bàsic Autònoms (SEBA) que fue creada por 35 usuarios de instalaciones fotovoltaicas en Cataluña, para compartir experiencias y buscar aplicaciones de alta eficiencia. Posteriormente, esta asociación ha llevado a cabo varios proyectos de electrificación fotovoltaica en Cataluña, llegando a cerca de 250 asociados en 1997 y más de 120 kW_p instalados. En la actualidad, SEBA no sólo suministra apoyo para la realización de la instalación sino que realiza un servicio energético completo una vez el sistema fotovoltaico está en operación. Esto incluye el mantenimiento de la instalación, el cual se realiza a tres niveles: usuario, técnico local y consultor¹⁷⁵.

¹⁷⁴ AGUILERA, J. (1995): “Energía solar fotovoltaica en el ámbito de la cooperación al desarrollo”, págs. 132-137.

¹⁷⁵ El usuario realiza la inspección de parámetros de operación y nivel del electrolito en baterías; el técnico local realiza el mantenimiento preventivo y la reparación y recogida de datos; y,

El plan global de electrificación FV de Stöhr (1996)¹⁷⁶ considera los mismos escalones de mantenimiento, con tareas de nivel técnico bajo, medio y alto. Las primeras se realizarán por el propio usuario y consistirán básicamente en la limpieza de los módulos y sustitución de luminarias. En las de nivel medio y alto se necesitará la presencia de personal técnico cualificado.

3.6.2. Energías Renovables y empleo

Uno de los factores sociales más relevantes en el desarrollo de las nuevas tecnologías de aprovechamiento de las energías renovables es su papel generador de empleo. Empleo que en numerosas ocasiones tiene un carácter industrial, descentralizado o distribuido y rural.

La Agencia Europea de la Energía Eólica (EWEA) estima que por cada megawatio eólico instalado se generan seis nuevos puestos de trabajo y que por cada mil GWh producidos hay 275 puestos de trabajo en operación y mantenimiento¹⁷⁷.

Por su parte, el Plan Eólico de Navarra estima que su desarrollo generará en esta comunidad unos 800 empleos, de los que más de un 70% son industriales.

por último, el consultor analiza los datos, y hace la realimentación sobre el uso de la energía y la gestión del mantenimiento.

¹⁷⁶ STÖHR, M.(1996): "PV for the world's villages", págs. 447-448.

El Instituto para la Diversificación y el Ahorro Energético (IDAE) ha publicado recientemente los resultados de un estudio sobre el impacto que tienen en el empleo los **programas de eficiencia energética**¹⁷⁸.

En la introducción de este documento (IDAE, 2000a) se señala la importancia que tienen los programas de eficiencia energética en la generación de empleos indirectos:

“(…) creados en los distintos sectores productivos como consecuencia del aumento de la demanda que se produce en el sector de bienes de equipo o de material eléctrico (aquellos productos cuya compra se ve incentivada por los programas de eficiencia energética), que provoca, asimismo, un aumento de la demanda en todos los sectores que les abastecen”.

Por otro lado la reducción de los precios de la energía que provocará la liberalización del sector eléctrico (ley 57/1997 del sector eléctrico que tiene su antecedente en la directiva 96/92/CE de 19 de diciembre) implica mayores dificultades para el ahorro y eficiencia en la demanda (IDAE, 2000a, pág. 1).

No obstante, las políticas de ahorro y eficiencia energética presentan efectos sobre el empleo. Estos efectos pueden ser directos (es el caso del empleo generado por las empresas que producen los bienes y servicios), indirectos (aumento de la demanda de las empresas productoras de bienes y servicios sobre otras empresas) o derivados (el

¹⁷⁷ Recogido en: VARELA, M. (1999): “El mercado eólico español...”, págs. 28-29.

¹⁷⁸ IDAE (2000a): “Eficiencia energética y empleo...”.

ahorro energético podría implicar una pérdida de empleos en el sector de la producción de energía, modificaciones presupuestarias destinadas a la inversión en bienes de ahorro y eficiencia energética y modificaciones en el presupuesto público).

Tabla 3-6: Energías renovables y creación de empleo.

Tecnología	Unión Europea-15		España	
	2010	2020	2010	2020
Solar térmica	7390	14311	2264	3866
Solar fotovoltaica	-1769	10231	849	2694
Solar termoeléctrica	649	621	649	621
Eólica	12854	28627	7701	8480
Minihidráulica	-995	7977	1732	3125
Biocombustibles	70168	120285	3007	6103
Biogás	27582	37271	340	728
Biomasa	128395	165860	7446	11536
Producción de biocombustibles	416538	515364	20982	47245
Total	660812	900456	44970	84397

Fuente: "The Impact of Renewables on Employment and Economic Growth", Proyecto ALTENER.

Las principales conclusiones a las que llega el estudio del IDAE son que los programas de ahorro y eficiencia energética son positivos para la creación de empleo. Así, se estima que por cada millón de euros invertido en estos programas se generarán entre 10 y 20 empleos nuevos en España. Por otro lado, se considera que las políticas fiscales encaminadas a mejorar el ahorro energético tienen un menor impacto sobre el empleo que las acciones normativas (p.ej, normativas de edificación), y que las políticas de información y educación son también positivas. Esto implica la necesidad de coordinar la aplicación de estas

políticas¹⁷⁹. El empleo se genera en zonas geográficamente dispersas y en pequeñas y medianas empresas (IDAE, 2000a, pág. 81).

El informe del IDAE (2000a, pág. 95) recoge, en un apartado anexo, los siguientes resultados del **Proyecto Altener** 4.1030/E/97-009 sobre energías renovables y empleo, donde se expone claramente que “las energías renovables contribuyen de forma efectiva a la creación de empleo”.

Otros estudios para Europa, recogidos en el *Libro Blanco de las energías renovables* (1997)¹⁸⁰, aportan los siguientes resultados para el año 2010. Dentro del ya mencionado programa Altener de la Comunidad Europea, el estudio TERES II señala como bastante probable el empleo inducido por las renovables en 500.000 puestos de trabajo. La EWEA por su parte señala como posibles entre 190.000 y 320.000 empleos en el sector eólico siempre y cuando se hayan instalado para esa fecha 40.000 MW. La Asociación Europea de Energía Fotovoltaica (EPIA) cifra en 100.000 los empleos en el sector si se llega a la cifra de 3.000 MW de potencia instalada. La Asociación Europea de Biomasa (AEBIOM) habla de un millón de empleos si la biomasa es utilizada plenamente.

¹⁷⁹ (...)”la aplicación unilateral de políticas de eficiencia energética en la Unión Europea puede provocar a corto plazo pérdidas de empleo en otros países miembros distintos del que aplica la política, incluso, en la Unión europea en su conjunto” (IDAE, 2000a, pág. 80).

¹⁸⁰ COM (1997), pág. 13.

Respecto a la viabilidad de estas propuestas, Menéndez (2001, pág. 121-123)¹⁸¹ considera varias condiciones. La instalación de 40 GW eólicos en Europa es posible siempre y cuando haya una apuesta clara por parte de las administraciones responsables y de las compañías eléctricas. La instalación de 3 GW fotovoltaicos dependerá fundamentalmente de la iniciativa privada, jugando un papel muy importante las clases medias y altas en la instalación de pequeñas aplicaciones domésticas. La biomasa presenta mayores interrogantes para este autor, quien considera que su desarrollo dependerá tanto del papel de las administraciones públicas como de los agricultores, y que se debería de apostar principalmente por los biocombustibles líquidos.

En la actualidad se estima que en España pueden existir unos 12.000 empleos directamente relacionados con la explotación de las renovables (los inducidos podrían estar cerca los 50.000). De estos, la energía eólica ocuparía aproximadamente el 40%, la biomasa el 33% y las diferentes aplicaciones de la energías solar un 25%, estando ocupado el 2% restante fundamentalmente en la minihidráulica¹⁸². Para el año 2010, esta cifra podría alcanzar los 50.000 empleos en un desarrollo normal y los 75.000 con un desarrollo intensivo. Y para el año 2020 la estimación estaría en 100.00 empleos (MENÉNDEZ, 2001, págs. 127-128).

¹⁸¹ MENÉNDEZ, E. (2001): "Energías renovables...".

Como se puede apreciar el papel de las energías renovables como generador de empleo es muy importante y su futuro ciertamente esperanzador. No obstante, las diferentes administraciones públicas tienen un papel fundamental para que estas expectativas lleguen a cumplirse. A continuación se estudia este papel tanto en el ámbito de las instituciones europeas como de la administración española.

3.7. El papel de las instituciones

No se puede concluir esta visión general sobre las posibilidades de integración de las energías Renovables sin antes revisar el papel en la misma de las instituciones.

En este sentido se aborda el estudio a dos niveles: la política energética de la Unión Europea en el ámbito de las renovables y *El Plan de Fomento de las energías Renovables* en España.

3.7.1. El debate sobre las energías renovables en el seno de la Unión Europea

Los términos en los que se está desarrollando en la actualidad el debate sobre la energía en la Unión europea se plasman perfectamente

¹⁸² No se consideran aquí la ocupación en la gran hidráulica.

en la siguiente introducción a la Política Energética recogida de la página web de la Unión Europea¹⁸³:

Cuando expuso los objetivos estratégicos para 2000-2005 [COM(2000) 154 final, "Hacer la nueva Europa"], la Comisión presentó la energía como un factor esencial de la competitividad y del desarrollo económico de Europa. El objetivo principal de la política energética de la Comunidad Europea, presentado en el Libro Verde¹⁸⁴ sobre la seguridad de abastecimiento energético de noviembre 2000, es garantizar la seguridad del abastecimiento energético a un precio asequible para todos los consumidores respetando al mismo tiempo el medio ambiente y el desarrollo sostenible y mantener la competitividad del mercado europeo en este sector. La Comisión considera necesario a tal fin la adopción de una estrategia integrada, tal y como subraya en su comunicación¹⁸⁵ de 1997.

La Unión Europea tiene que hacer frente a nuevos desafíos en materia energética. La seguridad de abastecimiento de energía de la Unión Europea y la protección del medio ambiente han adquirido una gran importancia estos últimos años. La dependencia energética exterior de la Unión Europea continúa creciendo continuamente y, en la actualidad, es de un 50%. La situación actual presenta riesgos importantes para la Unión ya que, a pesar de que ésta depende del mercado energético internacional, todavía no dispone de todos los medios para poder ejercer su influencia en el mismo. Es indispensable una diversificación de las fuentes de energía. La firma del Protocolo de Kioto¹⁸⁶ de 1997 sobre el cambio climático ha reforzado la importancia de la dimensión medioambiental y el desarrollo sostenible en la política energética comunitaria. La estrategia de la Comunidad debería responder a estos nuevos desafíos.

Como se puede apreciar, los principales desafíos a los que se enfrenta la Unión Europea en materia energética son la seguridad en el abastecimiento energético, el precio de la energía, el respeto al medio ambiente y el desarrollo sostenible y la competitividad del mercado

¹⁸³ <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27001.htm>

¹⁸⁴ COM (2000).

¹⁸⁵ Comunicación COM(97) 167 final. Política común de la energía. Visión global de la política y las acciones en el campo de la energía.

¹⁸⁶ Protocolo de Kioto COM(1998) 96 final.

europeo. Para afrontar estos retos es fundamental considerar aspectos tales como la adopción de un *programa marco* plurianual que agrupe las actuaciones comunitarias y su financiación; el desarrollo de un *mercado único* europeo de la energía; la creación de *redes transeuropeas* de la energía; el aumento de la *eficacia energética* en el marco del **Protocolo de Kioto**; y el papel de las *fuentes de energía renovables*.

Para el desarrollo de este último aspecto la Unión Europea ha trabajado en varias líneas: el programa plurianual (1998-2002) *Altener* de fomento de las energías renovables aprobado por la decisión nº 646/2000/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 28 de febrero de 2000; el *Libro Verde*¹⁸⁷ sobre las fuentes de energías renovables, de 20 de noviembre de 1996; el *Libro Blanco*¹⁸⁸ por el que se establece una estrategia y un plan de acción comunitarios; y la Propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de mayo de 2000: *Promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energías renovables*.

El programa **Altener** es continuación de los programas Altener I y II y tiene como objeto el fomento de las energías renovables en la Unión Europea. En concreto, los objetivos del programa son: crear las condiciones jurídicas, socioeconómicas y administrativas necesarias para

¹⁸⁷ COM (1996): "Energía para el futuro...".

¹⁸⁸ COM (1997): "Energía para el futuro...". Es fruto del debate abierto por el Libro Verde. A su vez, es el origen del Plan de Fomento de las Energías Renovable en España (IDAE, 2000).

la aplicación de un plan de acción comunitaria sobre fuentes de energía renovables; y fomentar las inversiones públicas y privadas en la producción y el empleo de energía a partir de fuentes renovables.¹⁸⁹

Las acciones que pueden recibir apoyo financiero en el marco del programa son los estudios y medidas destinadas a aplicar y completar las medidas de la Comunidad y los Estados miembros adoptadas para desarrollar el potencial de las energías renovables; los proyectos piloto de interés comunitario que permitan disponer de las infraestructuras necesarias para el desarrollo de las energías renovables; las medidas para el desarrollo de las estructuras de la información, la educación y la formación; medidas para impulsar intercambios de experiencias; las acciones específicas que faciliten la penetración en el mercado de las fuentes de energía renovables, así como de los correspondientes conocimientos técnicos, con objeto de impulsar la inversión; y las medidas de control y evaluación destinadas a efectuar el seguimiento de la aplicación del plan de acción comunitario de desarrollo de las fuentes de energía renovables, prestar apoyo a las iniciativas de aplicación del plan de acción, evaluar la repercusión y la relación coste-eficacia de las acciones y medidas adoptadas con arreglo al programa Altener.

El **Libro Verde**¹⁹⁰ sobre las fuentes de energía renovables tenía como objetivo desarrollar un debate en el seno de la Unión Europea con

¹⁸⁹ <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27016b.htm> pág. 1, consulta: 31/07/01

el fin de definir las medidas, objetivos, obstáculos y soluciones a aplicar para su desarrollo.

Este documento se estructura en los siguientes contenidos: análisis de la situación, ventajas de las FER, obstáculos para su generalización y objetivos.

Del análisis de la situación de partida el *Libro Verde* deduce que la Unión Europea posee un buen potencial pero que su explotación es deficiente.

Como principales ventajas de las fuentes de energía renovables se destacan el desarrollo sostenible, la independencia energética, la mejora de la competitividad industrial, el desarrollo regional y el empleo y la opinión pública favorable.

Los principales obstáculos para su generalización se encuentran en los costes de inversión y en los plazos de amortización, en la subestimación de su potencial, en la resistencia al cambio, en los problemas técnicos y económicos de la conexión a red, en las fluctuaciones estacionales y en la ausencia de una infraestructura apropiada para los biocombustibles.

El objetivo propuesto por el *Libro Verde* para el año 2010 es el 12% de participación en el consumo energético interior bruto y la creación de

¹⁹⁰ COM (1996): "Energía para el futuro...".

500.000 empleos netos. Para su consecución se necesita el compromiso de todos los Estados miembros y el fortalecimiento de las políticas comunitarias con los siguientes aspectos: mercado interior de la fuente de energía (sistemas de créditos, armonización fiscal, ayudas estatales, normalización); ayudas económicas específicas (programa ALTENER: 40 millones de ecus para 1993-97); aumento de la parte dedicada a las fuentes de energía renovables en los programas de investigación y desarrollo (programas JOULE y THERMIE); política regional favorable para la promoción de estas fuentes de energía, especialmente en las zonas periféricas y rurales; política agraria compatible que apoye la producción y el desarrollo de las fuentes de energía duraderas; y uso del potencial existente para el desarrollo económico de los países de Europa Central y Oriental, los países mediterráneos y los países en vías de desarrollo.

Como consecuencia del debate suscitado por el *Libro Verde* surge el llamado **Libro Blanco** (COM, 1997) que *establece una estrategia y un plan de acción comunitarios* con el objetivo de alcanzar, en el 2010, una penetración mínima del 12% de las fuentes de energía renovables en la Unión Europea.

El libro se estructura en tres partes: descripción de la situación, características del Plan de Acción y campaña de despegue.

En la primera parte se describe la *situación actual* de las FER en el ámbito de la Unión, destacando su papel para reducir la dependencia

energética¹⁹¹ y mejorar la seguridad en el abastecimiento¹⁹², la reducción del CO₂ y la creación de empleo. Así como sus ventajas de cara al aumento de las exportaciones por la posición tecnológica de las empresas comunitarias de cara al suministro de equipos y a los servicios técnicos y financieros. También se destaca su papel a nivel local y regional y en la mejora de la cohesión de las distintas regiones.

El *plan de acción*, con el fin de ofrecer una buena salida al mercado a las fuentes de energía renovables, propone las siguientes medidas: el acceso no discriminatorio al mercado de la electricidad; medidas fiscales y financieras; nuevas iniciativas en el campo de la bioenergía para el transporte, la producción de calor y de electricidad y, sobre todo, medidas específicas para aumentar la cuota de mercado de los biocarburantes, para fomentar el biogás y desarrollar los mercados de la biomasa sólida; y el fomento de las fuentes de energía renovables (como la energía solar) en el sector de la construcción, tanto para renovar como para equipar nuevos edificios¹⁹³.

Además, el plan de acción persigue una mayor sensibilización tanto de los responsables de los distintos programas como de las políticas

¹⁹¹ Se estima que las importaciones de combustible se podrían reducir en un 17,4%.

¹⁹² Principales objetivos de la planificación energética junto a la calidad en la oferta y la garantía en la demanda.

¹⁹³ <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27023.htm> pág. 2, consulta: 31/07/01

comunitarias, así como una mejor coordinación y cooperación entre los estados miembros.

Igualmente, se prevén medidas de apoyo (programa Altener) encaminadas a mejorar la promoción, información, normativas, competitividad financiera y creación de redes de información en el campo de las fuentes de energía renovables.

Por último, la *campaña para el despegue* de las fuentes de energía renovables tiene por objeto estimular la realización de grandes proyectos en diferentes áreas de las energías renovables. Incluye las siguientes acciones clave: instalación de un millón de sistemas fotovoltaicos, la mitad de ellos en edificios y destinados al mercado interior y la otra mitad destinados a la exportación, para dar, principalmente, un impulso a la electrificación descentralizada de los países en desarrollo; 10.000 MW generados por grandes parques eólicos; 10.000 MWt generados por instalaciones de biomasa; e integración como proyecto piloto de las fuentes de energía renovables en 100 comunidades, regiones, aglomeraciones urbanas, islas, etc.¹⁹⁴

Dentro de esta última acción clave, se considera que para optimizar el potencial disponible ofrecido por las tecnologías aplicadas a las FER, en la elección de los sistemas influirán de forma decisiva las características de cada región y, especialmente, el comportamiento

¹⁹⁴ COM (1997): "El libro blanco...", págs. 30-34.

geográfico de la demanda. Se hace necesario por tanto, adaptar la tecnología a las características regionales, utilizando conjuntamente diversas fuentes cuando esto resulte oportuno, bien integrando los sistemas en el suministro eléctrico local o en sistemas dispersos para el suministro regional de electricidad.

La acción clave desarrollara una campaña en la que se seleccionaran lugares (comunidades, regiones, ciudades e islas) que “pueden aspirar razonablemente a asegurarse la totalidad de su suministro de electricidad a partir de fuentes de energía renovables”. El proyecto se realizará a diferentes escalas, contando con localizaciones de distinto tamaño y características. “A pequeña escala, las unidades podrían ser bloques de edificios, nuevos grupos de viviendas en zonas residenciales, zonas de ocio, pequeñas zonas rurales o zonas aisladas (islas o colectividades de regiones montañosas). A mayor escala, debería establecerse “ciudades solares”, grandes zonas rurales y regiones administrativas que puedan beneficiarse de un sentido de comunidad ya existente. También podrían elegirse como regiones piloto grandes islas como Sicilia, Cerdeña, Creta, Rodas, Mallorca, Canarias o Madeira”.

Para la ejecución de este proyecto el Libro Blanco vuelve a remarcar la importancia de los entes locales y regionales:

“Los poderes públicos locales y regionales, así como los centros de energías regionales, desempeñan un papel capital en la ejecución de este proyecto” (COM, 1997, pág. 33).

En esta línea, en el punto 2.3.5. *Política regional*¹⁹⁵, se afirma que

“debe realizarse un esfuerzo para dar a conocer el potencial y las ventajas de estas fuentes de energía para las regiones”. Añadiendo que los “fondos invertidos a escala regional en el desarrollo de las fuentes de energía renovables podrían contribuir a elevar los niveles de vida y de renta de las regiones menos favorecidas, periféricas, insulares, apartadas o en declive de diversas formas”.

Entre las formas consideradas se encuentran el favorecer la cohesión regional mediante la utilización de recursos locales; contribuir a la creación de empleos permanentes a escala local, al tratarse de una explotación que exige intensiva mano de obra; contribuir a la reducción de la dependencia de las importaciones energéticas; reforzar el suministro energético de las comunidades locales, el turismo ecológico, las áreas protegidas, etc.; y contribuir al desarrollo del potencial local de investigación y desarrollo, y de innovación, fomentando proyectos de investigación e innovación adaptados a las necesidades locales.

Además, dentro del marco de la futura política de desarrollo rural, la Comisión Europea animará a los Estados miembros y a las regiones a que, en sus programas en favor de las zonas rurales, se conceda prioridad absoluta a los proyectos de energías renovables. Sin embargo, las regiones continuarán teniendo que asumir la responsabilidad de seleccionar los proyectos¹⁹⁶.

¹⁹⁵ COM (1997), pág. 23.

¹⁹⁶ COM (1997): “El libro blanco...”, punto 2.3.6. “Política agrícola común y política de desarrollo rural”, pág. 24..

La Comisión Europea adquirió el compromiso de presentar una comunicación que evaluase el progreso realizado en la aplicación de la estrategia y el plan de acción. Este compromiso se plasma en la **Comunicación, de 16 de febrero de 2001**, sobre la aplicación del plan entre 1998 y 2000.

En ella se señala que aunque los progresos registrados son modestos en general, el aumento ha sido espectacular en algunos sectores y países. Entre ellos, el aumento de la producción eléctrica procedente de la hidráulica y la eólica¹⁹⁷. Por otro lado, aun es pronto para observar los resultados de las nuevas legislaciones desarrolladas por los Estados miembros.

Las medidas adoptadas a nivel comunitario se refieren, entre otras, a la electricidad producida a partir de fuentes de energía renovables, el ámbito fiscal, la eficacia energética, el rendimiento energético y la integración de otras políticas comunitarias como el medio ambiente y la agricultura.

La Comisión estima que en el futuro los esfuerzos deberán centrarse fundamentalmente en la elaboración de estrategias y objetivos específicos para los subsectores en los Estados miembros, la promoción

¹⁹⁷ Sin duda la energía eólica vive un momento espectacular con un crecimiento anual del 55% y una cuota de las empresas europeas en el mercado internacional del 60%. El objetivo clave del sector se ha alcanzado con tres años de adelanto. (<http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27023.htm> , pág. 4, consulta: 31/07/01 Actualización: 13/03/01).

de la biomasa, las medidas relativas al sector de la construcción, el intercambio de buenas prácticas con el fin de homogeneizar las medidas voluntarias nacionales y la supresión de los obstáculos jurídicos y administrativos acompañada de innovadores instrumentos comerciales a nivel comunitario, en especial en el ámbito fiscal¹⁹⁸.

Como respuesta al objetivo del 12% planteado en el *Libro Blanco* y como parte de las medidas para cumplir los compromisos adquiridos por la Unión Europea en el *Protocolo de Kioto*, se desarrolla la Propuesta de directiva del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de mayo de 2000, de **Promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energías renovables**, cuyo objetivo es crear un marco que facilite un aumento significativo a medio plazo de este tipo de producción eléctrica¹⁹⁹.

La propuesta contempla los siguientes aspectos: contexto, ámbito de aplicación y definiciones, objetivos nacionales de consumo de electricidad generada a partir de las fuentes de energía renovables, evaluación de los objetivos y medidas nacionales, evaluación a nivel nacional y a nivel comunitario, sistemas de apoyo, certificación de origen

¹⁹⁸ <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27023.htm> , pág. 5, consulta: 31/07/01
Actualización: 13/03/01

¹⁹⁹ <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27035.htm> , 8 págs. 5, consulta: 31/07/01
Actualización: 18/05/01

de la electricidad FER, procedimientos administrativos, cuestiones relativas a la red y evaluación final de la aplicación de la directiva.

Se trata de crear un marco común, con participación activa a nivel nacional, que permita el desarrollo de la producción de electricidad con renovables, definiendo unos objetivos claros y fácilmente evaluables para todos los países miembros, así como los instrumentos que faciliten esta integración: unificación y sencillez de los procedimientos administrativos, certificación del origen de la electricidad que llega al consumidor, papel de los distribuidores e impactos en la red, etc. Destaca la propuesta de mantener por normativa una duración determinada para las ayudas, lo cual permitiría una disminución de los riesgos de los promotores.

La propuesta se encuentra en el *Procedimiento de colección* (COD/2000/116) pendiente de una posición común del Consejo, habiendo sido introducidas algunas enmiendas en su trámite parlamentario.

Como conclusión, citando el *libro blanco* se puede decir que debido a las:

“(…) importantes ventajas que presentan las energías renovables para el empleo, la reducción de las importaciones de combustibles, el refuerzo de la seguridad del suministro energético, el aumento de las exportaciones, el desarrollo local y regional, etc., así como de sus considerables ventajas ecológicas; se considera que la Estrategia y el Plan de Acción Comunitarios presentados en el Libro Blanco de las Energías Renovables, revisten una importancia determinante para la Unión Europea en el umbral del siglo XXI” (COM, 1997, págs. 13-14).

3.7.2. El Plan de Fomento de las Energías Renovables en España

El principal objetivo del *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*, publicado en diciembre de 1999 por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), es la articulación de una estrategia de crecimiento de las energías renovables que permita cumplir el horizonte comunitario del 12% del consumo de energía primaria en el año 2010. El Plan es, por tanto, una respuesta a las directrices emanadas del *Libro Blanco* de la Unión Europea y, también, del compromiso adquirido en la *Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico*²⁰⁰.

El documento, a lo largo de sus nueve capítulos, recoge los siguientes aspectos: los imperativos para el desarrollo de las energías renovables (tanto en su relación con el desarrollo del Mercado Interior de la energía, como en el cumplimiento de los compromisos medioambientales y en los impactos positivos sobre el empleo y el crecimiento industrial); el marco energético general en el que se inscribe el Plan y los escenarios y perspectivas para el 2010; la situación actual de las energías renovables (fuentes contempladas en el Plan, situación nacional y regional, recursos y tecnología) y los objetivos energéticos y

²⁰⁰ *La acogida dada al Plan por la comunidad científica y los agentes sociales ha sido, en general, bastante positiva, si bien, en algunas áreas se han suscitado dudas sobre las posibilidades de cumplir los objetivos planteados o, en otros casos, sobre su escaso alcance.*

ambientales; información sobre los aspectos tecnológicos, medioambientales, costes, barreras y previsiones del mercado para cada área; objetivos y líneas prioritarias de actuación en el campo de la innovación tecnológica; aspectos financieros (potencial disponible, capacidad del sector, evolución técnico-económica y barreras); mercado exterior de las energías renovables; y, por último, bases para el seguimiento del Plan.

Tabla 3-7: Consumo final de energías renovables en la producción de calor. Situación de partida y objetivos del Plan al 2010 (ktep).

	1998	2010
Biomasa térmica	3476	4376
Biocarburantes	0	500
Solar térmica baja temperatura	26	336
Geotermia	3	3
TOTAL	3507	5219

Fuente: IDAE, 1999, pág. 34 y 61.

El Plan contempla las siguientes **fuentes de energía renovables** tanto para la producción de electricidad como de calor: hidroelectricidad²⁰¹, biomasa (incluye residuos agropecuarios y cultivos energéticos), biocarburantes (bioetanol y biodiesel), biogás, residuos sólidos urbanos, eólica, solar térmica (en aplicaciones de calor a baja y media temperaturas y termoeléctricas a alta temperatura), solar pasiva y

²⁰¹ La producción hidroeléctrica se estructura en tres tipos de centrales según su potencia: potencia igual o inferior a 10 MW (Minihidráulica), potencia entre 10 y 50 MW y potencia superior a los 50 MW. En este rango de potencia el Plan solo considera la automatización de antiguas centrales. (IDAE, 1999. Pág. 40).

solar fotovoltaica (tanto en aplicaciones aisladas como en sistemas conectados a la red eléctrica).

Respecto a la **situación actual y objetivos** contemplados para el 2010, el Plan contempla un incremento del 33% en el *aprovechamiento térmico* de las renovables según se puede apreciar en la Tabla 3-7.

Tabla 3-8: Generación bruta de electricidad. Situación de partida y objetivos del Plan.

	1998		2010	
	GWh	Ktep	GWh	ktep
Hidráulica >10 MW	30753	2645	31129	2677
Minihidráulica <10 MW	5607	482	6912	594
Biomasa	1139	169	13949	5269
Residuos sólidos	586	247	1846	683
Eólica	1437	124	21538	1852
Solar fotovoltaica	15,3	1,3	218	19
Solar termoeléctrica	0	0	459	180
Biogás	0	0	546	150
TOTAL	39526	3667	76555	11420

Fuente: IDAE, 1999, pág. 37.

Respecto a la *producción de electricidad* con renovables el Plan contempla diferentes objetivos sectoriales para cada una de las FER contempladas. Como se puede apreciar en la Tabla 3-8, el objetivo en producción de electricidad es doblar la cantidad de partida. Sin embargo la aportación a este objetivo es muy diferente según las distintas fuentes. El mayor peso relativo de la hidroelectricidad sólo supone un incremento de la producción cercano al 5%, sin embargo, la biomasa y la eólica aportarían, en conjunto, una producción de más de 36.000 GWh en el año 2010, con un incremento cercano al 1500%. Este objetivo supondría la

generación con renovables de entre un 27,7% y un 29,4%²⁰² del total de Generación Bruta Nacional en el 2010. Estos datos se ven reflejados igualmente en el aumento de la potencia instalada que se evalúa en algo más de 30 GW de energías renovables para el 2010.

Tabla 3-9: Objetivos del Plan. Potencia instalada.

	Potencia instalada (MW)
Hidráulica >10 MW	16571
Minihidráulica <10 MW	2230
Biomasa	1897
Residuos sólidos	262
Eólica	8974
Solar fotovoltaica	144
Solar termoeléctrica	200
Biogás	78
TOTAL	30355

Fuente: IDAE, 1999, pág. 61.

Para hacer realidad estas cifras el Plan estima que nuestro país cuenta con los **recursos** que aparecen en la Tabla 3-10. El aprovechamiento de estos recursos y el cumplimiento de los objetivos energéticos del Plan supondría que las **emisiones evitadas de CO₂** en la generación de electricidad para el conjunto de las renovables serían de 36.584.494 toneladas frente a la generación con carbón, o de 14.560.426 si la generación en lugar de carbón fuera en un ciclo combinado con gas natural. En usos térmicos las emisiones evitadas serían de 4.977.354 toneladas. Esto supondría entre un 10 y un 20% de emisiones frente al total de origen energético en 1990.

²⁰² En función del escenario manejado.

Para poder llevar a cabo estos objetivos el Plan remarca la importancia de la inversión en innovación tecnológica, la cual se cifra en unos 5.000 millones anuales que se repartirían por áreas en función de las fuentes (ver Ilustración 3-6).

Como se aprecia en la Ilustración 3-6, la mayor proporción de fondos en innovación corresponde a la biomasa, las diferentes formas de aprovechamiento solar y la eólica.²⁰³

Tabla 3-10: Potencial adicional de recursos de energías renovables en España.

ENERGÍAS RENOVABLES	ESTIMACIÓN DEL RECURSO
Hidráulica >10 MW	20774 GWh/año
Hidráulica <10 MW	7500 GWh/año
Biogás	0,55 Mtep/año
Biocarburantes	0,64 Mtep/año
Biomasa	16 Mtep/año
Residuos sólidos urbanos	1,2 Mtep/año
Eólica	34200 GWh/año
Solar fotovoltaica conectada a red	2000 MWp
Solar fotovoltaica aislada	300 MWp
Solar térmica	2 Mtep/año (26,5 millones de m ²)

Fuente: IDAE, 1999, pág. 56.

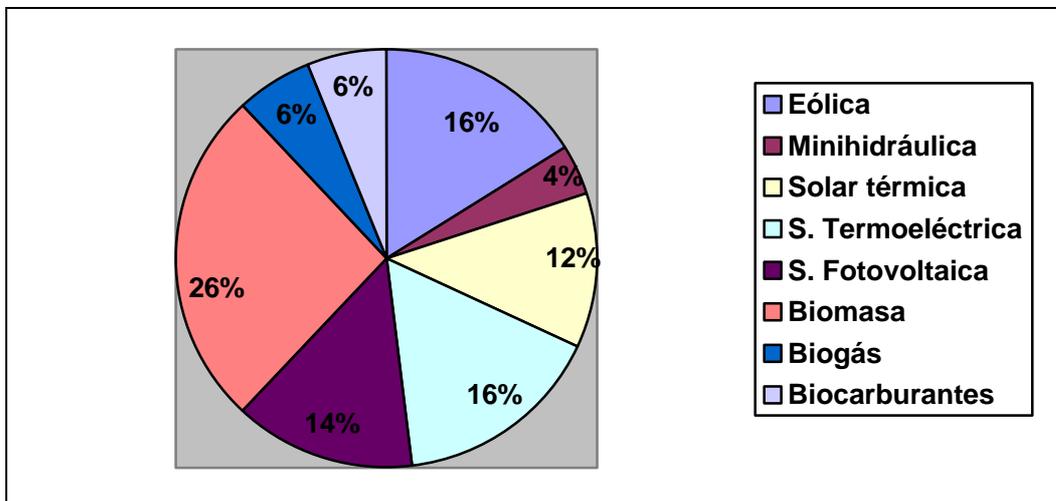
El objetivo energético para el total del Plan supone un incremento de la energía primaria de 9.525.038 tep, con un incremento en generación eléctrica 36.528 GWh y una potencia de 11.499 MW. Para hacerlo realidad, el Plan realiza un **análisis financiero** que estima, a mitad de periodo (1999-2006) y con un 50% de avance del plan en energía producida, una financiación de la inversión total de algo más de billón y

²⁰³ Una de las quejas que se han planteado a este documento es su escaso apoyo a los biocombustibles.

medio de pesetas de los que 410.587 millones corresponderían a subvenciones.

El Plan considera tres grandes grupos de **medidas e incentivos**²⁰⁴ para alcanzar sus objetivos: medidas fiscales, estructurales e eliminación de barreras (ver Tabla 3-11).

Ilustración 3-6: Porcentaje de participación en el presupuesto de Innovación tecnológica por áreas.



Fuente: IDAE, 1999, pág. 174.

Otro de los aspectos que destaca el Plan es la importancia del **mercado exterior** y el fomento de la labor empresarial y la transferencia tecnológica de la industria española.

²⁰⁴ IDAE (1999) "Plan de...", pág. 234.

Tabla 3-11: Medidas e incentivos del Plan de Fomento de las energías renovables.

Medidas fiscales:	<p>Deducción en el impuesto de sociedades de las inversiones en bienes destinados a la protección del medio ambiente en el área de las energías renovables.</p> <p>Deducción en el impuesto de sociedades de los gastos en investigación científica e innovación tecnológica en el área de las energías renovables.</p> <p>Incentivos fiscales en el impuesto de sociedades para PYMEs que inviertan en activos para el aprovechamiento de los recursos renovables.</p> <p>Exención fiscal a los biocarburantes.</p>
Medidas estructurales:	<p>Medio Ambiente. Armonización del procedimiento de impacto ambiental.</p> <p>Hacienda Local. Regulación de una tasa de aprovechamiento eólico.</p> <p>Aguas. Utilización privativa del Dominio Público Hidráulico. Autorizaciones y concesiones.</p> <p>Sector Eléctrico. Redistribución de las primas del Régimen Especial.</p> <p>Medidas de fomento de la integración de la energía solar en edificios. Modificación del RD 1751/1998, de 31 de julio, del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y sus Instrucciones Técnicas Complementarias.</p> <p>Conexión a la red de baja tensión de instalaciones fotovoltaicas. Régimen Especial y especificaciones técnicas y procedimiento administrativo.</p>
Medidas de eliminación de barreras:	<p>Incentivar la inversión empresarial en Innovación tecnológica.</p> <p>Creación de líneas de Ayudas Públicas de incentivos.</p> <p>Creación y adaptación de instrumentos fiscales para los Proyectos específicos del Plan.</p> <p>Bonificación porcentual de los costes de aval, en la cobertura de riesgos de las PYMES por las Sociedades de Garantía Recíproca.</p>

Fuente: IDEA 1999.

Finalmente, el Plan propone un **Sistema de Seguimiento y Control** diseñado como un sistema integrado, planificado, continuo, extensivo, analítico y estratégico.

Ilustración 3-7: Aerogeneradores españoles en la región china de Mongolia.



Foto cortesía de I. Martí.

Desde la perspectiva regional, siguiendo la misma filosofía mantenida por la Comisión Europea en el *Libro Blanco*, el Plan señala lo siguiente:

“el despliegue de las fuentes de energía renovables puede ser una característica clave (del mismo) con el objetivo de lograr una mayor cohesión social y económica”.²⁰⁵

²⁰⁵ IDAE (1999) “Plan de...”, pág. 18.

En otro apartado de la obra, y en concreto el referido al Área eólica, se subraya la enorme importancia de la **Administración local** en el desarrollo de esta fuente de energía. En este sentido se remarca lo siguiente:

“(..).Una actitud positiva del municipio en el que se va a implantar un parque redundaría en un correcto desarrollo de la actividad, pero una actitud negativa imposibilita o retrasa la normal ejecución de una instalación”. (IDAE, 1999, pág. 72).

Y más abajo, en alusión a la práctica habitual de muchos ayuntamientos de cobrar tasas de compensación por la actividad del parque, se dice:

“(..). La repercusión que estos acuerdos no regulados y sometidos al arbitrio de la estrategia municipal correspondiente tienen sobre los promotores es inmediata: por un lado, crean retrasos difícilmente previsibles, consecuencia de la negociación, y por otro, ocasionan incertidumbre en el coste de la instalación y de la explotación del parque”. (IDAE, 1999, pág. 73).

En este sentido, tal y como se ha visto al estudiar las medidas e incentivos incluidas en el Plan, se contempla la *Regulación de los acuerdos económicos con las administraciones locales* a fin de crear un canon para los ayuntamientos que no suponga un coste adicional para el promotor (desgravación del Impuesto de Sociedades) mediante la derivación de esos fondos desde la Administración Central.

Al estudiar los aspectos sociales relacionados con la energía eólica se apreciaba como en numerosas ocasiones, la falta de información y de “tacto social” de los promotores eólicos repercutía negativamente sobre la aceptación social de esta fuente de energía. El *Plan de Fomento* señala como la visión sesgada y localista de algunos municipios también

repercute negativamente en el desarrollo de la energía eólica, distorsionando el mercado y encareciendo el producto, y genera un círculo vicioso de malos hábitos y de desconfianza mutua entre todos los agentes implicados, que en última instancia perjudica al consumidor y al conjunto de la sociedad, y que es necesario romper mediante unas buenas prácticas, un buen planeamiento y el aumento de la información pública.

En el apartado referido a medidas e incentivos para el área eólica y en concreto en lo referente a la "Financiación de las infraestructuras de evacuación de energía eléctrica" se alude a la posibilidad de utilizar Fondos de la Unión Europea (FEDER) para cofinanciar los planes de desarrollo de la red que "permitan una integración fiable y segura de los futuros parques eólicos en el sistema eléctrico".

"Para la aplicación de esta medida, en primer lugar es necesario efectuar un estudio del estado de la red actual, de la ubicación geográfica del recurso eólico, y su toma en consideración para la planificación de la red de transporte y de distribución. El análisis debería de considerar de forma global las condiciones de funcionamiento del sistema eléctrico, tanto en los aspectos de idoneidad como de seguridad y establecer un desarrollo coherente de la red, a la vez que unas exigencias técnicas de conexión. Asimismo se deberían poner de manifiesto los requerimientos que la expansión de la generación eólica pueda conllevar en la operación del sistema". (IDAE, 1999, "Plan de Fomento de las Energías Renovables en España", pág. 74).²⁰⁶

Por último, resaltar la enorme trascendencia que tiene este documento para el desarrollo de las energías renovables en España, y,

²⁰⁶ *La aplicación de los SIG a un estudio de estas características parece muy interesante. Se trataría de desarrollar un sistema que permitiese controlar las variables enunciadas y modelar el diseño de red más adecuado para su cumplimiento.*

por ende, para su estructura energética y su calidad ambiental. En este sentido, se puede citar el último párrafo de la introducción donde se dice literalmente:

“(..) la oportunidad histórica que representa la concurrencia de intereses energéticos-medioambientales-socioeconómicos y la coincidencia con la preparación de nuevas estrategias en la política estructural de la UE y de España hacen del Plan de Fomento un ejemplo de la integración de diversas políticas marcando las metas y trazando las líneas generales de actuación para situar a las energías renovables en la senda de la competitividad de manera estable y duradera” (IDAE, 1999, *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*).

3.8. Situación actual y perspectivas en España

La producción de electricidad con energías renovables en España tiene una distribución desigual que responde, básicamente, a los siguientes factores: la distribución y disponibilidad de los recursos renovables (el caso más evidente es el de la energía eólica), las necesidades o demanda y el abastecimiento u oferta (ver mapa 2-8) y las diferentes políticas regionales de promoción de las FER²⁰⁷.

Ya se ha abordado de una forma general el comportamiento de los recursos de las distintas fuentes de energías renovables. En nuestro país, los recursos más distribuidos son los solares, si bien, como se verá en el siguiente capítulo, las zonas meridionales y en especial, el Valle del Guadalquivir y el sudeste peninsular son las zonas más favorecidas. La distribución e intensidad de los vientos responde tanto a aspectos

²⁰⁷ Aunque el Plan de Fomento afecta a todas las Comunidades, cada una mantiene políticas y subvenciones distintas.

orográficos como a la dinámica atmosférica, delimitando el comportamiento del viento la posición respecto a ambos factores. Las zonas más favorecidas se localizan en Galicia y en el Estrecho de Gibraltar, si bien la explotación de este recurso es viable en la mayoría de las regiones. Respecto de la biomasa, su distribución esta asociada a los usos del suelo, dependiendo del aprovechamiento específico que se pretenda (residuos, biocombustibles, biogás, cultivos energéticos, etc...). Por último, el aprovechamiento hidroeléctrico depende de las características propias de cada cuenca. Respecto de la gran hidráulica se aprecia como, a pesar de su distribución por toda la Península, las mayores concentraciones se encuentran en Galicia, el *sistema Duero* y el Tajo (ver mapa 2-20), sin embargo los aprovechamientos minihidráulicos están muy vinculados a la estructura morfológica de la Península y, especialmente, al Pirineo.

Tabla 3-12: Características de las principales FER en España.

Fuente	Recursos potenciales	Potencia eléctrica instalada (MW)	Producción eléctrica (GWh/año)
Eólica	36.200 GWh/año	3.244,5	7.240,3
Solar Térmica	2 Mtep/año (26,8 * 106 m ²)	0	0
Solar Fotovoltaica	300 MWp aislados 2.000 MWp conectados a red	15,6	28,1
Biomasa	19,5 Mtep/año	164,3	928,3
Biogás	0,55 Mtep/año	45,8	288
RSU	1,4 Mtep/año	94,1	667
Hidráulica > 10 MW	51.200 GWh/año	16.399,3	39.014
Hidráulica < 10 MW	12.200 GWh/año	1.607,3	4.325,0

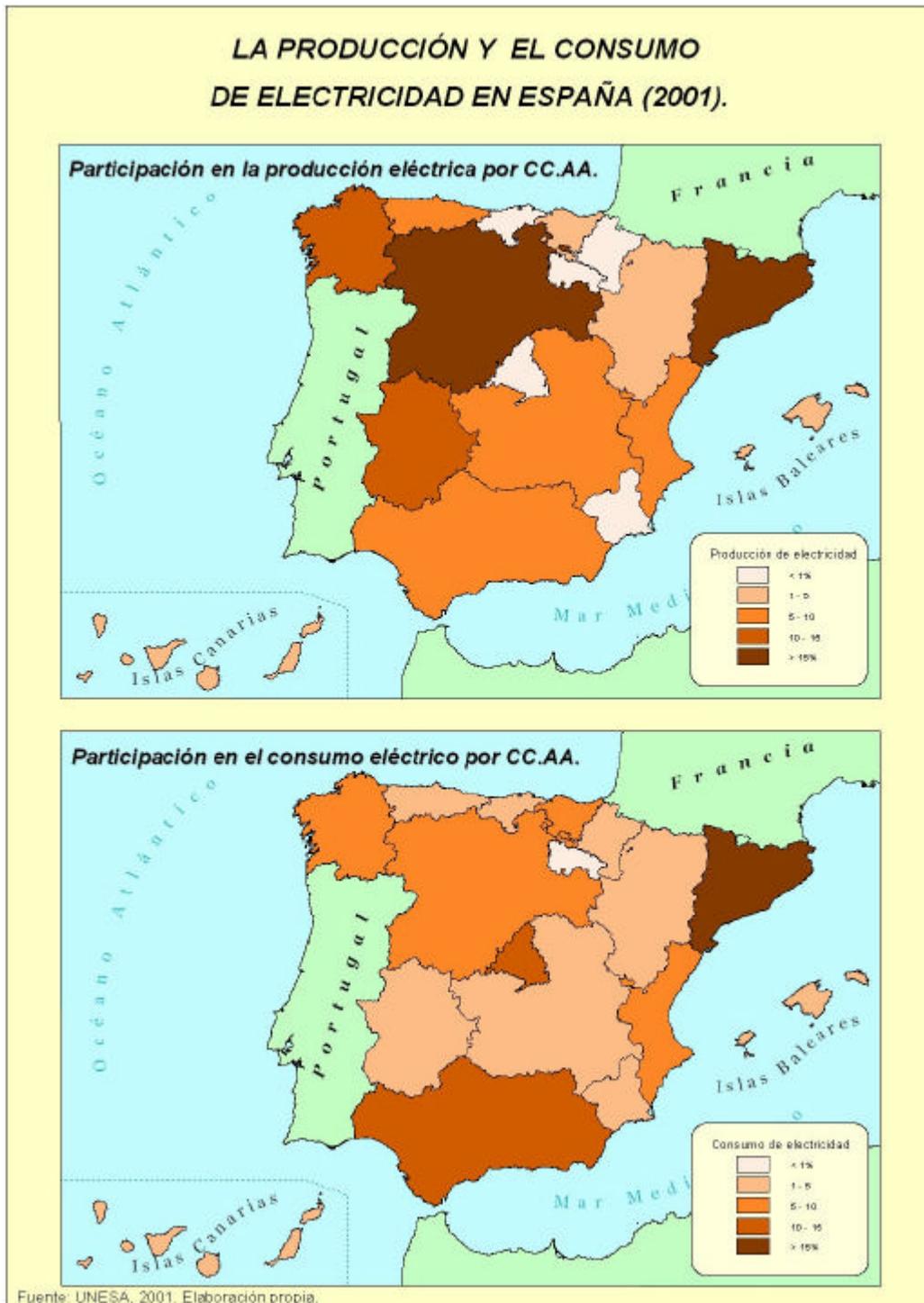
Fuente: IDAE, elaboración propia.

Analizando la producción y el consumo de electricidad por comunidades autónomas se observa como existen regiones netamente productoras y otras consumidoras (ver mapa 2-8). Un caso evidente es el de Madrid donde la participación en la producción eléctrica a nivel nacional es inferior al 1%, mientras que su consumo es superior al 10 % del total. Castilla y León y Galicia son ejemplos de regiones básicamente productoras con unos consumos moderados.

Al observar el mapa de potencia instalada por regiones de UNESA²⁰⁸ (Ilustración 3-17), se aprecia como, de los cerca de 50.000 MW de potencia eléctrica instalada, menos de una tercera parte se corresponde a energía hidroeléctrica, perteneciendo a centrales térmicas (clásicas y nucleares) el resto. La mayor potencia instalada se localiza en las regiones centro-levante, noroeste, catalana y centro-norte. De los casi 200.000 GWh eléctricos generados en el año 2000, más de $\frac{3}{4}$ partes son de origen térmico y han sido generados en esas cuatro regiones. Sin embargo, prácticamente la mitad de los cerca de 180.000 GWh del consumo final de electricidad se concentra en las regiones centro-levante y catalana (ver mapas 2-19 y 2-20).

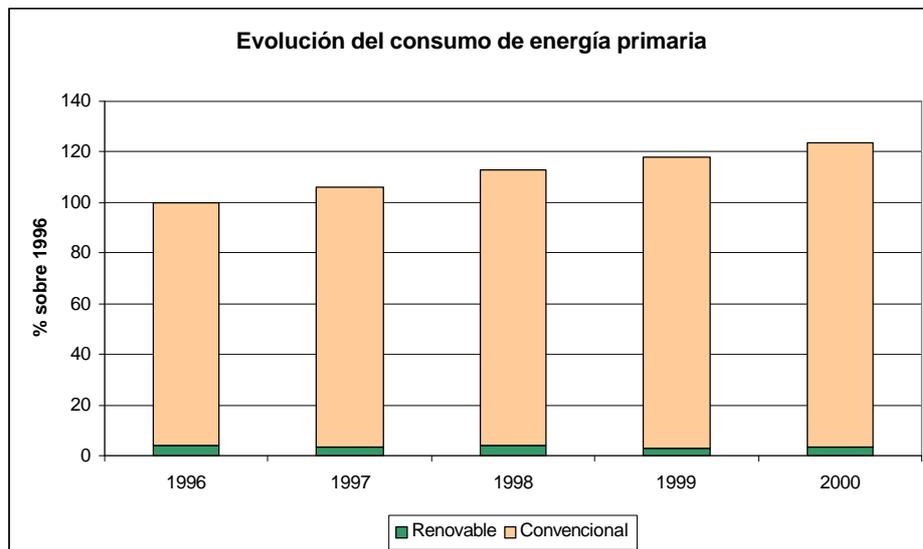
²⁰⁸ UNESA es la asociación que une a las grandes empresas eléctricas. Sus análisis se realizan en base a siete regiones: Catalana, Centro-Levante, Centro-Norte, Noroeste, Aragonesa, Andaluza y Extrapeninsular.

Ilustración 3-8: Producción y consumo de electricidad en España.



El consumo de energía primaria (parte de la cual se emplea en la producción de electricidad) ha crecido en España cerca de un 20% en los últimos cinco años (ver gráfico 2-9). Sin embargo, las energías renovables sólo aportan un 6% de ese consumo lo cual está aún lejos del objetivo del 12 % del *Plan de Fomento*²⁰⁹. Además, la evolución de su participación frente a las fuentes convencionales no es lo suficientemente rápida. Esta situación se repite en el consumo de energía final.

Ilustración 3-9: Evolución del consumo de energía primaria en España.



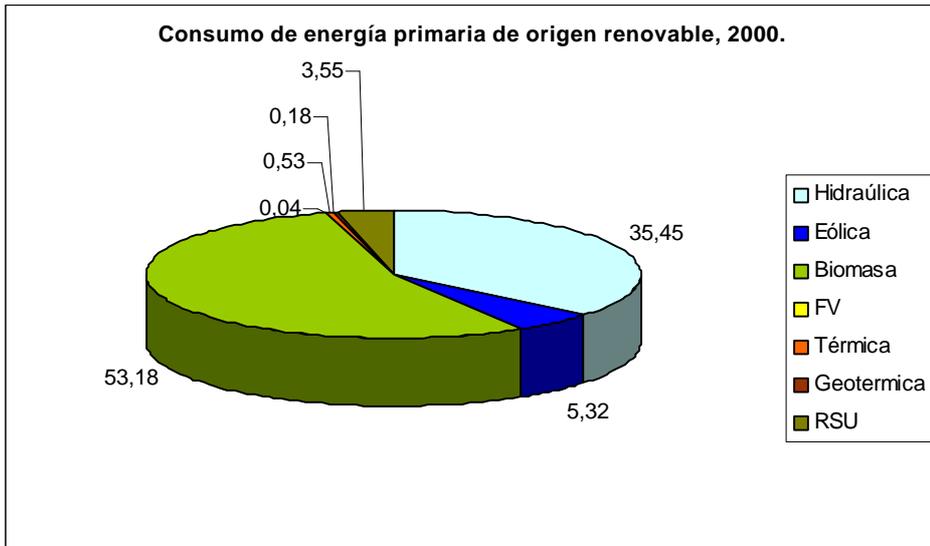
Fuente: *Energía 2001. Foro Nuclear. P. 17.*

Respecto al aporte de cada fuente renovable a esa participación en el consumo de energía primaria, las más destacada son la biomasa y la

²⁰⁹ En el año 2000 el consumo de energías renovables en España ha sido de 7.009 ktep, menos de la mitad de las 16.639 ktep propuestas como objetivo para el 2010 por el Plan. Por fuentes, la situación más desfavorecida es la de la biomasa, la cual con un objetivo previsto para el 2010 de 9.645 ktep (es decir un 66% del conjunto de las renovables) sólo ha alcanzado en 2.000, 3.623 ktep, lo que supone 130 ktep más de las consumidas en el año 1990.

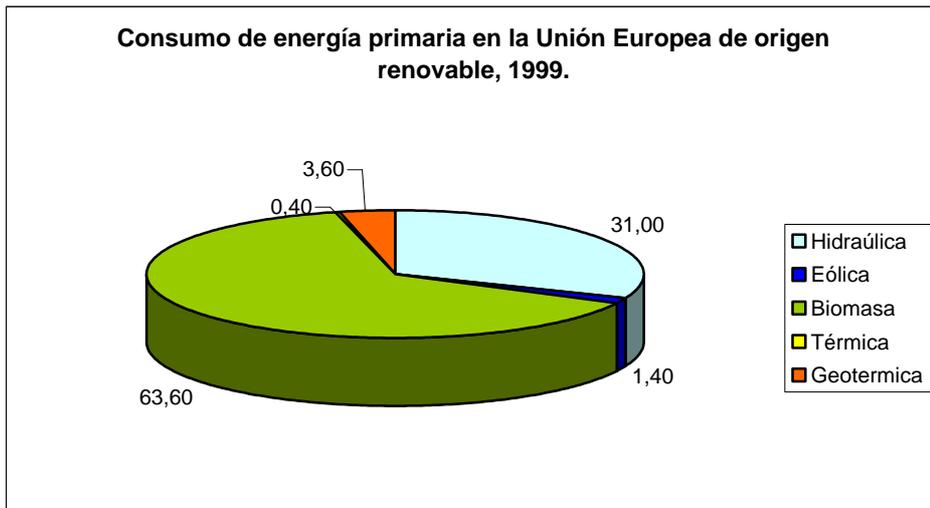
hidráulica, si bien, el peso respecto a la producción eléctrica es muy superior en la segunda (gráfico 2-10).

Ilustración 3-10: Aportación de cada fuente al consumo de energía primaria de origen renovable.



Fuente: IDAE, 2001, P. 18

Ilustración 3-11: Aportación de las distintas fuentes al consumo de energía primaria de origen renovable en la Unión Europea.

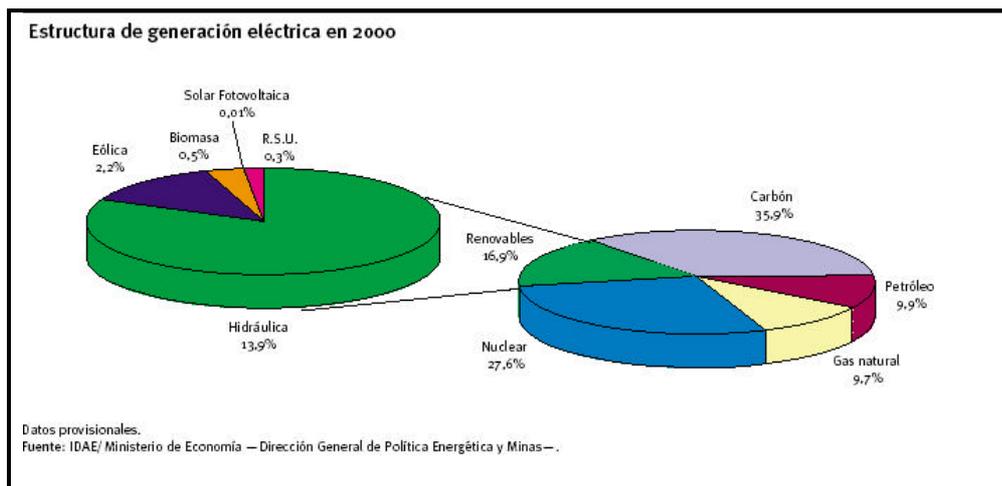


Fuente: IDAE, 2001, P. 19

Como se puede apreciar en el gráfico anterior (2-11) la situación general en la Unión europea es muy parecida, aunque con una mayor presencia de la biomasa. Los datos de participación de renovables frente a convencionales son similares a los de España.

Respecto de la generación de energía eléctrica, la situación de las renovables es algo mejor con un aporte cercano al 17% en el año 2000, debido en gran medida a la generación hidroeléctrica en grandes instalaciones.

Ilustración 3-12: Estructura de la generación eléctrica.

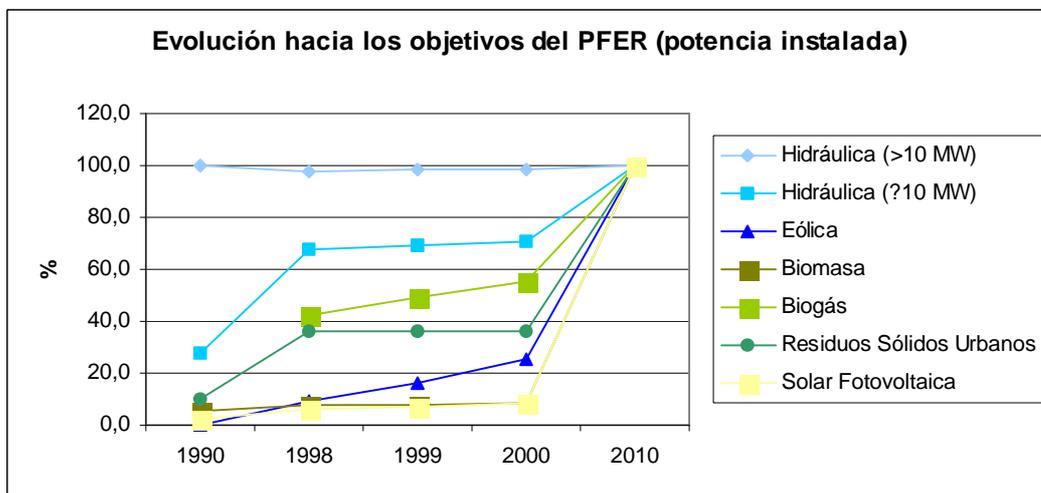


Fuente: IDAE.

Respecto de los objetivos del Plan para el 2010 en el ámbito de la generación eléctrica, en el año 2000 se alcanzó una potencia instalada con renovables de 20.525,6 MW frente a los 30.355,3 MW previstos por el Plan para el 2010. El incremento respecto del año anterior (fecha de inicio del Plan) fue de algo menos de 900 MW. La electricidad generada en el 2000 fue de 37.974 GWh/año (5.600 GWh/año más que en el 99), casi un

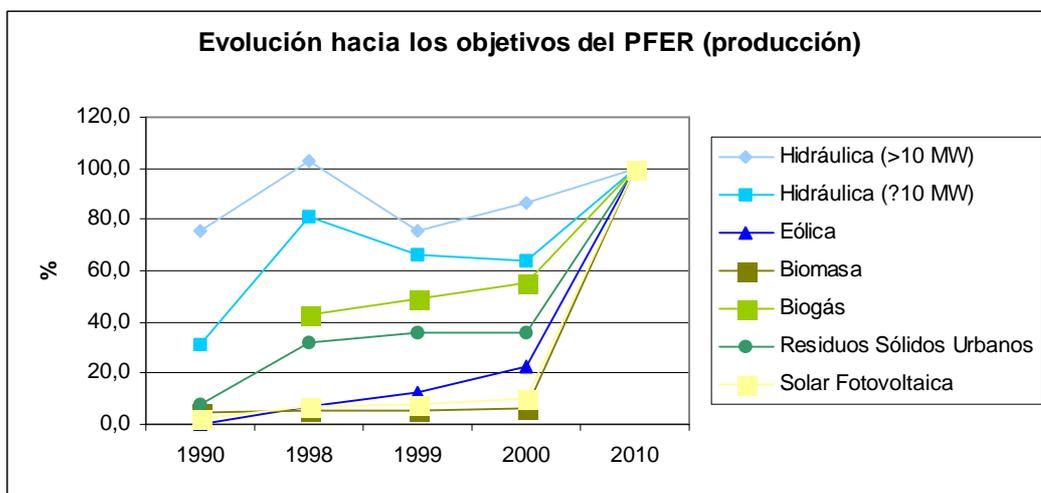
50% de la generación prevista para el 2010. No obstante este dato puede resultar engañoso por el peso de la gran hidroeléctrica. Así por ejemplo, en el año 98 la producción de esta fuente superó los objetivos expresados por el Plan para el 2010. Sin embargo, el porcentaje de generación respecto a los objetivos del Plan se ve reducido a la mitad si se elimina la gran hidráulica.

Ilustración 3-13: Objetivos PFER: potencia instalada.



Fuente: IDAE.

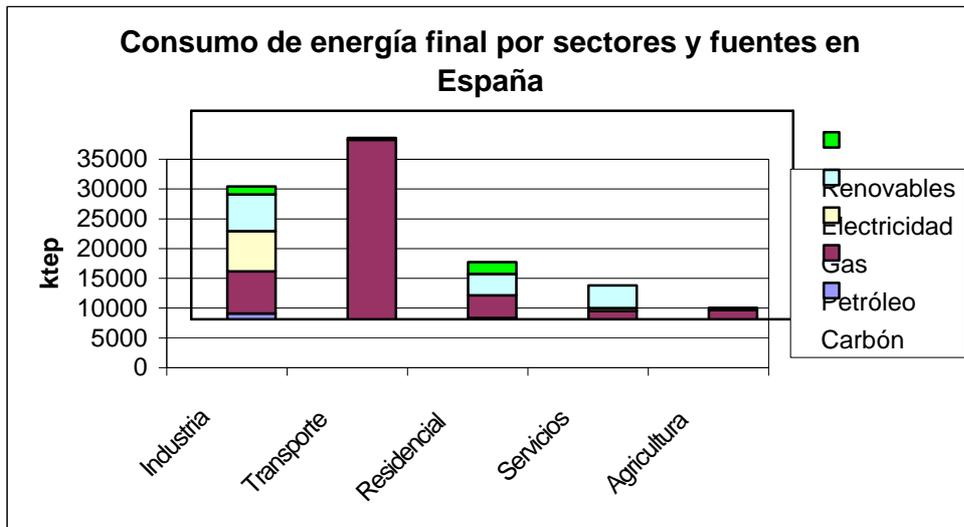
Ilustración 3-14: Objetivos del PFER: generación eléctrica.



Fuente: IDAE.

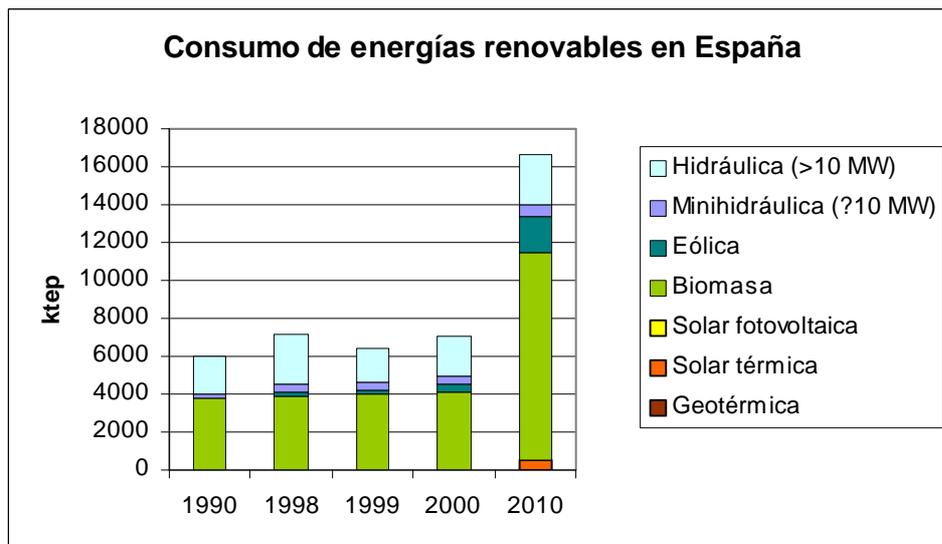
Respecto de la participación por sectores en el consumo de energía final, tan solo en el sector residencial e industrial tienen una cierta presencia. En el gráfico 2-15 se aprecia el enorme reto que suponen los transportes para los biocombustibles.

Ilustración 3-15: Consumo de energía final por sectores.



Fuente: IDAE.

Ilustración 3-16: El consumo de energías renovables en España.



Fuente: IDAE.

Ilustración 3-17: Potencia eléctrica instalada en España. UNESA.

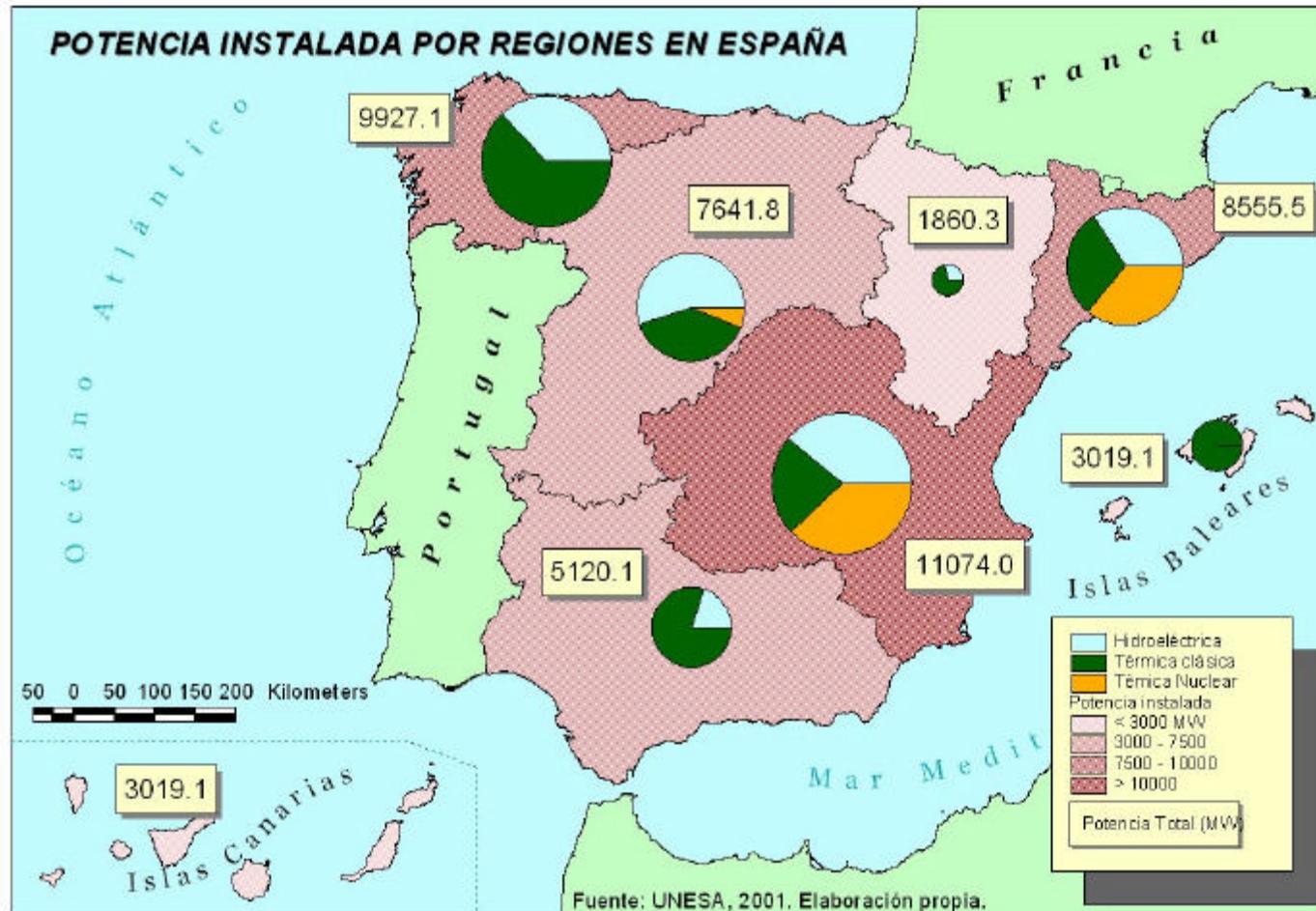


Ilustración 3-18: El consumo final de electricidad en España.



Ilustración 3-19: Producción eléctrica en España. UNESA.

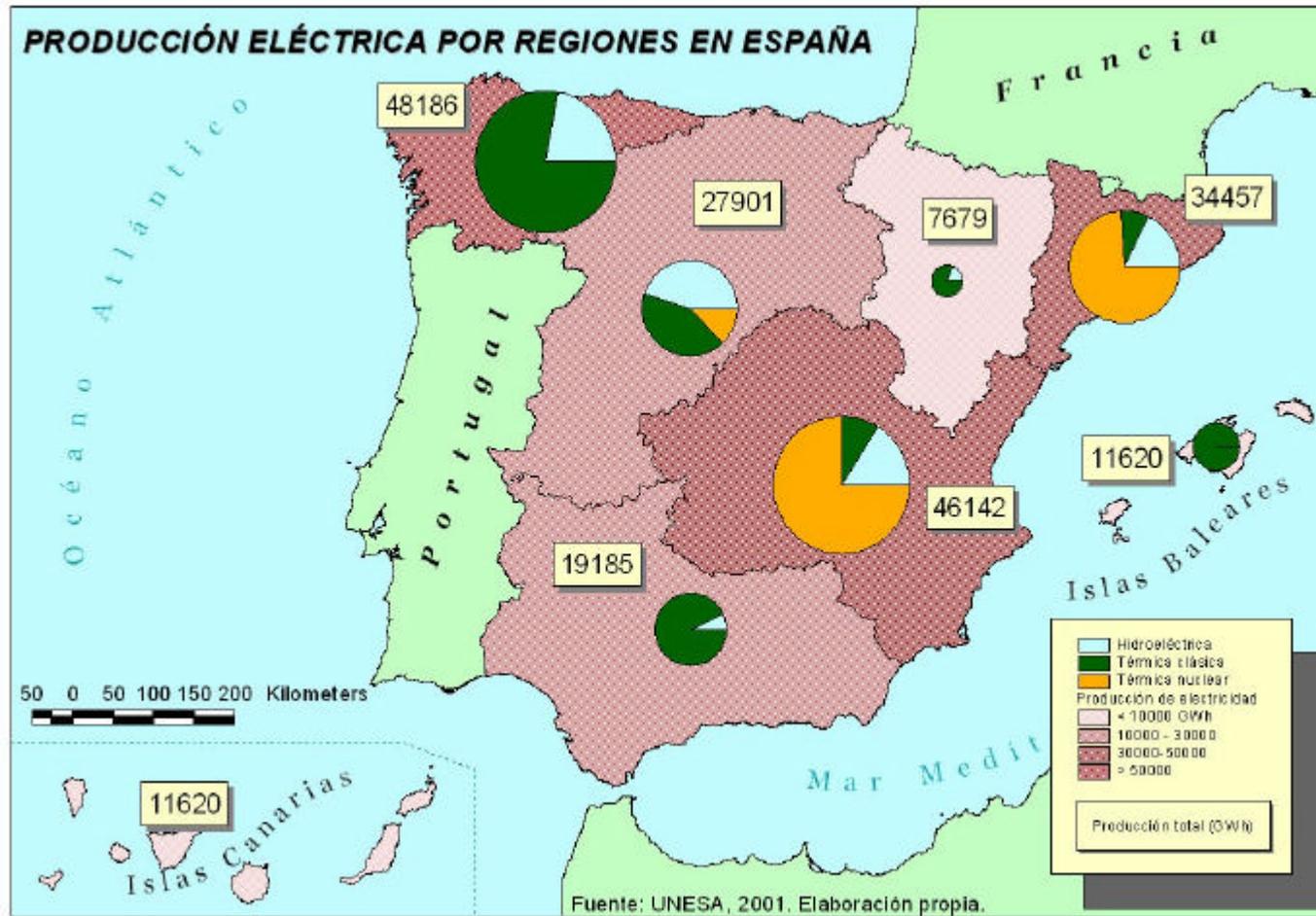


Ilustración 3-20: Grandes centrales hidroeléctricas españolas.

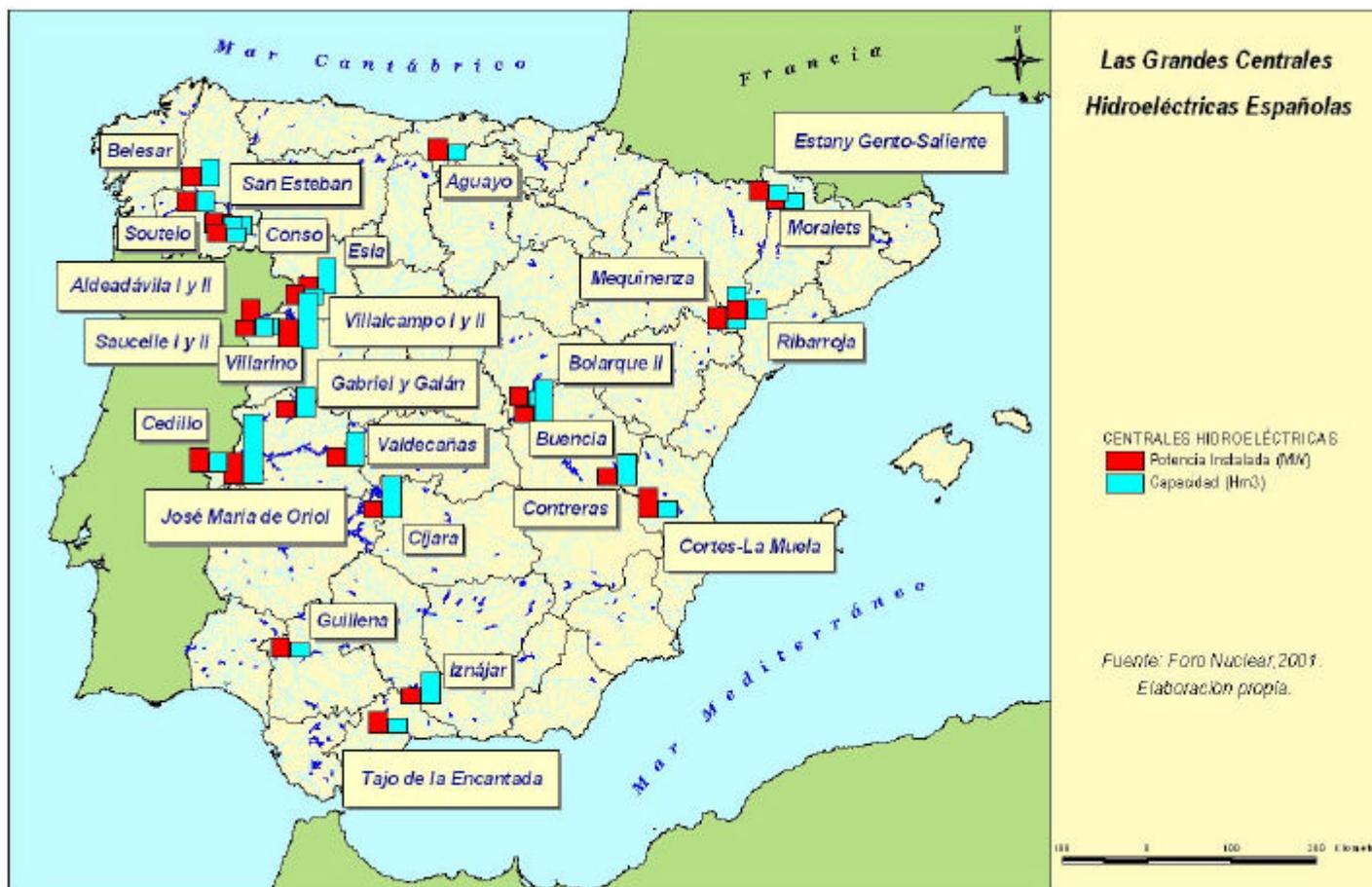


Ilustración 3-21: Las energías renovables en España: minihidráulica.:

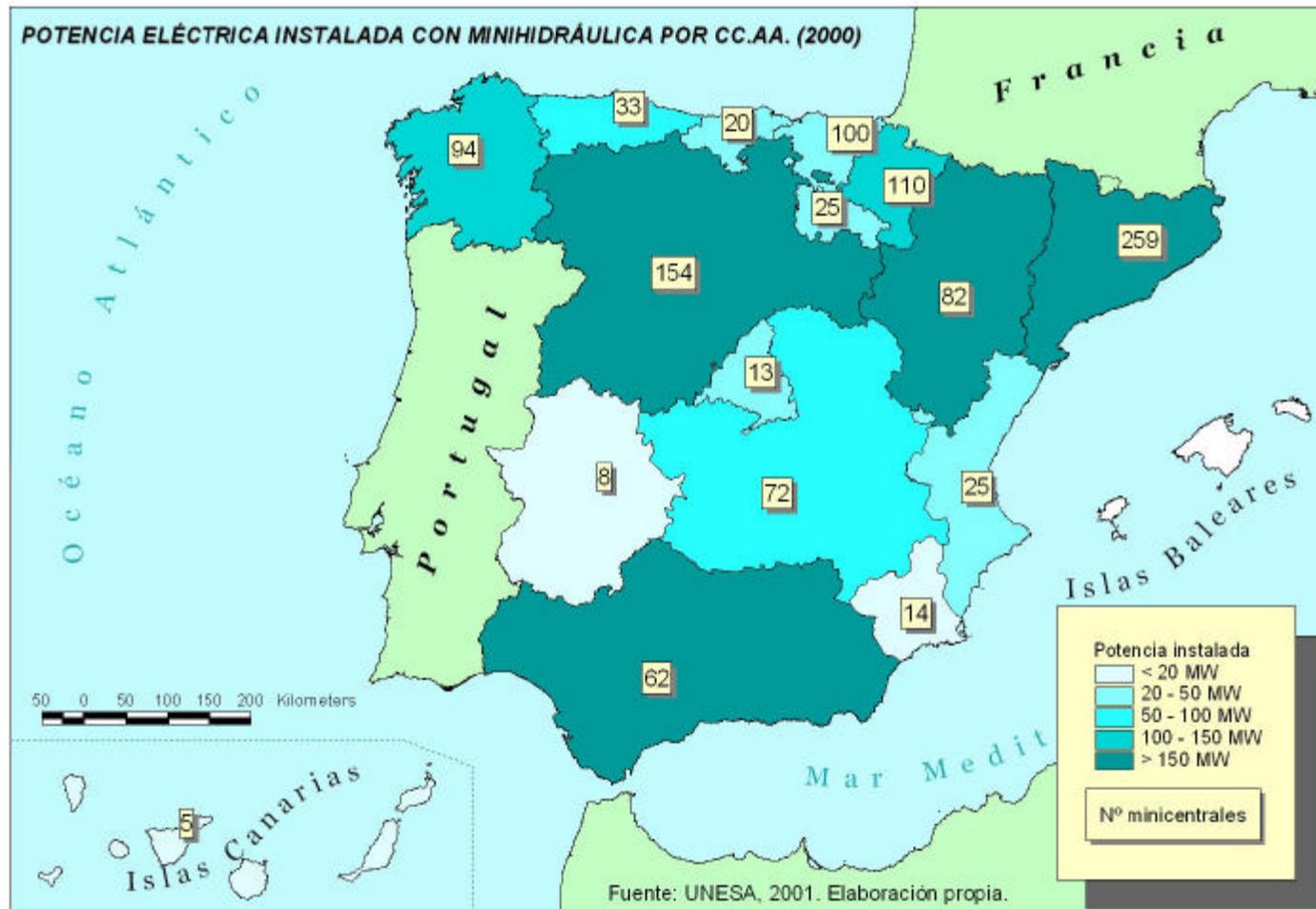


Ilustración 3-22: Las energías renovables en España: eólica.

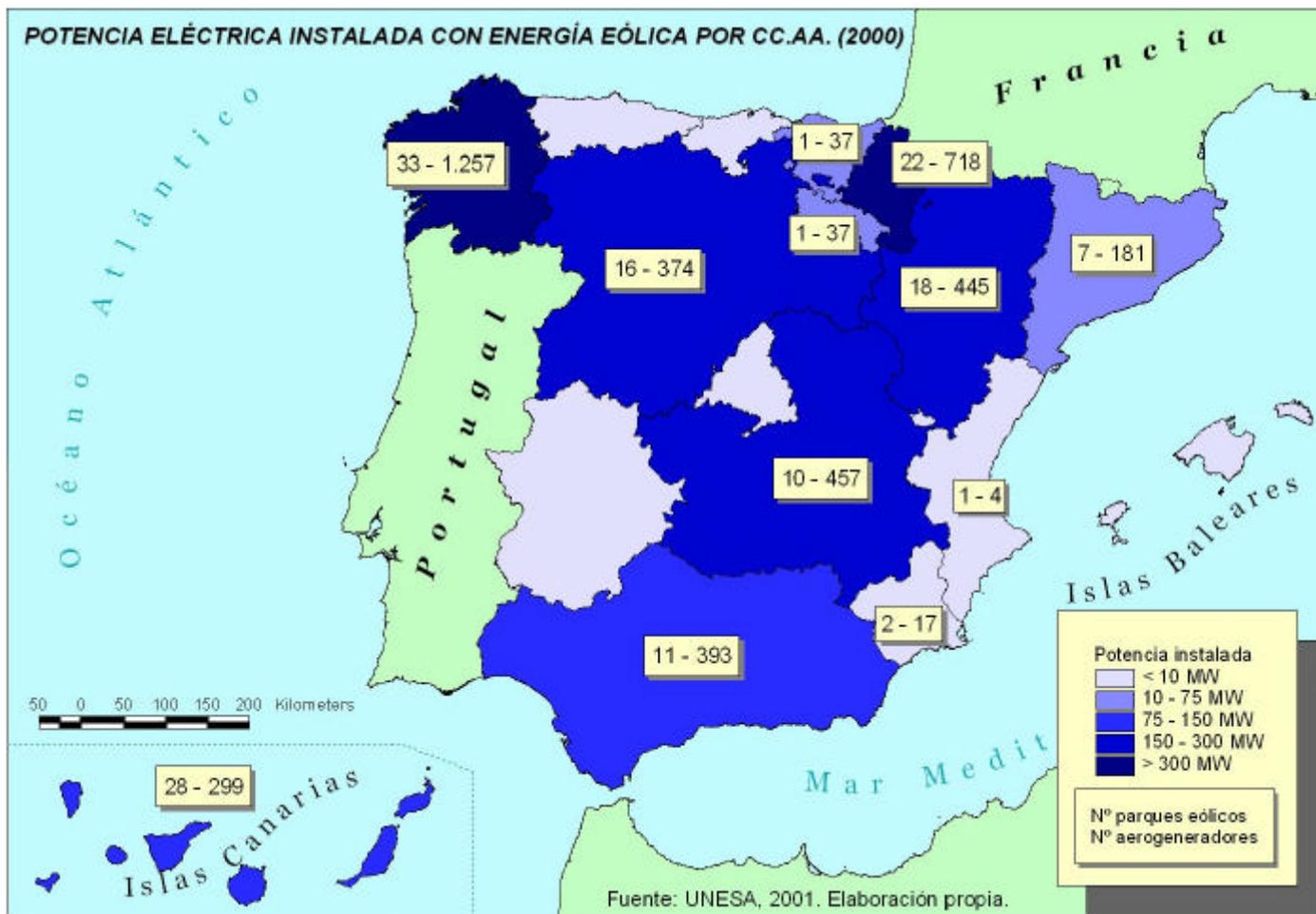


Ilustración 3-23: Las energías renovables en España: solar térmica.

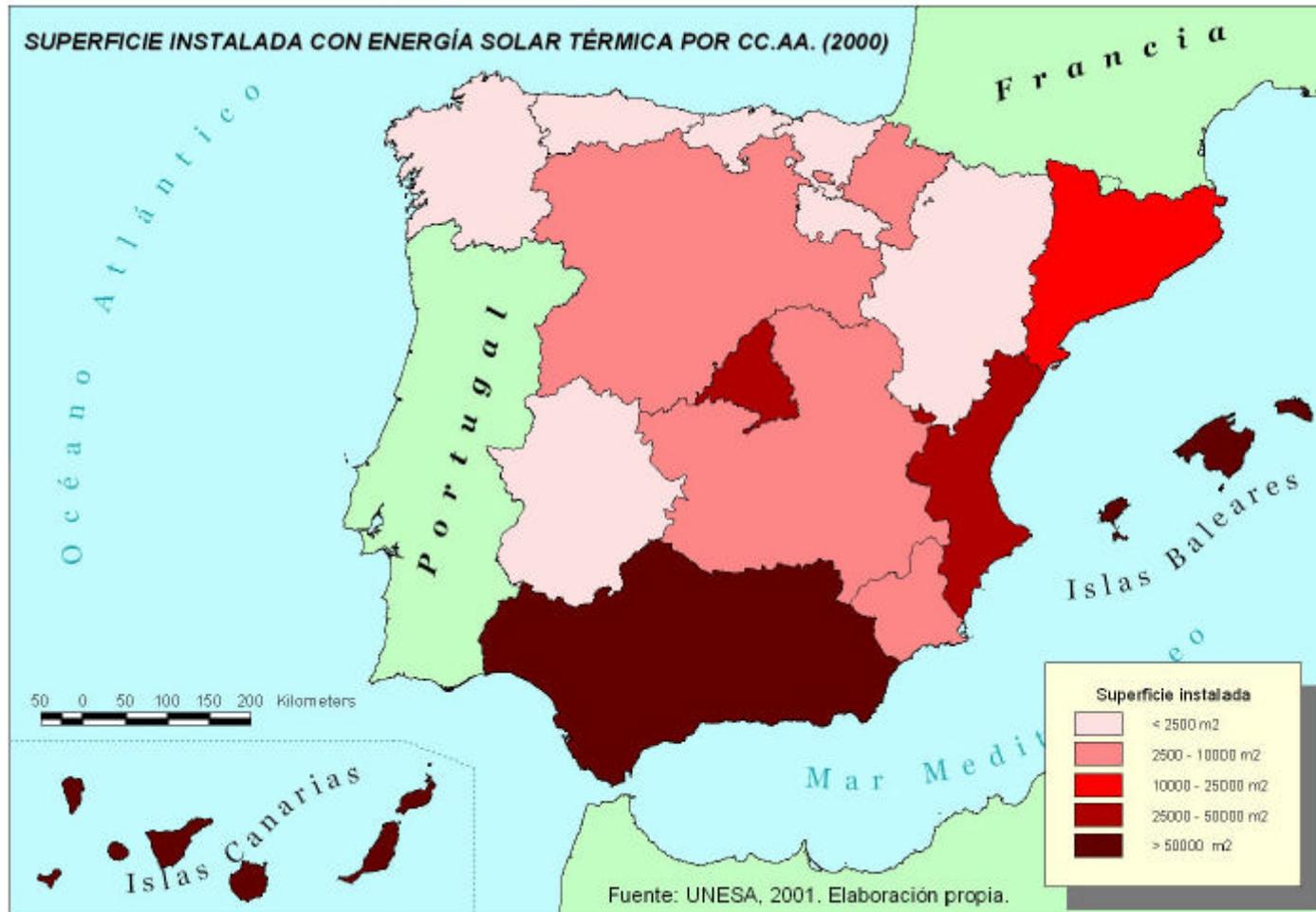


Ilustración 3-24: Las energías renovables en España: solar fotovoltaica.



Ilustración 3-25: Las energías renovables en España: biomasa.



Ilustración 3-26: Las energías renovables en España: biogás.

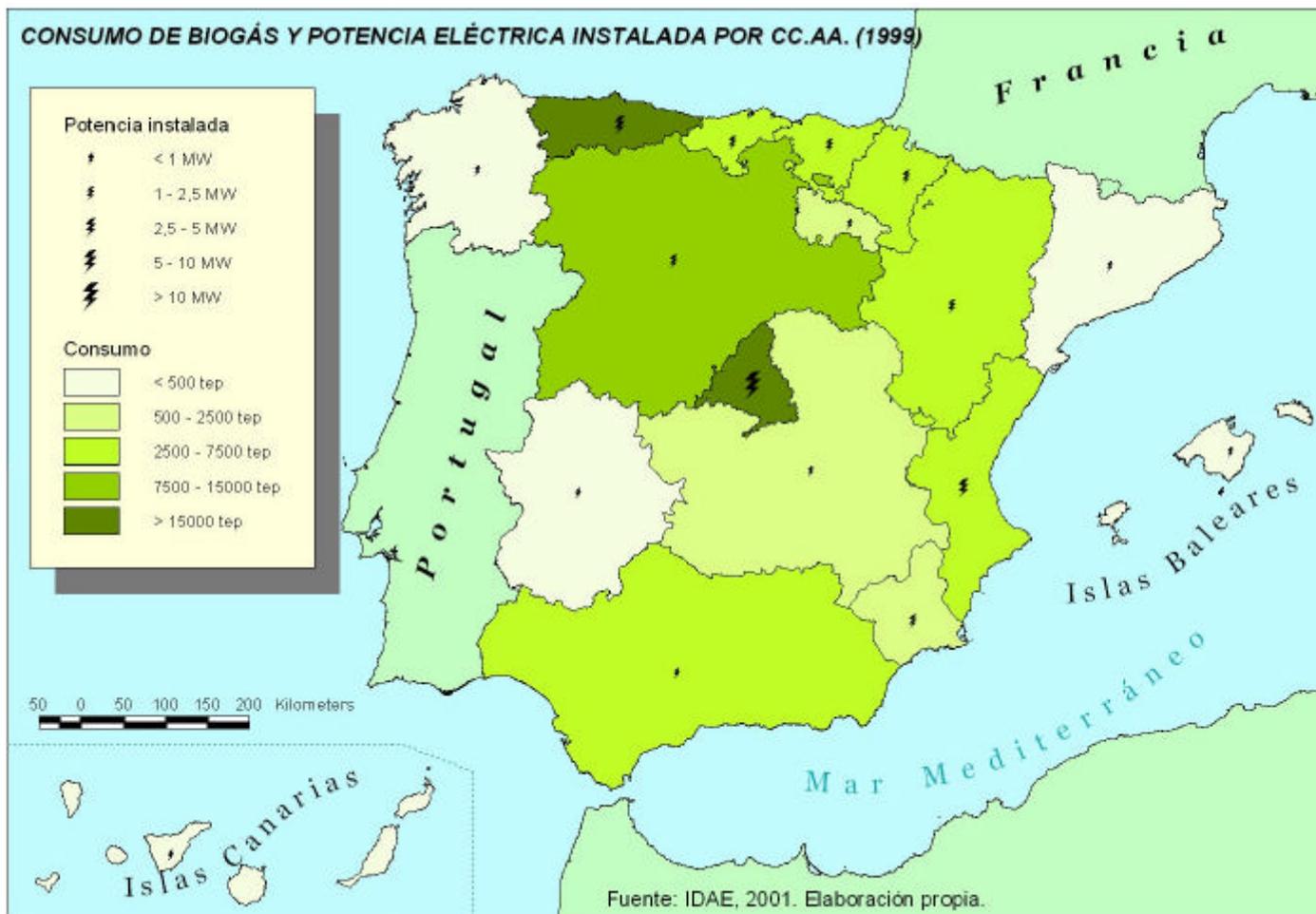
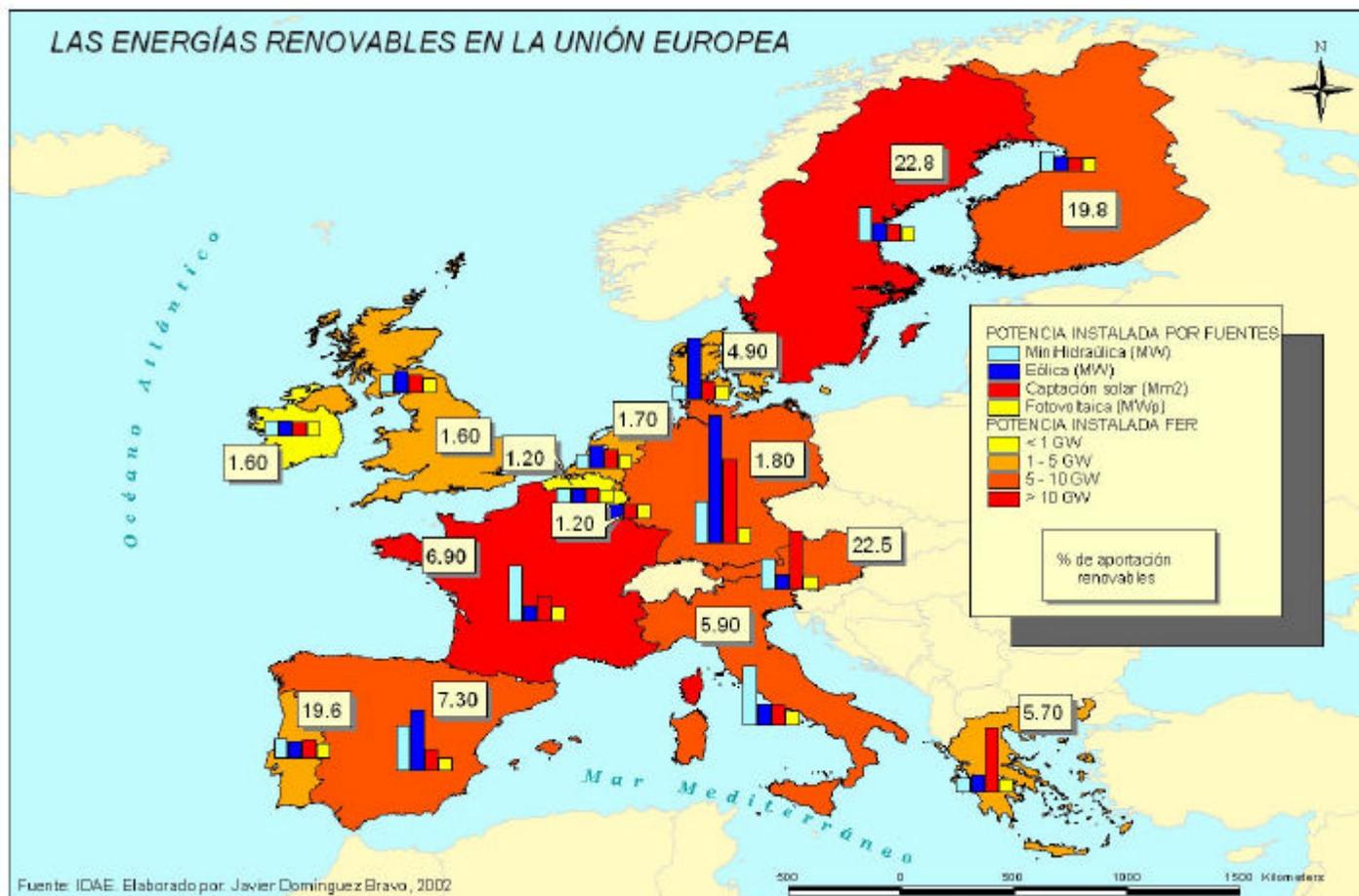


Ilustración 3-27: Las energías renovables en la Unión Europea. Potencia Instalada.



Se ha apuntado en diferentes ocasiones las especiales características geográficas de la generación con FER, pero ¿responde a similares patrones espaciales la generación y el consumo renovable en nuestro país? ¿predomina la generación descentralizada o por el contrario es más frecuente la generación distribuida conectada a la red?. A continuación se revisa el comportamiento de las distintas fuentes.

La potencia instalada en las principales centrales hidroeléctricas (Foro Nuclear, 2001, 178) supera los 8.000 MW (prácticamente la mitad de la potencia instalada en centrales de más de 10 MW), con una capacidad de embalsamiento de más de 10.000 Hm³, la mayoría en centrales de bombeo puras o mixtas. Como ya se ha comentado, las mayores concentraciones están asociadas al Duero, al Tajo y al Sil (ver mapa 2-20). La gran hidroeléctrica tiene un aprovechamiento obviamente centralizado, y en este aspecto difiere bastante del resto de las renovables y, por supuesto, de la hidroeléctrica de menor tamaño.

Respecto a la energía minihidráulica (ver mapa 2-21), España contaba a finales de 2000 con algo más de 1.000 centrales las cuales suponían una potencia instalada de 1,5 GW. De esta potencia, las comunidades con un mayor peso eran Castilla y León (237,9 MW), Cataluña (214,9), Andalucía (189,7), Aragón (187,1), Navarra (151,5) y Galicia (141,8), el resto de las comunidades tenían menos de 100 MW. Por cuencas hidrográficas, el Ebro cuenta con una potencia de 487 MW , que con los 329 de la cuenca del Norte suponen más de la mitad de la potencia minihidráulica instalada. Aunque la potencia instalada en

centrales hidroeléctricas de menos de 10 MW supone el 70% de los objetivos del Plan para esta fuente, el ritmo de crecimiento de los últimos años no permitiría alcanzar los 2.230 MW en el 2010. La generación minihidroeléctrica es pues mucho más distribuida que la gran hidroeléctrica, aunque suele estar conectada a red igualmente. Su distribución espacial responde fundamentalmente a factores hidrográficos y morfológicos (caudal y pendiente).

En el año 2000, España contaba con una potencia eólica instalada de 2.269 MW (un 25% de los objetivos del Plan para el 2010), repartida en 150 parques eólicos y con un total de 4.219 aerogeneradores de más de 75 kW conectados a red (ver mapa 2-22). Esto supone una media de más de 25 aerogeneradores por parque, lo que viene a confirmar que el modelo eólico español está basado en la concentración de máquinas en parques eólicos, frente a un modelo más distribuido como el alemán. La comunidad con un mayor número de instalaciones es Galicia²¹⁰ (1.257 aerogeneradores en 33 parques y una potencia de más de 600 MW). En la distribución de la energía eólica están influyendo fundamentalmente dos factores. En primer lugar la distribución de la velocidad media anual del viento, su orientación y el número medio de horas, y en segundo lugar la política regional (existencia o no de un plan eólico regional, apoyo institucional, trabas, etc.).

²¹⁰ *Prácticamente un aerogenerador por cada 2.000 habitantes o cuatro aerogeneradores por cada 100 km².*

Respecto de la energía solar térmica, la superficie de colectores solares instalada en el 2000 era de 400.000 m², lo que representa algo menos de un 10% de los objetivos del Plan (ver mapa 2-23). De la superficie total instalada entre 1999 y 2000, prácticamente la mitad corresponde a Andalucía²¹¹. Esta comunidad contaba en el 2000 con el 29% de la superficie total, Baleares el 18%, Canarias el 17%, y Valencia y Madrid tenían un 10% cada una.

La potencia solar fotovoltaica instalada al final del 2000 era de 12,1 MWp, es decir, el 8,4% de los objetivos previstos para el 2010. Andalucía contaba con el 30% de la potencia instalada, Cataluña el 12% y Castilla La Mancha el 10%. El resto de las comunidades tenían cifras inferiores. De estos 12 MWp, tan sólo la cuarta parte estaban conectados a red, destacando Castilla la Mancha (35%), Canarias (19), Andalucía (13) y Cataluña (10). Curiosamente, la producción de células fotovoltaicas en España en el año 2000 alcanzó los 18,7 MWp, es decir más de 6 MWp de la potencia total instalada (ver mapa 2-24). Las instalaciones fotovoltaicas son sin lugar a dudas las que más frecuentemente se realizan en lugares aislados de la red eléctrica y por tanto las que mejor responde a un modelo de producción eléctrica descentralizada y ajustada a la demanda.

En el año 2000 el consumo de biomasa alcanzó los 3.623 ktep. De este consumo, tan sólo el 8% fue en usos eléctricos. De los 100 MW de

²¹¹ Andalucía tiene un ambicioso programa en este sentido: Programa Andaluz de Promoción de instalaciones con Energías Renovables (PROSOL) para el período 2000-2006.

nueva potencia eléctrica anual previstos por el Plan tan sólo se instalaron 26, básicamente, en plantas de cogeneración con residuos agroalimentarios o de la industria papelera. Respecto a la distribución del consumo de biomasa (ver mapa 2-25), nuevamente Andalucía es la primera con un 21% del total, seguida de Castilla y León con el 11% y de Cataluña con el 8%. Castilla La Mancha, Galicia y Navarra tienen cifras de más de 200 tep por cada mil habitantes (más del 50% del consumo de biomasa corresponde a uso doméstico). El grado de cumplimiento del objetivo eléctrico alcanzado en 2000 supone sólo un 8%. De la potencia eléctrica instalada en 2000 (153 MW), el 27% corresponde a Andalucía, Galicia aporta el 21%, Aragón el 17% y el País Vasco el 12%. El comportamiento espacial en el consumo de biomasa es muy dependiente del tipo de aprovechamiento que se realice, así el aprovechamiento térmico doméstico está muy vinculado tanto a los factores de distribución del recurso como a factores sociológicos, sin embargo, la producción termoeléctrica depende más del recurso y de la política regional y de la actitud de los promotores, sobre todo en áreas con abundantes residuos procedentes de industrias agroalimentarias.

En el año 2000 se consumieron un total de 108.624 tep de biogás, de este consumo un 30% se realizó en Madrid, un 16% en Asturias y un 13% en Castilla y León (ver mapa 2-26). Respecto a la potencia eléctrica instalada, al final del 2000 se contaban con 43 MW, de los que el 44% estaban instalados en Madrid y el 11% en Asturias. El biogás es una de las FER más próximas a cumplir los objetivos del Plan. En este sentido, el

consumo se encontraba en el 73%, la potencia instalada en el 55% y la generación en el 49%. No obstante, el biogás sólo supone una aportación al plan del 0,9% en consumo de energía primaria, 0,25 en cuanto a potencia eléctrica instalada y 0,7% respecto al objetivo de generación eléctrica. El aprovechamiento del biogás está muy ligado a la existencia de vertederos con unas características e infraestructuras adecuadas.

En resumen, se puede afirmar que las desigualdades regionales detectadas en la distribución de la producción y el consumo de energía se trasladan al consumo de energías renovables. Si bien, en ocasiones, los patrones espaciales son distintos. En unos casos están muy vinculados al recurso (hidroelectricidad sobre todo), en otros dependen mucho más del consumo (biomasa para aprovechamiento térmico), en otros casos la política regional es decisiva (solar térmica en Andalucía).

Respecto de los objetivos del *Plan de Fomento* su situación al comienzo del periodo de validez del mismo es muy desigual, tanto a nivel de tecnologías como en su distribución. La energía hidroeléctrica, eólica y el biogás presentan un horizonte de cumplimiento, o incluso superación de los objetivos en un plazo razonable. Sin embargo, la energía solar, térmica y fotovoltaica, y sobre todo la biomasa, se encuentran aún muy lejos de una evolución óptima. El caso de la biomasa es especialmente grave por su gran peso en los objetivos propuestos.

Finalmente, para cerrar este apartado, puede ser útil perfilar brevemente cual es la situación a nivel de la Unión Europea. En el mapa

2-27 se representan tres variables. La potencia instalada para cuatro fuentes: minihidráulica, eólica, solar térmica y fotovoltaica; la potencia instalada en energías renovables y su aportación al balance energético de cada país.

Como se puede apreciar, los principales países eólicos de la Unión Europea (Alemania, España y Dinamarca) poseen una potencia instalada que supera a la segunda fuente en este concepto, la minihidráulica. La potencia eólica instalada en la comunidad está entorno a los 12.000 MW, mientras que la minihidráulica se sitúa entorno a los 10.000. Un hecho curioso para nuestro país es como de la superficie de captación solar instalada en la comunidad (más de 10.000 m²), tan solo 400 MW están en España. Esto resalta la necesidad de potenciar esta fuente de la que se tiene tan amplio recurso. Países como Alemania o Austria nos superan ampliamente en este concepto.

Respecto de la potencia hidroeléctrica instalada, incluida la gran hidráulica, los principales países son Francia (17 GW) y Suecia (11), seguidos de Italia (9), España (7) y Austria y Alemania con 6 GW cada uno.

La relación entre potencia y aportación de las renovables al conjunto de la generación eléctrica varía de la relación anterior, siendo Suecia, Austria, Finlandia y Portugal los países que tienen un mejor ratio entre convencionales y renovables (del orden de una quinta parte).

Como conclusión, se puede afirmar que las desigualdades nacionales a nivel de la Unión Europea en cuanto a potencia instalada, participación de las distintas fuentes y proporción renovables-convencionales son tan fuertes como las diferencias regionales dentro de España. Lamentablemente, estas diferencias no responden siempre a una lógica espacial en cuanto a la distribución del recurso o de la demanda, sino que en muchas ocasiones están asociadas a la política regional o nacional al respecto.

CAPÍTULO 4. La aplicación de los sistemas de información geográfica en el campo de las energías renovables

Las energías renovables poseen algunas características geográficas que las diferencian de otras fuentes energéticas. Así por ejemplo, presentan una mayor dispersión geográfica que las fuentes convencionales por lo que siempre se puede contar con alguna FER de *carácter autóctono*. Este factor las dota de un gran interés de cara a la diversificación y a la complementariedad en el sistema energético, colaborando con ello a disminuir la dependencia exterior. Estas características geoenergéticas, junto a la importancia de su *valor ambiental* y su *aceptación social*, hacen que los estados intervengan para fomentar su desarrollo y las incluyan como parte de la planificación energética. Esta intervención estatal se da en múltiples aspectos: políticas de precios y subvenciones, planificación energética sectorial, ordenación territorial, etc. Así mismo, las energías renovables están muy vinculadas a temas como la descentralización energética, la electrificación rural... Esta dependencia geográfica hace que los SIG puedan jugar un papel muy importante en la localización de emplazamientos, la planificación regional,

la evaluación de impactos, los análisis socioeconómicos, los análisis multicriterio, etc.

Pero si las energías renovables disponen de unas especiales “cualidades geográficas” para su tratamiento con SIG, la potencia de estas herramientas se manifiesta netamente en la incorporación del análisis geográfico a la planificación estratégica de nuevas instalaciones y en la simulación de escenarios de oferta-demanda con diferentes posibilidades tecnológicas de satisfacción. No obstante, como a continuación se verá en el estudio del estado del conocimiento de la aplicación de los SIG a este campo, las aproximaciones se realizan fundamentalmente desde una perspectiva energética, y no territorial, de forma que no se abordan las interacciones entre las estrategias energéticas con el resto de los posibles usos ni con las afecciones de cara a un futuro desarrollo del área analizada, ya que el objeto de estudio no es el territorio en su conjunto, sino la explotación de los recursos renovables y/o la satisfacción de la demanda. Esta perspectiva implica, por ejemplo, el uso generalizado de variables como las infraestructuras viarias o energéticas y otras de carácter constructivo como las pendientes, junto a las propias del recurso, la definición de la demanda y, también, una cierta caracterización medioambiental; obviando una definición más profunda e integrada de la región.

Hoy en día son numerosos los proyectos que, desde el campo de las energías renovables, utilizan los sistemas de información geográfica.

Muchos de ellos tienen un carácter sectorial y buscan la aplicación de los SIG a la resolución de problemas de localización o de evaluación de recursos para fuentes concretas. En este campo destacan los estudios para la localización de emplazamientos de parques eólicos, la electrificación con energía solar fotovoltaica o la evaluación de la biomasa con fines energéticos. Otros estudios tienen sin embargo un carácter más global. Persiguen, en muchos casos, modelizar el territorio desde una perspectiva de integración de las distintas fuentes renovables en el sistema energético regional o de solución de los problemas asociados a la electrificación rural.

A continuación se estudia el *estado del conocimiento* en la aplicación de los SIG en el campo de las FER siguiendo una clasificación en tres grandes grupos: sistemas de soporte de decisiones, basados en SIG, para la integración de energías renovables en regiones de la unión Europea, SIG para la evaluación de energías renovables en la producción distribuida (conectada a la red) de energía eléctrica y, en último lugar, SIG para la evaluación de sistemas de producción descentralizada de electricidad (aislados de la red). Esta estructura responde tanto a la lógica de la mayoría de las aplicaciones estudiadas como a una estructura tradicional en el análisis de la integración de renovables (análisis sectorial vs. análisis integrado y generación distribuida vs. generación descentralizada).

4.1. Sistemas de soporte de decisiones para la integración de las energías renovables

En la pasada década se ha realizado un esfuerzo considerable para conseguir herramientas o sistemas de soporte de decisiones a escala regional sobre energías renovables. Muchos de estos proyectos se han realizado en la Unión Europea dentro del programa APAS-RENA. Todos ellos tienen en común que emplean como base del método un sistema de información geográfica.

Tabla 4-1: Sistemas de soporte de decisiones, basados en SIG, para la integración de energías renovables en regiones de la UE.

Sistema	Países participantes	Aspectos destacados	Software
REGIS	España, Francia, Portugal y Grecia	Sociales Económicos Ambientales	ArcView
EPURE	Reino Unido, España, Francia, Alemania, Italia y Grecia	Potencial económico	MAPINFO
EnTRACK	Reino Unido, Portugal y España	Económicos Sociales Ambientales	
REPLAN	Grecia	Demanda Suministro Tecnología Escenarios	
REDES	Grecia	Gestión del agua	

A continuación se estudian con más profundidad algunos proyectos relevantes en el campo de la integración de las energías renovables utilizando SIG.

4.1.1. REGIS

El proyecto REGIS se desarrolló en dos etapas. La primera dentro del contexto del programa de investigación de la Unión Europea APAS-RENA y la segunda en el ALTENER II.

En la *primera etapa*²¹², MENS en RUIIMTE, una consultora energética belga, desarrolló un SIG para fuentes de energías renovables como instrumento de planificación energética regional, con la participación de varias regiones integradas en la Federación Europea de Agencias regionales de la energía y el medio ambiente (FEDERANE)²¹³. El sistema se dirigía a usuarios técnicos, agentes de decisión y agentes económicos; y buscaba identificar las áreas potenciales para la implementación de tecnologías de energías renovables, determinando los efectos socioeconómicos y medioambientales de la misma.

Al finalizar esta primera etapa del proyecto, cada región participante contaba con el equipamiento SIG adecuado para integrar los datos disponibles a escala regional. Además, se produjo un gran interés en las autoridades locales por el planeamiento energético regional utilizando sistemas de información geográfica. Finalmente, se desarrolló

²¹² BOURGES, D. et al. y FEDERANE (1996): "A geographical information system for large scale integration of renewable energies into regional energy markets".

²¹³ Las regiones estudiadas fueron Nord-Pas de Calais y Rhône-Alpes en Francia, Cataluña y las Islas Canarias en España, Madeira en Portugal) y la Isla de Volos en Grecia.

la parte operacional del SIG sobre la región de Nord-Pas de Calais, en Francia, tomándola como proyecto piloto²¹⁴.

La *segunda parte* se denominó “Sistema de Información Geográfica para Energías Renovables (REGIS) en Cataluña”. Estaba basado en el proyecto piloto de Nord-Pas de Calais y fue desarrollado por el Instituto Catalán de la Energía (ICAEN)²¹⁵.

El principal objetivo del proyecto REGIS es analizar el potencial energético de los recursos renovables. Para ello se basa en un sistema de información geográfica²¹⁶ sobre el que se desarrollan cuatro módulos: solar, eólico, biomasa y minihidráulica.

El sistema se caracteriza porque permite emplear distintas hipótesis, así como contemplar los impactos en el medio y establecer una valoración respecto a las barreras en la implantación de las energías renovables.

De cada tecnología renovable ofrece los siguientes resultados: energía primaria disponible de fuentes renovables, porcentaje respecto a

²¹⁴ Con anterioridad se ha estudiado la aplicación de los SIG en la planificación eólica de esta región.

²¹⁵ La información del proyecto ALTENER REGIS procede de la Jornada de presentación realizada en Barcelona el 10 de junio de 1998.

²¹⁶ ArcView 3.0 de ESRI.

la energía primaria total de la región y reducción de emisiones de CO₂ producida por su utilización.

La información geográfica utilizada en el proyecto procedía de diferentes fuentes (ICC, ICAEN...). Su composición temática era la siguiente: base cartográfica del ICC a escala 1/50.000, Modelo digital del terreno con una resolución de 1 Ha., usos del suelo en formato raster con un píxel de 30 x 30 m., líneas eléctricas de AT²¹⁷ y recursos renovables: Atlas solar, Atlas eólico y base forestal²¹⁸.

Como ya se ha apuntado REGIS consta de cuatro módulos con una filosofía común: analizar las alternativas a las tecnologías energéticas clásicas. Para desarrollar este análisis se parte de los recursos de energías renovables disponibles, y con los rendimientos de cada sistema, se obtiene la energía primaria producible por fuentes renovables. A partir de aquí se establece la reducción de energía de origen clásico, y de estos datos, se deduce la reducción de emisiones de CO₂.

²¹⁷ La información geográfica referida a la red eléctrica es un cuello de botella en numerosos proyectos. Si bien la red de alta tensión es fácil de conseguir y puede ser utilizada para proyectos de grandes instalaciones de producción de electricidad con renovables, la red de distribución, media y baja tensiones, depende de las diferentes compañías comercializadoras de electricidad, las cuales, habitualmente, ponen muchas pegas para facilitar los datos referentes a esa red. Por otro lado, esta información es de vital importancia para la integración de sistemas renovables y en especial para sistemas aislados y producción descentralizada de electricidad.

²¹⁸ Las dos últimas bases de datos fueron elaboradas específicamente para el proyecto (el atlas eólico por el ICAEN, y el forestal, realizado por encargo).

El *Módulo Solar* calcula la superficie potencialmente instalable de colectores solares en el medio urbano teniendo en cuenta tanto el sombreado como la optimización en el uso de los tejados. El dimensionamiento de las instalaciones se realiza sobre la base de la demanda de agua caliente sanitaria y calefacción del edificio (ángulos de inclinación de 45° y 60°, respectivamente, modificables). El método de cálculo se realiza en los siguientes pasos. En primer lugar se realiza un pretratamiento de los datos; a continuación se hace un cálculo inicial del número máximo de captadores y de su ubicación; seguidamente se calcula el número de captadores teniendo en cuenta las sombras²¹⁹ (la resolución de los cálculos es de 15 minutos) y eliminando los menos efectivos; por último, se realiza el dimensionamiento de la instalación sobre la base de la demanda y a una fracción solar máxima.

El *Módulo Hidráulico* permite calcular el caudal y la producción anual. Parte de las curvas de caudales clasificados y solo considera centrales de agua fluyente. En el futuro se incorporará las restricciones por concesiones administrativas al uso del agua. Utiliza como información base la siguiente: red hidrográfica; datos del estudio sobre la “Evaluación de pequeñas centrales hidráulicas en Cataluña”, realizado por el ICAEN; bases de datos de aprovechamientos energéticos en Cataluña y datos de

²¹⁹ Habitualmente, la distancia entre paneles se calcula para que no se produzcan sombras a las 12,00 horas del solsticio de invierno.

aforos. Para la realización del estudio se dividen los ríos considerados en tramos sobre la base de las aportaciones importantes y desniveles de 100 metros. A partir del régimen real de cada aforo se determina el régimen real de cada tramo considerado. El caudal ecológico se puede indicar de distintas formas: como un porcentaje del caudal medio, en valor absoluto o como un porcentaje del valor del caudal en función del tiempo. Para los cálculos se tienen en cuenta los siguientes datos: la pérdida de carga que permite obtener el salto neto a partir del salto bruto, el caudal ecológico y los rendimientos del multiplicador de la turbina (si existe), del generador, del transformador y el motivado por paradas por mantenimiento.

En el *Módulo biomasa* únicamente se toman en consideración los residuos forestales. El mapa correspondiente a este módulo está basado en datos procedentes del Mapa Forestal de Cataluña y del Mapa Forestal Nacional (con crecimiento y excedentes) y aporta información por polígonos de especies dominantes. Así mismo, tiene en cuenta la accesibilidad de las distintas zonas según la distancia a una pista forestal, camino o carretera, menor a un valor que puede modificarse; y elimina las zonas con pendientes superiores a un valor dado, aunque en este caso se detectan problemas con la matriz de alturas debido a su escasa resolución espacial. El cálculo del potencial de aprovechamiento de la biomasa se realiza sobre la base de dos posibilidades: el contenido energético y el tipo de explotación forestal; teniendo así en cuenta que en el cálculo anual del aprovechamiento se pueden establecer dos hipótesis

de tala: una explotación de tipo ecológico u otra más intensiva. Para la conversión energética se calcula el poder calorífico interno sobre la base a la humedad y frondosidad de la biomasa. Posteriormente se calcula el poder calorífico inferior o PCI²²⁰ para cada una de las treinta especies consideradas en Cataluña. A partir de aquí, y sobre la base de la información anteriormente señalada, se estima la energía primaria disponible y se establece el análisis de sustituciones anteriormente indicado.

El *Módulo eólico* tiene como objetivo la evaluación de emplazamientos para parques eólicos teniendo en cuenta las restricciones ambientales (parques naturales, cercanía a poblaciones, etc.). Para ello utiliza una serie de capas con la siguiente información: infraestructuras viales, aeroportuarias y de distribución eléctrica de AT, núcleos de población, espacios naturales protegidos y Atlas eólico de Cataluña²²¹. Para obtener la energía producida por el parque se calcula el parámetro \bar{v} medio de una superficie determinada alrededor del parque considerando una distribución de Weibull y la curva de potencia del aerogenerador. Este módulo realiza también un análisis de visibilidad con

²²⁰ *El PCI permite comparar el comportamiento energético entre distintas especies de biomasa.*

²²¹ *Con una resolución de 500 m. y un valor de velocidad media anual a 10 m. de altura.*

dos alternativas: número de aerogeneradores visibles desde un punto determinado y zona desde donde es visible un aerogenerador concreto.

4.1.2. EPURE²²²

El proyecto EPURE fue financiado por la Comisión Europea en el marco del programa APAS-RENA. Su objetivo general consistía en pasar de la evaluación de los recursos potenciales de energías renovables a la evaluación del potencial económico de cara a la inversión. El objetivo específico era identificar que regiones de las estudiadas en la Unión Europea tenían recursos renovables competitivos económicamente con un aceptable nivel de riesgo. Para ello se intentó estandarizar los datos de recursos y demanda. En ese sentido, se estableció un método general para la evaluación de recursos, que tenía en consideración tanto las zonas potenciales como los aspectos económicos, técnicos y funcionales.

En la evaluación del recurso potencial, se consideraban las áreas protegidas y excluidas y datos estadísticos disponibles en cada región. También se realizaba un análisis económico para calcular la TIR, que incluía los costes de capital, costes de operación y mantenimiento, costes de combustible e ingresos de producción. Por su parte, el análisis de parámetros técnicos incluía los materiales disponibles para diferentes

²²² RIALHE, A. (1996): "Epure project : Economical potential use of renewable energy", págs. 85-90.

formas de producción de energía, las eficiencias de conversión y los factores de carga. Por último, se considero el análisis de factores organizativos, sociales y legales en cada país.

Como se indica en el esquema anterior, el análisis económico está basado en el cálculo de la TIR para distintos escenarios. Este análisis económico se ha realizado teniendo en cuenta el contexto legal concreto de cada región. La tasa interna de retorno se ha calculado en la situación actual y en cuatro escenarios caracterizados, cada uno de ellos, de la siguiente forma: un año de retraso en la construcción, 10% de incremento en el coste de la misma, reducción de ingresos debido a fluctuaciones de las tarifas o disminución de la producción y reducción del tiempo de generación.

La metodología está basada en el empleo de un SIG²²³ que ha permitido construir una herramienta de valoración de recursos atractivos a los inversores, transferible a todas las regiones consideradas en el proyecto²²⁴.

²²³ El sistema utilizado en este proyecto fue MAPINFO.

²²⁴ Estas regiones se encuentran en seis países europeos: Francia (centro y Rhône-Alpes); España (Cataluña); Reino Unido (Gales); Alemania (áreas de costa y montañosas); Italia (Cerdeña, Sicilia y Lombardía); Grecia (toda Grecia y Creta).

4.1.3. EnTRACK²²⁵

El proyecto se basa en el presupuesto de que las energías renovables pueden ser promovidas en Europa a través de herramientas de planificación y gestión de energía personalizadas con información que describa los aspectos temporales y geográficos de los modelos locales de demanda y suministro. El objetivo de EnTrack es establecer un sistema de soporte de decisiones que evalúe opciones de integración de las energías renovables.

Como respuesta, el proyecto desarrolla un sistema experto y una base de datos de energías renovables para su utilización regional por planificadores y directivos energéticos. El sistema experto se apoya en un SIG para distintas tareas, enviando y recibiendo información de él, con el objetivo básico del emparejamiento de perfiles de suministro y demanda de energía cuando se imponen restricciones ambientales, sociales y económicas apropiadas, tanto en la actualidad como en escenarios futuros.

La validación del sistema se realiza a través de pruebas de campo en una serie de regiones de la Unión Europea (ver tabla 4-2).

²²⁵ CLARKE, J., et al. (1996): "Integration of renewable energies in European Regions", págs. 97-103. Y CLARKE, J., y A. D. GRANT (1996): "Planning support tools for the integration of renewable energy at the regional level", págs. 1090-1093.

El sistema experto se controla a través de mapas sensibles y menús relativos, los cuales dan acceso a gran variedad de análisis y facilitan la producción de informes. La principal aportación de Entrack respecto a las tecnologías actuales es la evaluación de recursos en función del tiempo. El sistema experto puede manejar distribuciones temporales de recursos renovables y correlacionarlas con las correspondientes series de demanda, en función de factores económicos, sociales y medioambientales.

Tabla 4-2: Regiones estudiadas en el proyecto EnTRACK y sus principales características.

Región	País	Superficie	Población	Consumo
Highland (Escocia)	Reino Unido	25.600 km ²	200.000 hab.	1,88 10 ⁸ kWh
Vale do Douro Norte	Portugal	12.000 km ²	500.000 hab.	8,12 10 ⁸ kWh
Andalucía	España	87.268 km ²	7.100.060 hab.	1,38 10 ¹¹ kWh

Debido a la escasez de datos de suministro de energías renovables, se han desarrollado varios programas de simulación. Uno de ellos, denominado RENSIM, calcula la energía eléctrica producida por diversas fuentes renovables.

4.1.4. REPLAN²²⁶

El proyecto REPLAN, tiene como objetivo establecer una metodología de integración a gran escala de energías renovables en las regiones europeas²²⁷. Para ello se ha establecido un proceso que emplea como herramienta base un paquete informático que consta de cuatro módulos organizados e interconectados: demanda de energía, suministro, tecnología y generación de escenarios.

El *módulo de demanda de energía* calcula las necesidades energéticas de todas las actividades de uso final en la región considerada. Debido a la escasez de datos, estos son estimados empleando modelos descriptivos. Los resultados obtenidos representan valores medios anuales y pueden ser manejados por un SIG.

El *módulo suministro* aporta información de la distribución de recursos renovables. Permite calcular el potencial disponible de las distintas fuentes de energías renovables a escala regional.

El *módulo tecnología* contiene una base de datos con las características técnicas de las tecnologías para aplicaciones de uso final y para el sector de generación eléctrica.

²²⁶ DIAKOULAKI, D. et al (1996): "Implementing large scale integration of renewable a pilot study for operational plans and policies (REPLAN)", págs. 107-115.

²²⁷ El método se aplicó en Grecia.

El *módulo generador de escenarios* maneja la información generada por los anteriores y establece una conexión interactiva con el usuario que le permite ponderar los criterios de evaluación de los distintos escenarios. De acuerdo a los porcentajes de las tecnologías elegidos por el mismo, el módulo suministra información sobre la estructura del sistema energético, la cantidad de recursos renovables empleados y el número de instalaciones necesarias para la realización del escenario, el potencial renovable sin explotar y los impactos económicos, medioambientales y sociales, asociados con el escenario definido.

4.1.5. REDES (SIG para desalinización de agua)²²⁸

REDES es una herramienta metodológica para la evaluación de la rentabilidad del empleo de energías renovables en instalaciones de desalinización de agua, que incluye un sistema de soporte de decisiones que opera sobre un SIG.

El proyecto se ha desarrollado en Grecia²²⁹ siguiendo las siguientes etapas: evaluación de las necesidades de agua según su uso, evaluación de los recursos de energías renovables, determinación de los recursos disponibles de agua de mar o salobre y evaluación de los

²²⁸ ALEXOPOULOU, S., (1996): "A decision support system for the integration of renewable energy sources into water desalination systems (REDES)", págs. 247-254.

²²⁹ Aunque aplicado a Grecia el sistema debe de ser válido para cualquier país del área mediterránea.

métodos de desalinización y de las posibilidades de las energías renovables.

Para el desarrollo del proyecto se elaboró un SIG que incorporaba información sobre las necesidades de agua, su disponibilidad, los recursos energéticos existentes, la experiencia en desalinización, etc. La información así almacenada constituye la base para el desarrollo de un *sistema de soporte de decisiones* que selecciona la opción más apropiada de desalinización con energías renovables, suministrando agua para varios usos. El sistema posee también un conjunto de datos que le permite cuantificar los impactos ambientales, sociales e institucionales de cada aplicación examinada. Además también tiene en cuenta restricciones económicas y financieras. Todos estos impactos que caracterizan cada sistema de desalinización constituyen el criterio de evaluación.

4.2. SIG y generación dispersa de electricidad con energías renovables

Tabla 4-3: Aplicación de los SIG a la producción distribuida de electricidad con fuentes de energías renovables.

Fuente	Aspectos estudiados	Autor	Zonas	Principales variables
Eólica	Recursos	Elliot	Varios países en distintos continentes	Viento Fisiográficos-topográficos
		Matthies	UE	Medioambientales y patrimonio natural y cultural
	Instalaciones Párques eólicos	Voivontas	Grecia	Infraestructuras y núcleos Usos del suelo
		Petit	Francia	
Fotovoltaica	Tejados	Marnay	EEUU	Radiación Precios Población
Biomasa	Recursos	ALTENER	España (La Rioja)	Administrativas Infraestructuras
		Voivontas	Grecia	Usos del Suelo Edafología
	Instalaciones	Graham	EEUU	Topografía Núcleos

4.2.1. SIG y energía eólica: evaluación y localización de emplazamientos para parques eólicos

Frecuentemente, los modelos para la evaluación de los recursos eólicos y la selección de los emplazamientos más adecuados para su explotación incorporan herramientas de análisis geográfico.

Los MDT²³⁰ fueron una de las primeras herramientas utilizadas para la localización de emplazamientos eólicos (Wendell et al, 1993)²³¹ debido a la gran importancia de los factores orográficos (elevación, pendiente, morfología...) en el aprovechamiento de esta fuente de energía. Así mismo, herramientas habituales en la evaluación de recursos eólicos como el WAsP, incorporan módulos de análisis de la topografía y de la rugosidad. En ocasiones, se han incorporado SIG *comerciales* (IDRISI, MAPINFO, ARCINFO...) con los que se pretende realizar un análisis más global de las posibilidades de explotación de los recursos. En algunos casos, el estudio se centra en la propia evaluación de los recursos disponibles teniendo en cuenta las *limitaciones* para la instalación de parques y con el principal objetivo de elaborar un **mapa de recursos eólicos**. Así por ejemplo los abundantes trabajos de D. Elliot²³² para el National Renewable Energy Laboratory (NREL) del Departamento de Energía de los Estados Unidos, o los estudios realizados en Italia²³³, Suecia²³⁴ o España²³⁵ entre otros.

²³⁰ Modelos digitales del terreno.

²³¹ WENDELL et al. (1993): "Applicability of digital terrain analyses to wind energy prospecting and siting"

²³² Uno de sus últimos trabajos es el Mapa de Recursos Eólicos del Estado de Vermont. ELLIOT (1999).

²³³ BOTTA et al. (1994): "A preliminary evaluation of the wind resources in central and southern Italy". EWEC'94.

²³⁴ HILLRING, B. y R. KRIEG (1998): "Wind energy potential in Southern Sweden...".

De gran interés en la evaluación de recursos es el trabajo desarrollado por Matthies (1994)²³⁶ sobre el potencial eólico para la instalación de parques eólicos dentro de la plataforma litoral (*offshore*) de la Comunidad Europea. En este proyecto se toman en consideración variables fisiográficas tales como la línea de costa, batimetría y pendientes, y variables con un carácter *restrictivo* para su explotación: rutas de navegación, espacios protegidos, áreas de defensa e infraestructuras energéticas tales como oleoductos, líneas eléctricas submarinas, plataformas petrolíferas.... El SIG permite incorporar estas variables y volver a calcular los resultados en función de la ponderación de la distancia a la costa (hasta un máximo de 30 km.) y la profundidad del agua (hasta 40 m.).

No obstante, los ejemplos que más abundan son los de proyectos de localización de parques eólicos. A continuación se estudian más en detalle varios ejemplos. El primero de ellos, descrito por Voivontas (1998, págs. 333-344)²³⁷, está diseñado para la evaluación de emplazamientos

²³⁵ En el siguiente capítulo se describen más en detalle alguna de estas aplicaciones en España. Al respecto se pueden consultar J. NAVARRO et al. (2000): "Wind Resources Map of the Madrid Region (Spain)" y, también, J. DOMÍNGUEZ et al. (1996): "Wind Resources Assessment and Wind Farm Site Selection using Geographic Information Systems".

²³⁶ H. MATTHIES et al. (1994): "An assessment of the offshore wind potential in the EC". Para más detalles sobre este proyecto se puede consultar el Informe completo en H. Matthies (1993): "Study of offshore wind energy in the EC".

²³⁷ D. VOIVONTAS et al. (1998): "Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system".

en la Isla de Creta (Grecia). El segundo ejemplo, desarrollado por el Consejo Regional de Nord-Pas-de-Calais y descrito por Caroline Petit (1995, págs. XVI-XVIII)²³⁸, se desarrolla a partir del *sistema de información geográfica y análisis ambiental* (SIGALE) de esta región francesa. En último lugar, se incluye un ejemplo reciente en el cual se analizan las ventajas de la evaluación de emplazamientos con SIG en el Reino Unido (Baban y Parry, 2001)²³⁹.

El sistema desarrollado por Voivontas para la *planificación de parques eólicos en la Isla de Creta (Grecia)*, permite determinar el potencial eólico explotable desde una perspectiva económica. Para ello evalúa el potencial teórico y, a partir de él, el potencial disponible, aplicando restricciones relacionadas con la accesibilidad (zonas muy elevadas o con una fuerte pendiente), la seguridad (núcleos urbanos, aeropuertos), el impacto visual (núcleos y zonas de alto valor arqueológico) y las limitaciones legales (zonas protegidas).

El potencial técnico se calcula suponiendo que los lugares disponibles son explotados en su totalidad por parques eólicos con un tipo de aerogeneradores dado.

²³⁸ C. PETIT (1995): "Winds of change. GIS helps site wind farms in France". *GIS Europe*.

²³⁹ S.M.J. BABAN y T. PARRY (2001): "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK". *Renewable Energy*.

El potencial económico se determina teniendo en cuenta la accesibilidad a las carreteras y a la red eléctrica. Este potencial puede establecerse sobre la base al coste de la energía producida, para lo cual se emplea como parámetro el LEC²⁴⁰; o en función de la rentabilidad de una inversión concreta, para lo cual se calcula la TIR²⁴¹. Se puede obtener información adicional a través de un análisis de sensibilidad del porcentaje subvencionado y de los costes de capital.

Voivontas (1998) describe la aplicación de esta metodología a la Isla de Creta, donde puede comprobarse la potencia del sistema para localizar los lugares más adecuados para la instalación de parques eólicos.

El objetivo del proyecto descrito por C. Petit (1995) para la *planificación de parques eólicos en la región de Nord-Pas-de-Calais (Francia)*, era inventariar las zonas con los mejores recursos eólicos cuya explotación fuese sencilla considerando tanto las restricciones por factores naturales como antrópicos.

El proyecto se desarrolló en tres etapas: identificación de áreas con un recurso eólico suficiente, evaluación de emplazamientos y dimensionamiento de los parques.

²⁴⁰ *Levelized electric cost o coste de electrificación equivalente.*

²⁴¹ *Tasa interna de retorno.*

Para definir las áreas potencialmente utilizables se realizó el estudio de la velocidad media anual del viento a 30 m. de altura con WAsP²⁴², identificando las áreas con una velocidad superior a 7 m/s²⁴³.

Para la prospección de emplazamientos potenciales se utilizó el SIG del Consejo Regional de Nord-Pas-de-Calais (SIGALE), con la información contenida en el mismo se consideraron varios tipos de restricciones para la construcción de un parque eólico: ambientales, técnicas, de seguridad, económicas..., según se puede apreciar en la tabla 4-4.

Tabla 4-4: Principales restricciones para el emplazamiento de Parques eólicos en Nord-Pas de Calais (Francia).

Incompatibilidad en el uso del suelo, espacios protegidos o con un alto valor ambiental.
Zonas situadas a menos de 300 m. de un núcleo urbano o zona residencial (minimización del impacto visual y acústico).
Zonas situada a menos de 100 m. de una masa forestal (generación de turbulencias).
Zonas con restricciones aeronáuticas (seguridad área, interferencias radioeléctricas, seguridad civil y militar).
Lugares con mala accesibilidad a la red eléctrica o por ser esta excesivamente débil para soportar la conexión de un parque eólico
Zonas con una superficie insuficiente para la ubicación del parque.

Fuente: C.Petit, 1995.

Como resultado se seleccionaron trece emplazamientos potenciales. Para su dimensionamiento se utilizó un *análisis multicriterio*

²⁴² *Wind Analysis and application program. WAsP es una de las herramientas de evaluación de emplazamientos de parques eólicos más difundida. Está desarrollada por RIS? en Dinamarca.*

²⁴³ *En la actualidad se consideran como explotables velocidades inferiores a esta.*

con base a la siguiente ponderación de las variables: el potencial eólico suponía el 50% del valor, mientras que la otra mitad se repartía a partes iguales entre las variables ambientales (paisaje, ruido...) y territoriales (disponibilidad, accesos, red y visibilidad). Estos trece emplazamientos podían acoger unos 150 aerogeneradores con una potencia instalada de entre 60 y 70 MW y una producción anual de 200 GWh.

Serwan Baban (2001) desarrolla un interesante trabajo sobre *evaluación de emplazamientos para parques eólicos en el Reino Unido*²⁴⁴ tomando como base un sistema de información geográfica.

El proyecto se basa en la definición de una serie de criterios para la localización de parques eólicos (ver tabla 4-5). Posteriormente, estos criterios se incorporan a un SIG²⁴⁵ como capas de información. Estas capas se evalúan con dos métodos diferentes, uno con igual peso para todas las variables o capas y otro con una clasificación ponderada, con el fin de poder comparar los resultados de ambas metodologías. El resultado es una mapa de susceptibilidad con una gradación de 0 a 10, donde 0 serían las mejores localizaciones y 10 las zonas no viables.

Para este autor, el importante incremento de la producción de electricidad con energía eólica no se debe sólo a la mejora de la

²⁴⁴ BABAN y PARRY (2001): "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK". *Renewable Energy*, págs. 59-71.

²⁴⁵ En el proyecto se utilizó IDRISI de la Universidad de Clark.

tecnología sino también a la mejora en la localización de los parques eólicos. Junto a ello, los estudios de localización no sólo se deben de basar en la viabilidad económica de la instalación, sino también en la reducción de los impactos ambientales locales (intrusión visual y acústica, interferencias electromagnéticas y posibilidades de colisión de aves). Estas características hacen que los SIG adquieran una notable importancia en estos estudios por su capacidad para “manejar y simular las restricciones físicas, económicas y medioambientales”²⁴⁶.

El proyecto se desarrolla en tres fases: en la primera se definieron los factores de localización (WFLC)²⁴⁷, a continuación se desarrolló un SIG de criterios de localización en el Reino Unido y, por último, se aplicaron los criterios de localización y se realizó la evaluación de los resultados.

El desarrollo de los *criterios de localización de parques eólicos* (WFLC) se basa en dos fuentes: por un lado la revisión de la literatura existente sobre el tema, y por otro la realización de una encuesta entre los agentes públicos y privados implicados a fin de identificar los criterios, políticas y factores utilizados por diversas organizaciones para la identificación de áreas de aprovechamiento eólico.

²⁴⁶ BABAN (2001), pág. 60 y 61.

²⁴⁷ *Wind farm location criteria.*

Con este motivo se realizó un cuestionario que incluía cuatro apartados: los criterios utilizados en la localización de nuevas áreas para parques eólicos, las restricciones consideradas en la definición de estas áreas, las políticas reguladoras del gobierno central que afectan al proceso de localización y otras cuestiones específicas relativas a la velocidad y dirección del viento, la morfología del terreno, la distancia desde los emplazamientos a las vías de comunicación, el ruido y aspectos estéticos.

La encuesta se distribuyó entre cien ayuntamientos y doce empresas promotoras de parques eólicos, de los que contestaron el 60% de los primeros y el 30% de los segundos.

Respecto a los criterios utilizados, una cuarta parte de las organizaciones consultadas poseían un documento de localización que incluía factores físicos, económicos, medioambientales, recursos y consideraciones de planeamiento.

Respecto a las restricciones consideradas varían de los ayuntamientos a las promotoras. Entre los primeros desatacan la proximidad a las áreas residenciales, el ruido, el llamado *shadow flicker*²⁴⁸, la protección de los cinturones verdes en torno a los núcleos, la topografía, aspectos ecológicos, la clasificación del suelo agrícola, las

²⁴⁸ *Perturbación de baja frecuencia de la señal eléctrica.*

áreas de conservación y la distancia a la red eléctrica. Sin embargo las principales restricciones de los promotores eran: la velocidad del viento, la dirección dominante, el terreno del parque y el adyacente, la vegetación, la proximidad a áreas residenciales, el ruido y el aspecto. Existía, como se puede apreciar, una cierta disparidad entre criterios sociales y económicos en función de los objetivos de los diferentes encuestados.

Tabla 4-5: WFLC: criterios y restricciones para la localización de parques eólicos.

Criterios	Factores limitantes	Consideración
1. Evitar crestas de altas colinas	Topografía	Físicos
2. Pendiente < 10 %	Topografía	
3. Orientación oeste	Dirección del viento	
4. Velocidad > 5 m/s	Velocidad del viento	
5. > 500 m de un bosque	Usos del suelo	
6. > 2 km de núcleos grandes	Población	Planeamiento
7. > 500 m de núcleos pequeños	Población	
8. < 10 km de una carretera	Accesibilidad	Económicos
9. < 10 km de la red eléctrica	Economía	
10. > 400 m de acuíferos	Hidrología	Ambientales
11. > 1 km de áreas de valor ecológico o de especial interés científico	Ecología	
12. > 1 km de lugares históricos	Recursos histórico-culturales	Recursos
13. > 1 km de lugares del Patrimonio Nacional ²⁴⁹		
14. Suelos agrícolas de grado 1 y 2		

Fuente: Baban, 2001, pág. 63.

De las cuestiones específicas se extrae que los factores de localización más importantes son la velocidad del viento (entre 7 y 15 m/s

²⁴⁹ National Trust property.

de velocidad media anual) y la distancia a los núcleos de población (entre 500 m. y 5 km.).

Cruzando los datos de la encuesta con la *literatura* existente sobre el tema se desarrolla la WLFC (ver tabla 4-5).

Para la implementación de estos factores en el sistema de información geográfica se eligió una zona de 1.600 km² próxima a Escocia. Se utilizó el programa IDRISI y se fueron introduciendo catorce capas en formato raster que contenían toda la información relativa a los factores y categorías apuntados. Se generaron las áreas de distancias en las capas que así lo requerían y se utilizaron los módulos SURFACE y ASPECT para modelizar el relieve. Con el módulo RECLASS se generaron categorías de las diferentes capas según los criterios expresados en la tabla 4-5.

A continuación se procedió a elaborar un mapa de pesos y un índice para las superposiciones. La mayoría de las variables consideradas son binarias (0 se puede utilizar, 10 no se puede). Entre ellas están la pendiente, los acuíferos, lugares históricos, zonas urbanas, bosques, ferrocarriles (>100 m.), Patrimonio Nacional y ecología. Los terrenos no agrícolas se clasifican como 0, los de grado 2 como 5 y los de grado 1 como 10. La distancia a las carreteras se pondera aumentando un punto cada 1000 m. hasta una distancia de 9 km., a excepción de los primeros 100 m. que se puntúan como 10.

Para superponer estas capas se realizan dos tipos de análisis. El primero presupone la misma importancia para todas las variables. Para ello se utiliza el mapa de capas con los pesos arriba apuntados y se realiza una suma en un análisis *pixel by pixel*. Para ello se utiliza el comando ADD del módulo OVERLAY de IDRISI. A continuación se dejan como áreas excluidas todos aquellos píxeles con un valor igual o superior a 10, y se clasifican el resto en función de su valor.

En el segundo método se definen cuatro grados de valores. Entre los factores de primer grado están la pendiente, las carreteras y los núcleos urbanos; entre los de segundo, las tierras agrícolas, los ferrocarriles, los ríos, los bosques, los acuíferos y los lugares ecológicos; entre los de tercero, los lugares históricos y los del Patrimonio Nacional; en último lugar se encuentran los caminos. Para desarrollar este segundo análisis se utiliza el módulo WEIGHT de IDRISI, calculando una matriz de pares de capas. Los pesos derivados son para los factores de primer grado: 0,5650; para los de segundo: 0,2622; para los de tercero: 0,1175; y para los de cuarto: 0,0553.

Los resultados aportan una mayor disponibilidad de localizaciones con el segundo método.

Como conclusiones del estudio, Baban (2001, pág. 70) destaca el potencial de los SIG por tres aspectos: su capacidad para almacenar y analizar volúmenes de datos de carácter diverso y multidisciplinar, su

capacidad de generación de escenarios y su capacidad para, en función de las diferentes propuestas y alternativas, desarrollar *modelos de impactos* para la localización del parque, sugerir modificaciones y minimizar los efectos negativos.

Los ejemplos descritos hasta aquí ofrecen una visión de la importancia de los SIG en la evaluación de emplazamientos para parques eólicos. A continuación se describen varios casos de aplicación de estas herramientas en la planificación de instalaciones de energía solar fotovoltaica.

4.2.2. Apoyo de los Sistemas de Información Geográfica en el uso de la energía solar fotovoltaica en tejados

Los SIG han jugado un papel importante en el estudio de la viabilidad de la energía solar fotovoltaica. Existen varios proyectos referidos tanto a la implantación de sistemas fotovoltaicos aislados (ver apartado de producción descentralizada al final de este capítulo) como a la introducción de sistemas conectados a la red eléctrica, especialmente en tejados.

En esta línea, Marnay (1997) desarrolló un estudio sobre los efectos económicos y ambientales de la generalización del uso doméstico

de la energía fotovoltaica en Estados Unidos utilizando sistemas de información geográfica²⁵⁰.

El estudio del impacto de la generalización del uso de sistemas fotovoltaicos conectados a red en los tejados de las viviendas²⁵¹ se basa en el uso de un SIG para estimar tanto el potencial de instalación de estos sistemas como la electricidad producida. Junto al SIG se utiliza el NEMS²⁵² (*National Energy Modelling System*) para estimar los efectos a escala nacional de la generación eléctrica fotovoltaica.

El proyecto asume que la generalización de estos sistemas pasa por que el coste de generación fotovoltaica fuese inferior a la media local de la tarifa eléctrica en cada condado. Esto no sucedía ni en el mejor de los escenarios actuales considerados²⁵³ por lo que se modelaron diferentes escenarios de estímulo de la opción fotovoltaica.

El ámbito espacial del proyecto incluía una resolución a nivel de condado para todo el país. En el sistema de información geográfica se introdujeron tres variables: radiación solar, precio medio de la electricidad

²⁵⁰ Ch. MARNAY et al. (1997): "Estimating the environmental and economic effects...".

²⁵¹ Esta es una de las estrategias actuales del "Plan de Fomento de las Energías Renovables en España". IDAE.

²⁵² Se trata de un modelo integrado de la industria energética americana en el que se detallan aspectos económicos, energéticos y medioambientales de la producción, distribución y consumo de energía. (MARNAY, 1998, pág. 4).

²⁵³ El SIG fue la herramienta utilizada para caracterizar estos escenarios.

y distribución espacial de la población. La radiación solar de cada condado se calculó a partir de los datos de 238 estaciones medidoras. A estos datos puntuales se les aplicó un primer modelo estadístico lineal para generar polígonos y, a continuación, un modelo espacial ponderado para estimar los datos de radiación a nivel de condado. Los datos de precios y población se elaboraron a partir de fuentes documentales²⁵⁴.

Con los datos incluidos en el SIG se desarrolló la primera etapa del proyecto que consistía en estimar la distribución potencial de los sistemas FV y la generación potencial de electricidad a partir de los mismos. Esta distribución se basaba en la competitividad de la opción fotovoltaica para una vivienda unifamiliar tipo frente a la tarifa eléctrica media local en diferentes escenarios de coste fotovoltaico.

La segunda etapa del proyecto consistió en la estimación, basándose en el NEMS, de los efectos económicos y ambientales de esta generación.

El proyecto demuestra el enorme interés que tienen los sistemas de información geográfica de cara a la simulación de escenarios y a la combinación de diferentes escalas permitiendo la modelización y la planificación de estrategias a nivel nacional con un buen detalle de resolución espacial. Resulta también de gran interés la posibilidad de

²⁵⁴ *Fundamentalmente, censo de población y directorios de empresas eléctricas.*

aplicar *análisis de sensibilidad espacial* para evaluar la variabilidad de los resultados en función del peso de cada variable²⁵⁵.

A continuación se estudiarán diferentes proyectos desarrollados con SIG en el campo de la biomasa.

4.2.3. Localización de centrales térmicas de Biomasa

Como se ha descrito anteriormente, el aprovechamiento energético de la biomasa está influido por factores geográficos. Su distribución presenta características latitudinales y altitudinales. A su vez, la gestión agroforestal, de la que emanan una buena parte de los recursos, tiene características propias a diferentes escalas: continental, nacional, regional e, incluso, local.

Junto a la evaluación y la explotación de los recursos, el transporte de la biomasa desde su lugar de recolección hasta la central transformadora, influye en la viabilidad económica de su aprovechamiento. Este transporte se realiza habitualmente por carretera por lo que la red viaria juega un papel muy importante como variable geográfica en el estudio y desarrollo de los proyectos de biomasa con SIG.

²⁵⁵ El proyecto incluye un apéndice denominado "Levelized Cost Sensitivities" en el que se expone como se ha calculado el LEC y la "sensibilidad de los diferentes factores considerados:

A continuación se analizan diferentes casos de aplicación de los sistemas de información geográfica en este campo.

El objetivo del proyecto Noon (1996) de *estimación de los recursos en el Valle de Tennessee (Estados Unidos)*²⁵⁶ era colaborar con la *Tennessee Valley Authority* en la estimación del coste de sustitución y la viabilidad de la misma para doce centrales térmicas ubicadas en ese lugar. Para ello se desarrolló un sistema informático de ayuda a la toma de decisiones (DSS) denominado BRAVO (*Biomass Resource Assessment Version One*).

Dado que la proximidad geográfica a la oferta es determinante en el coste final de la biomasa a procesar, en BRAVO se utilizó un SIG que permitiese un análisis eficiente de las redes de transporte, incluyendo la estimación de distancias y de costes (NOON, 1996, pág. 101).

El sistema permitía la estimación de los costes de recolección y transporte de tres tipos distintos de biomasa forestal con diferentes niveles de demanda. Para ello se utilizó información de todos los posibles puntos de *oferta* de biomasa forestal, puntos de demanda y costes de transporte. Con esta información, el sistema es capaz de estimar el coste total de la *oferta* para una central y una cantidad de combustible

radiación, coste del sistema FV, tarifa eléctrica, coste de los incentivos y amortización del préstamo.

²⁵⁶ NOON y DALY (1996): "GIS-based biomass resource assessment with BRAVO".

determinados, así como de evaluar los escenarios “¿qué pasaría sí?” en relación a esta oferta (NOON, 1996, pág. 101).

En la determinación de la viabilidad económica de la cogeneración con biomasa influyen varios factores: las características de la propia planta, la disponibilidad de recursos biomásicos y las características geográficas de la zona. En este último apartado se situarían la competencia por estos recursos (diversidad de usos y aprovechamientos e incompatibilidad entre los mismos), la infraestructura para su transporte y los estándares locales de demanda y de calidad del aire.

Por otro lado, es conveniente no perder de vista la naturaleza dinámica de los recursos de la biomasa, por lo que una estimación adecuada de los mismos ha de contar necesariamente con herramientas dotadas de la suficiente flexibilidad.

Todos estos aspectos fueron decisivos a la hora de adoptar un SIG para el desarrollo de este proyecto. El sistema elegido fue ARC/INFO. Sobre este SIG se desarrolló una *interface* de usuario que hiciese sencillo el manejo del sistema y se incorporaron las siguientes coberturas²⁵⁷: molinos agrícolas, residuos forestales y cultivos energéticos (base de recursos de biomasa), localización de las centrales energéticas, red viaria,

²⁵⁷ La cobertura o “coverage” es la unidad de información geográfica vectorial dentro de ARC/INFO.

y límites administrativos. Las cuatro primeras coberturas son de puntos y las dos últimas de líneas. Los atributos asociados a las coberturas pertenecientes a los recursos son las siguientes: la cobertura de molinos agrícolas incorpora datos sobre la tipología de los mismos y de sus residuos, cantidad y coste; la cobertura de residuos forestales, tipo de bosque, estacionalidad, coste y cantidad; y finalmente, la cobertura de cultivos energéticos, incorpora los atributos de especies, tipos de suelos, usos del suelo, cantidad de recurso y coste del mismo.

Como ya se ha comentado, el transporte de la biomasa es determinante en el precio final de la valoración energética de la biomasa. BRAVO desarrolla un sistema de modelización del transporte de la biomasa, basado en la importancia para el mismo de su grado de humedad, que parte de la identificación por el usuario de la central demandante y de la definición de un radio de “búsqueda” de recursos. El sistema identifica todos los recursos contenidos (en cantidad y especie) en ese círculo, así como los costes del transporte por tonelada seca de cada uno de ellos.

BRAVO también analiza la variabilidad regional de la oferta en función de los diferentes tipos de combustible analizados.

El uso de sistemas de información geográfica en una aplicación de este tipo le dota de un carácter abierto tanto para su implementación en otras regiones como para la incorporación de otros análisis

complementarios (como las restricciones económicas y ambientales) en la evaluación de los recursos de la biomasa.

Si en el anterior proyecto la premisa de partida era la viabilidad de la conversión de centrales térmicas convencionales en centrales de cogeneración con biomasa, el estudio de Voivontas sobre *Evaluación del potencial de biomasa para la generación de energía en Creta* (Voivontas et al. 2001)²⁵⁸ no parte de unos emplazamientos apriorísticos, sino que su objeto es una evaluación global de la producción de energía eléctrica, a partir de la biomasa procedente de residuos agrícolas, en base a cuatro niveles de precisión: la biomasa teórica, la biomasa disponible, la tecnológicamente explotable y la económicamente viable. Cada uno de estos niveles se superpone al anterior y asume sus limitaciones.

Se trata de desarrollar una metodología, del estilo DSS²⁵⁹ y basada en sistemas de información geográfica, que combine tanto los parámetros geográficos como los aspectos técnicos y económicos para así determinar la competitividad de la opción renovable frente a otra opción convencional.

Los aspectos abordados por el SIG son la evaluación de los recursos (teórica y disponible), el coste del transporte y la identificación de

²⁵⁸ D. VOIVONTAS (2001): "Assessment of biomass potential...).

²⁵⁹ Decision Support System.

los lugares óptimos para los cultivos energéticos basándose tanto en los rendimientos esperados como en la “asignación” de biomasa a las plantas existentes. de emplazamientos (tanto para los cultivos energéticos como para las centrales asociadas).

El punto de partida es la formación de una base de datos geográfica referida a unas regiones definidas por el usuario pero que, obviamente, están determinadas por el nivel de definición de la fuente estadística de cultivos.

El conocimiento de la distribución espacial de la biomasa potencial disponible, unido a la definición de la capacidad técnica de la planta a instalar, determina la localización potencial de las centrales. Estas características técnicas son las que perfilan la demanda de combustible; la cual, junto a la disponibilidad del recurso y a la competencia económica por el mismo frente a otras opciones, definirá las necesidades de superficie de explotación de cultivos para su abastecimiento.

El potencial teórico se delimita utilizando mapas de límites administrativos y datos estadísticos. El resultado es un Mapa temático de disponibilidad total de biomasa por región expresado en Tm. y no por unidad de superficie. Sin embargo, el potencial disponible describirá la disponibilidad homogénea del residuo en cada región o unidad geográfica y se recogerá en un Mapa temático de energía por unidad de área (GJ/ha). Las características técnicas de la central o potencial tecnológico

delimita los emplazamientos potenciales de las centrales de energía y, por tanto, el Área de recolección que como se apunta anteriormente es función de las características de cada central. Por último, el potencial económico viene determinado por la distancia a la red y el coste del transporte, y se refleja en un mapa de LEC.

Como se puede apreciar, cada uno de los potenciales tiene un carácter acumulativo y se plasma en un documento cartográfico, por lo que el mapa de LEC será resultado del cruce de los mapas anteriores con los mapas de distancia a la red y coste del transporte.

Dentro del campo de la biomasa en España, y subvencionado por la Comisión Europea a través de su programa ALTENER, está el proyecto “oportunidades para la producción de energía de biomasa en La Rioja”²⁶⁰.

El proyecto se estructura en cuatro fases: cartografía del coste marginal de la biomasa, cultivos potenciales, selección de localizaciones para instalaciones bioenergéticas y análisis de resultados.

En la primera fase del proyecto se persigue obtener el *coste marginal*²⁶¹ de la biomasa en cada píxel. Para ello se realiza un análisis raster de la comunidad con una definición de 1 km². Este análisis se

²⁶⁰ IBERINCO (1998).

²⁶¹ El *coste marginal* es el coste económico de la biomasa que se procesa en la central energética (€/GJ), incluye por tanto todos los costes asociados, desde el precio pagado al pie de la explotación hasta el precio del transporte.

realiza en dos subfases. En la primera se realiza una preselección de los píxeles y en la segunda se realiza el análisis propiamente dicho, obteniendo la curva de costes marginales para cada píxel.

Para la obtención de la cartografía del coste marginal se utiliza un SIG en el que se incluyen tres grupos de información: el primero es el formado por la cartografía de la vegetación y usos del suelo, a la que se aplican los parámetros de producción, densidad y poder calorífico de la biomasa²⁶². El segundo grupo esta formado por aquellas variables que tienen un carácter restrictivo: espacios protegidos, áreas urbanas y pendientes superiores al 30%. En el tercer grupo se incluyen otras variables como la red hidrográfica, vías de comunicación, red de alta tensión y polígonos industriales²⁶³.

Para la estimación de costes se tienen en cuenta el uso actual de la biomasa, los costes de recolección y el impacto ambiental. Las principales fuentes de incertidumbre en esta estimación son el mercado y la estacionalidad de la materia prima.

²⁶² *Las fuentes de biomasa consideradas en este proyecto son: paja de cereal, residuos forestales, residuos animales y residuos procedentes de explotaciones de champiñones.*

²⁶³ *No es habitual encontrar proyectos en los que se incluya la localización de áreas industriales, sin embargo, no cabe duda que en el caso de la biomasa la instalación de una central de conversión se puede ver favorecida, técnica y económicamente, por la preexistencia de un polígono industrial.*

En la segunda fase del proyecto se realiza una estimación de los cultivos potencialmente aplicables a esta región. Para ello se utiliza el *Modelo de producción de Rosenzweig* que considera diferentes aspectos físicos, climáticos y edáficos (latitud, precipitación, temperatura y retención de agua en el suelo) para cada especie²⁶⁴.

La tercera fase consiste en la definición de una metodología de localización de instalaciones bioenergéticas basada en la optimización del coste marginal. Para ello se han considerado factores tales como la fuente, cantidad, localización, curva de coste marginal, valor medio, área de suministro, distancia media de transporte y uso energético potencial.

Por último, se realiza un análisis de resultados basado en un *análisis de sensibilidad*²⁶⁵ de las variables consideradas. Los factores con más peso son: la producción, recolección y transporte de la biomasa, así como la falta de consolidación de su mercado, el marco de regulación y el desarrollo tecnológico.

Robin L. Graham (2000) desarrolló junto a otros investigadores en el Oak Ridge National Laboratory de Estados Unidos un modelo, basado en sistemas de información geográfica, para la *evaluación de los costes*

²⁶⁴ Las especies consideradas son: *Cynara cardunculus*, *Brassica carinata*, *Populus alba*, *Sorghum bicolor*, *Helianthus tuberosus* y *Helianthus annuus*.

²⁶⁵ Sobre la aplicación de análisis de sensibilidad en la comprobación de resultados se puede consultar el estudio de J. AMADOR y J. DOMÍNGUEZ (2000): "Los sistemas de información geográfica en la integración regional...".

derivados del uso de cultivos energéticos²⁶⁶. Este modelo se caracteriza por la utilización de una herramienta SIG como aglutinante de otros modelos y “softwares” específicos de cada aspecto contemplado en el mismo.

Se estructura en cinco componentes: análisis de la disponibilidad de tierras de cultivo, cálculo de los precios “a pie de explotación” y de las características medioambientales, evaluación de los “costes marginales” por unidad de recurso, cartografía de emplazamientos potenciales para las centrales de aprovechamiento energético de la biomasa y cuantificación de las modificaciones medioambientales asociadas a la explotación de estos cultivos. Este último aspecto dota a este estudio de un carácter más ambientalista, pues éstos aspectos pasan a un primer plano de la evaluación económica.

Algunos de los modelos empleados ya se habían utilizado por Noon²⁶⁷ en BRAVO, entre ellos el programa RIBA para el cálculo de costes asociados al transporte. Junto a ArcInfo, que actúa como SIG en el núcleo del sistema, se utilizan otros paquetes informáticos como Excel, Freelance, SAS y programas específicos desarrollados en C++. Desde el punto de vista del mantenimiento del sistema, esta estructura no resulta

²⁶⁶ R. L. GRAHAM et. Al (2000): “A Geographic Information System-based modeling system for evaluating the cost of delivered energy crop feedstock”.

²⁶⁷ NOON y DALY (1996): “GIS-based biomass resource assessment with BRAVO”.

muy operativa, si bien se adapta con facilidad a una perspectiva dinámica imprescindible en este tipo de estudios. Por otro lado, aunque como afirma el autor, “la realidad dibujada por el modelo SIG tiende a ser más estática que dinámica debido a su dificultad para incorporar los *bucles* de realimentación” (GRAHAM, 2000: 325), la enorme variabilidad geográfica demostrada por los cultivos energéticos hace imprescindible la aplicación de un sistema de información geográfica.

Otros autores como Breger y Snyder²⁶⁸ asumen el modelo de Graham aunque realizan una aplicación más sencilla.

Son varios los análisis con un carácter regional y/o sectorial cuyo objetivo es la evaluación de la producción potencial de biomasa²⁶⁹ y los costes de transporte para localizar emplazamientos potenciales de centrales de transformación. La mayoría de ellos toman algún tipo de unidad administrativa como base del estudio frente a la posibilidad de tratar el territorio como un todo continuo. Esto es debido a la propia estructura de las bases de datos existentes, y en particular los censos

²⁶⁸ D. S. BREGER y H. SNYDER (1999): “The use of a GIS model to evaluate the economic potential for biomass in Northampton County, Pennsylvania”.

²⁶⁹ Tanto desde la perspectiva del conjunto de la biomasa explotable (residuos forestales, agropecuarios o industriales, cultivos energéticos...) como de la particularidad de una única tipología (normalmente análisis de penetración para un determinado cultivo energético). Respecto a esta última posibilidad se pueden consultar los trabajos de Bernheim o Capareda sobre el arroz o el ya citado de Breger sobre el “salix”.

agrarios, que suelen tener como base algún tipo de unidad administrativa (condado, municipio...).

Además de la información de límites administrativos y de la procedente de censos agroforestales, la información geográfica más frecuentemente utilizada en la mayoría de las aplicaciones estudiadas se corresponde con usos del suelo, edafología, red viaria, núcleos urbanos y topografía (sobre todo pendientes).

4.3. SIG y producción descentralizada de electricidad con energías renovables

Existen diversos SIG para electrificación rural con energías renovables, aunque la mayor parte de los desarrollos están relacionados con el proyecto SOLARGIS: *“Integration of renewable energies for decentralised electricity production in regions of European Union and developing countries”*.²⁷⁰

SOLARGIS es un proyecto de investigación que, financiado por la Dirección General XII de la Unión Europea para la Ciencia, la Investigación y el Desarrollo en el marco del programa JOULE II y desarrollado por varios centros de investigación de la Comunidad

²⁷⁰ SOLARGIS TEAM (1996): *“Solargis handbook”*. Ver también J.DOMÍNGUEZ, 96; F. NEIRAC et al, 97; y MAYER et al, 98.

relacionados con las energías renovables²⁷¹, tenía como principales objetivos (SOLARGIS TEAM, 1994): la demostración del valor de la metodología SIG para desarrollar la implantación de Energías Renovables en la electrificación descentralizada, la aplicación de esta metodología en una serie de áreas piloto²⁷², la recolección de datos para su aplicación en el SIG y el desarrollo de herramientas para determinar el potencial de los sistemas de energías renovables a partir de los datos iniciales.

Inicialmente, la metodología SOLARGIS pretendía cubrir dos aspectos: la localización de los mejores lugares en una región para construir plantas de energías renovables conectadas a la red y la selección del sistema renovable o no renovable más adecuado para la electrificación de usuarios aislados, pueblos aislados o comunidades rurales. Finalmente, el aspecto de electrificación rural es el que más se ha desarrollado, abandonándose el primero, que ha sido continuado por otros proyectos de investigación.

La metodología SOLARGIS para el análisis del potencial de electrificación rural está basada en una comparación del coste, píxel a píxel, del kWh producido por sistemas renovables y no renovables. Los

²⁷¹ El proyecto SOLARGIS fue coordinado por el Centre d'Energétique Armines (Francia) y en el participaron Conphoebus (Italia), CIEMAT (España), CRES (Grecia), INESC (Portugal), RAL (Reino Unido) y NMRC (Irlanda).

²⁷² Región de Tunicia (Túnez), Sicilia (Italia), Andalucía Oriental (España), Creta (Grecia), República de Cabo Verde y Karnataka (India).

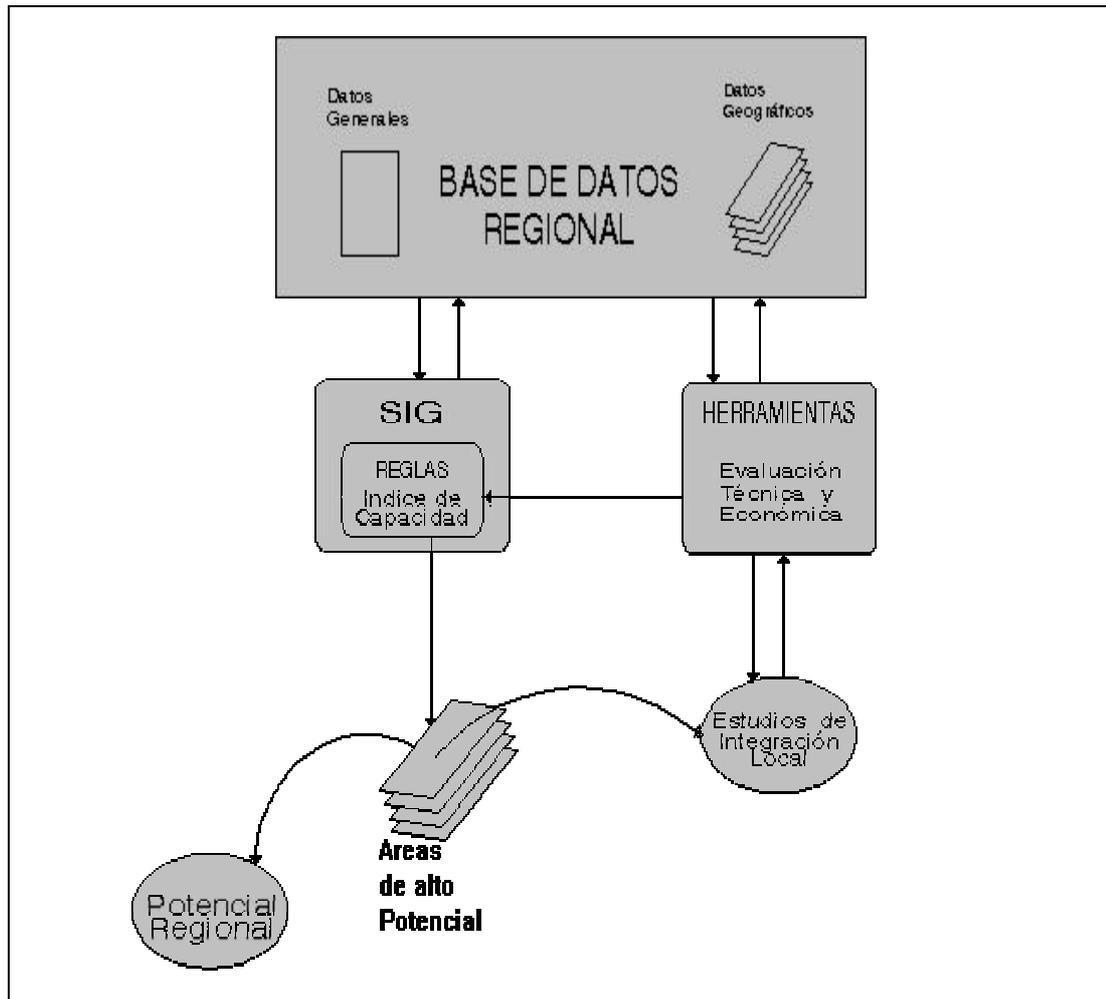
sistemas considerados son tanto individuales como centralizados. Los sistemas individuales o domésticos incluidos para una vivienda aislada son: sistema fotovoltaico, sistema eólico, grupo electrógeno gasolina y grupo electrógeno diesel. Los sistemas centralizados para un grupo de viviendas, o comunidad rural, aisladas son: grupo diesel, instalación eólico-diesel y conexión a red de una o varias viviendas.

Se parte de la elaboración de una base de datos regional conteniendo datos generales (población, consumo, etc.) y datos geográficos (radiación, viento, etc.). A partir de la base de datos regional, gestionada por el SIG, se introducen una serie de reglas para determinar las áreas de alto potencial para el aprovechamiento de las energías renovables en la región estudiada.

La determinación de las áreas de alto potencial se realiza a través del cálculo y comparación del Coste de electrificación equivalente (LEC)²⁷³ de los sistemas considerados para cada unidad de estudio. Para el cálculo del LEC se utilizan cuatro *grids*²⁷⁴ o matrices con una resolución de 1 km², con la siguiente información: densidad de población rural (habitantes/km²), radiación global media anual sobre el plano de los paneles (kWh/m²año), velocidad media anual del viento (m/s) y distancia de conexión a la red de Media Tensión (km).

²⁷³ *Levelized electric cost.*

Ilustración 4-1: Metodología general de SOLARGIS.



Los estudios locales analizan con mayor detalle pequeñas áreas seleccionadas entre las zonas de alto potencial. Estos estudios requieren por tanto una mayor resolución de los datos. Para conseguir esta mejor resolución se han utilizado las siguientes herramientas²⁷⁵: fotografía área

²⁷⁴ Estructura de datos raster de ArcInfo? ..

²⁷⁵ http://www-cenerg.cma.fr/?st/solargis/demo_local.html

para validar el potencial fotovoltaico detectado y GPS para el trazado de líneas eléctricas y la localización de viviendas aisladas.

Aunque los resultados pueden considerarse satisfactorios, se ha detectado la necesidad de evaluar la precisión de los mismos, así como los parámetros que influyen en esa certidumbre. Este es el objetivo del trabajo que se presenta en el capítulo siguiente, buscando, a través de un análisis de sensibilidad, depurar la metodología SOLARGIS, de forma que los resultados ofrezcan mayores garantías.

Por otro lado, además de esta primera aplicación de SOLARGIS a las áreas piloto reseñadas, la metodología ha sido implementada con mayor detalle en las experiencias que se describen a continuación.

Se aplica SOLARGIS, para los municipios de *Kairouan, Mahdia y Monastir, en Túnez*²⁷⁶. El primer nivel de análisis trabaja con mapas de baja resolución (1 km) para detectar las áreas de alto potencial para energías renovables en toda la región. En un segundo nivel de análisis, estas áreas de alto potencial son estudiadas con mapas de alta resolución para confirmar el potencial detectado. Además se estudian dos aspectos concretos: la influencia de la radiación reflejada sobre el recurso solar y la estimación del coste de conexión a red simulando la extensión de la misma.

²⁷⁶ M. VANDENBERGH et al. (1997).

En el estudio se consideran tres escenarios distintos (ver tabla 4-6). En el *escenario 1996a* se consideran los valores del momento para los parámetros económicos. El nivel de demanda se corresponde con el tamaño del sistema fotovoltaico actualmente instalado en Túnez (400 Wh por día y casa). Tal instalación esta diseñada para unas pocas lámparas, radio y TV. El *escenario 1996b* considera los mismos valores para los parámetros que el *escenario 1996a*, pero con un consumo tres veces mayor, lo que corresponde al uso de una nevera y una TV color. El *escenario 2010* supone una tendencia muy favorable para las energías renovables: 30% de incremento de los precios de combustibles, 50% de disminución del coste de los paneles fotovoltaicos y 30% de bajada de los costes de fabricación de la turbina eólica. El nivel social de la población es más alto y la demanda es tres veces mayor que en el caso del *escenario 1996a*.

Tabla 4-6: Escenarios considerados en la aplicación de SOLARGIS en Túnez.

Escenario	1996a	1996b	2010
Carga (Wh/día. casa)	400	1200	1200
Tasa de descuento (%)	8	8	8
Precio diesel (Euros/litro)	0,1	0,1	0,1
Impuesto CO ₂ (Euros/Tm)	0	0	0
Coste inversión gen. FV (Euros/kW _p)	6400	6400	3200
Coste inversión turbina 0,5 kW (Euros/kW)	3092	3092	2164
Coste inversión turbina 100 kW (Euros/kW)	1334	1334	934

Fuente: Vandenberg (1997).

Una hipótesis fundamental de estos escenarios es que el empleo de la electricidad está restringido a las aplicaciones domésticas. La

industria local, el desarrollo de la agricultura y el bombeo de agua, no están considerados.

En la referencia indicada se aporta un estudio comparativo de los tres escenarios, aunque se especifica que no se ha realizado un análisis de sensibilidad. De dicho estudio se pueden extraer las siguientes conclusiones: no hay potencial para sistemas híbridos eólico-diesel en la región, la distancia media de conexión a la red es de 2,2 km., para una alta densidad de consumo la opción más adecuada es la extensión de la red, existe un alto potencial fotovoltaico en Kairouan, en la que el 50% de la población no está conectada a la red, y, por último, la competitividad entre sistemas renovables y no renovables depende mucho del tamaño de la demanda.

Otro de los lugares donde se ha aplicado SOLARGIS fue el estado de *Karnataka en la India*²⁷⁷. El estado de Karnataka tiene una superficie de 192.204 km², lo que supone el 5,4 % del total de la India. La población en 1991 era de aproximadamente de 45 millones de habitantes, la mayoría de los cuales vivían en comunidades rurales. El consumo energético anual “per cápita” es de 400 kWh. Para obtener la velocidad del viento en la región se ha interpolado utilizando el programa AIOLOS,

²⁷⁷ MAHMMUD et al. (1996).

teniendo en cuenta los datos topográficos. La radiación solar se ha estimado a partir del conocimiento de la nubosidad.

El estudio se ha realizado sobre tres tipos de sistemas: sistemas conectados a red (asociación de aerogeneradores de 1 a 4 MW); sistemas aislados (para uso doméstico y bombeo de agua, con potencias entre 10 y 60 kW) y sistemas híbridos (para comunidades, con potencias de 100 a 300 kW). El tiempo de vida considerado es de 20 años para todos los sistemas y componentes, excepto para la acumulación por baterías, para la que se ha tomado 5 años.

El estudio se ha realizado para el año 1996 y para un escenario en el año 2010, suponiendo que el coste de las turbinas eólicas se reduce en un 30%, el de los paneles fotovoltaicos en un 50%, y que el precio del combustible diesel se incrementa en un 2%.

Se ha realizado un análisis de sensibilidad sobre el LEC de la distancia a la red, la distancia a las carreteras, la velocidad media anual del viento y la radiación solar anual.

Otra de las regiones estudiadas fue la *Isla de Santiago en Cabo Verde*²⁷⁸. En esta aplicación se utilizó WASP para modelar la velocidad del viento, teniendo en cuenta la orografía y la rugosidad, así como los datos

²⁷⁸ MONTEIRO et al. (1998).

de las estaciones meteorológicas y considerando los obstáculos alrededor de las mismas.

La radiación solar sobre el plano de los paneles se obtiene en diversas etapas partiendo de los valores de radiación directa y difusa, calculados teniendo en cuenta la altitud, la visibilidad, la zona climática a la que pertenece, la orografía, los ángulos entre los rayos solares y la pendiente del terreno, el albedo y las sombras.

Para la electrificación rural, el resultado ha sido que la extensión de la red es la alternativa más adecuada para las zonas con gran densidad de población y situadas cerca de la red existente. Los sistemas híbridos eólico-diesel son más adecuados para áreas con buenos recursos eólicos y alta densidad de población. Los sistemas aislados, debido a su mayor coste, son rentables para lugares aislados y con baja densidad de población.

Para estos cálculos se han considerado valores típicos para la demanda y costes. Sin embargo, estos valores presentan una gran incertidumbre, sobre todo en un proceso de planificación. Por este motivo, en este estudio, se ha empleado la lógica borrosa para el cálculo del LEC, especialmente para integrar las incertidumbres del crecimiento de la carga y de los costes de combustible y de inversión.

SOLARGIS también se ha utilizado en Marruecos²⁷⁹ y Brasil²⁸⁰.

Existen otros SIG para la electrificación rural con energías renovables. Así por ejemplo, el sistema de información geográfica para la *evaluación de la demanda eléctrica rural en Sudáfrica* desarrollado por Alonso-Abella²⁸¹. Las bases de datos que maneja contienen información de los ingresos por vivienda, los modelos de consumo energético, la parte del presupuesto familiar dedicada a energía, etc.

El SIG permite calcular la demanda de sistemas de casas solares fotovoltaicas bajo diferentes aspectos como son las condiciones rurales (ingresos, gastos energéticos, etc.) y los planes de extensión de red de Eskom (la compañía eléctrica del país), todo ello en el marco de una planificación energética integrada.

Otros trabajos de gran interés desde la perspectiva de aplicación de los SIG en la producción descentralizada de electricidad con energías renovables son los desarrollados por Ariza en la provincia de Córdoba y por Muselli en Córcega (este último en la línea de SOLARGIS).

²⁷⁹ Proyecto de electrificación rural de 26 pueblos del Norte de Marruecos (http://www-cenerg.cma.fr/?st/solargis/case_pot.html).

²⁸⁰ Integración de energías renovables en el estado de Pará de Brasil (<http://power.inescn.pt/meapa/portugues/meapa.html>).

²⁸¹ ALONSO-ABELLA et al. (1996).

El Dpto. de Física Aplicada de la Universidad de Córdoba²⁸² realiza un estudio que parte de la premisa de que la energía solar fotovoltaica es una alternativa cada vez más competitiva para su implantación en los lugares del territorio donde la distancia a las redes de distribución supere unos umbrales en función de una demanda dada.

El objetivo del proyecto es dividir el territorio en relación a la viabilidad económica de las instalaciones fotovoltaicas para la electrificación de rural frente a la extensión de la red eléctrica. Para ello se elige como área de estudio el norte de la provincia de Córdoba, donde la densidad de la red es escasa.

La metodología incluye tres aspectos: dimensionamiento de las instalaciones fotovoltaicas y de la extensión de red, análisis económico y la integración de la información y el desarrollo de modelos dentro de un SIG. La comparación de las dos alternativas se realiza en función del menor coste del kWh a lo largo de la vida del proyecto.

Para comparar la electrificación fotovoltaica con la extensión de la red se toman en consideración los costes de ambas. El valor de la electrificación fotovoltaica esta relacionado con la localización, los usos del suelo, la accesibilidad, la insolación, la fiabilidad del sistema, la

²⁸² F. J. ARIZA (1993): "Apoyo de los SIG en el uso de la ESFV" y F. J. ARIZA (1997): "A GIS for the integration...").

potencia demandada, su impacto, los elementos de la instalación y la generación. El valor de la extensión de la red es función así mismo de la localización, la pendiente, los usos del suelo, la pedregosidad, la accesibilidad, la longitud, la tensión nominal, la potencia, los costes de los elementos y los costes de la generación.

La fragmentación del territorio se estudió para los distintos niveles de demanda considerados y para los diferentes niveles de subvención de ambas tecnologías. También se analizó la distancia crítica y la superficie afectada para los distintos niveles de subvención y en distintos escenarios económicos.

Los resultados muestran claramente la influencia de la distancia a la red de distribución eléctrica. Así por ejemplo, la opción fotovoltaica en la demanda doméstica (5KWh/día) cuenta con una alta distribución potencial. Sin embargo, en otro tipo de demandas tales como las agroindustriales, la opción fotovoltaica es competitiva con una distancia a la red superior a los 3 km.

Junto al factor de distancia a la red tienen también gran importancia las características fisiográficas y la distribución espacial de las carreteras.

Este proyecto contribuye a demostrar la enorme importancia de las variables geográficas y de su tratamiento mediante SIG en la realización de los análisis de la viabilidad económica de las energías renovables para la electrificación rural.

En esta misma línea, también son interesantes los trabajos desarrollados por Muselli²⁸³ (1997) sobre la integración de sistemas fotovoltaicos aislados en áreas remotas.

El SIG desarrollado por Muselli compara cuatro sistemas de suministro eléctrico: fotovoltaico, híbrido fotovoltaico-diesel, diesel y extensión de red, con el criterio del coste mínimo del kWh producido. Este sistema se ha aplicado a la Isla de Córcega con una metodología que se distingue de otros SIG en que utiliza configuraciones optimizadas de los sistemas con probabilidad de pérdida de carga igual a cero.

Para realizar los cálculos considera cuatro perfiles de carga tipo, que varían, desde el tipo “día” para consumo principalmente durante el día (típico de una aplicación de bombeo), al perfil “noche” con consumo predominante por la noche (típico de iluminación pública), ambos con 1 kWh/día; hasta los perfiles relativos a viviendas, con consumos medios diarios de 1,9 kWh/día, “perfil de bajo consumo” y 3,7 kWh/día “perfil de consumo estándar”. Muselli también emplea como parámetro de comparación el LEC, teniendo en cuenta el coste de la inversión, del mantenimiento y del replazamiento de los equipos, para cada uno de los sistemas.

²⁸³ M. MUSELLI et al. (1997): “A geographical information system for the integration of stand-alone PV systems in remote areas”.

Como se puede apreciar, son numerosas las experiencias de aplicación de sistemas de información geográfica para la electrificación rural y la producción descentralizada de electricidad en países en vías de desarrollo. Sin embargo, falta aún un gran camino por recorrer para conseguir una implantación más efectiva de estos sistemas. Para ello es imprescindible aumentar el control y la fiabilidad de los mismos puesto que, en muchos casos, los datos de los que se va a partir van a ser parciales y de una calidad no contrastada. Por otro lado, también es importante que estas experiencias de I+D se empiecen a plasmar en programas de demostración y aplicaciones concretas y reales que permitan contrastar sobre el terreno la calidad y la fiabilidad de los análisis.

Tabla 4-7: SIG y producción descentralizada de electricidad para electrificación rural.

Autor/proyecto	Tecnología	Áreas de estudio	Principales características
SOLARGIS	Eólica Fotovoltaica Diesel – gasolina Híbridos Red	Países mediterráneos y en vías de desarrollo	Incorpora factores geográficos Cálculo LEC Estimación de la demanda
Ariza	Fotovoltaica Red	Córdoba	Competitividad económica Territorialización
Muselli	Fotovoltaica Diesel Híbridos Red	Córcega	Carga tipo LEC

CAPÍTULO 5. Ejemplos de aplicación de los SIG a la integración de energías renovables en España

En este capítulo se desarrollan con mayor profundidad dos ejemplos de aplicación de los sistemas de información geográfica en el campo de las energías renovables en España desarrollados por el autor. Los dos proyectos han sido realizados por equipos multidisciplinares de diferentes empresas e instituciones (UPM, INABENSA, CIEMAT, SERLED, IBERESE). El papel del autor en los mismos ha consistido en la aplicación de SIG y en el desarrollo de herramientas de análisis específicas, así como en dotar a sendos proyectos de una visión territorial propia, complementando así otros aspectos técnicos vinculados al diseño de las tecnologías de conversión energética utilizadas.

En el primero de ellos se realizan dos estudios de localización para producción dispersa de electricidad con energías renovables. Se trata de la evaluación de la capacidad territorial para instalar una central solar de torre a la que posteriormente se le añadió una central térmica de biomasa. Este proyecto, planteado originalmente como un estudio de demostración dentro del programa APAS-RENA de la Unión Europea, se ha concretado en el análisis para la instalación de una planta mixta termoeléctrica solar-

biomasa²⁸⁴ (proyecto SOLBIO) en el municipio sevillano de Sanlúcar la Mayor. En la actualidad, esta central está pendiente de su viabilidad económica para empezar a construirse²⁸⁵.

El segundo de los casos estudiados, más ambicioso desde el punto de vista metodológico aunque no se trata de un proyecto de demostración, se realizó conjuntamente con la UPM continuando con la línea de investigación emprendida en el proyecto SOLARGIS de la Unión Europea²⁸⁶. Se trata de un proyecto de integración de energías renovables para producción descentralizada de electricidad que tomó como área de estudio el municipio de Lorca en la provincia de Murcia.

El motivo por el que se han seleccionado estos proyectos y no otros es doble. En primer lugar, con ellos se pretende dar una visión amplia de la integración de fuentes de energías renovables en dos aspectos que les son característicos, la producción distribuida y la producción descentralizada²⁸⁷ y que poseen una fuerte componente

²⁸⁴ ROMERO, M. Et al. (2002): "Central eléctrica mixta solar-biomasa".

²⁸⁵ Curiosamente, las subvenciones a la producción de electricidad de origen renovable no alcanzan a esta tecnología. Según declaraciones recientes de un alto responsable técnico de Abengoa, esta planta tendría luz verde en cuanto se definiese una política de precios subvencionados similar a la de otras fuentes de energías renovables (p.ej. fotovoltaica).

²⁸⁶ Más adelante se realiza una revisión de SOLARGIS, así mismo, en el capítulo 5 puede consultarse más información.

²⁸⁷ Se entiende por producción distribuida de electricidad aquella que, conectada a la red eléctrica, tiene una distribución territorial más amplia y una concentración de potencia instalada habitualmente menor. Así por ejemplo no podríamos hablar de producción distribuida en el "sistema Duero" (aprovechamiento hidroeléctrico de gran potencia en el tramo fronterizo de este

territorial. Las energías renovables difícilmente pueden competir dentro de un esquema de producción energética con unos criterios de localización estrictamente convencionales, sin embargo, ya en su propia filosofía subyacen los principios de distribución y descentralización, aproximando la oferta a la demanda y al recurso e implementando un triángulo territorial del que normalmente carecen las fuentes convencionales. No obstante, esto no quiere decir que factores de localización como la existencia de infraestructuras para la evacuación de la energía producida (red eléctrica), viales, agua o la propia disponibilidad del suelo, no sean tomados en consideración, si no que el aprovechamiento del recurso es mucho más racional tanto en la producción distribuida como en la descentralizada y que, en este último caso, la consideración de la demanda en los criterios de competitividad territorial de cada tecnología de aprovechamiento energético es básica.

El segundo motivo para la elección de estos ejemplos es que son proyectos en los que la participación del autor ha sido muy intensa, responsabilizándose tanto de los aspectos geográficos como de su desarrollo e implementación con SIG.

En definitiva, con este capítulo se trata de ofrecer una visión detallada de dos proyectos que abarcan diferentes tecnologías de

ría) pero sí en el caso de la mayor parte de los parques eólicos conectados a la red en nuestro país.

Por producción descentralizada se entiende aquella que no está conectada a la red de distribución de electricidad.

producción de electricidad a partir de fuentes de energías renovables tanto en la producción dispersa como descentralizada. La aplicación de los SIG a los estudios de localización y a la evaluación de la mejor distribución territorial de cada tecnología se ha demostrado muy interesante. Este aspecto, que ya cuenta con una amplia trayectoria en su aplicación a diversas infraestructuras y servicios, es relativamente novedoso en este campo ya que, aunque tendemos a agrupar las energías renovables en un conjunto único, presentan sin embargo una amplia dispersión y diversidad en sus características territoriales, en la distribución de los recursos y en los condicionantes tecnológicos y económicos para su implantación.

5.1. Central termoeléctrica mixta: solar - biomasa

Los antecedentes de este proyecto se remontan a 1997. En esas fechas, el CIEMAT elaboró para INABENSA²⁸⁸ el proyecto “Mercado de producción de Electricidad Solar Térmica con Tecnología de Torre. Aplicación a España (MERSOTERM)”, con los objetivos de, en base a los estudios disponibles hasta ese momento, evaluar la viabilidad de la implantación de una central de producción de electricidad a partir del aprovechamiento térmico de la energía solar y basada en la tecnología de torre, establecer las posibilidades de mercado de esta tecnología y definir que áreas geográficas contaban con un mayor potencial. El proyecto

²⁸⁸ *Instalaciones Abengoa S.A.*

desarrollaba con mayor profundidad el análisis para España, incluyendo una propuesta de diseño de la planta solar de torre²⁸⁹.

Posteriormente, en 1999 se realizó el proyecto SOLBIO²⁹⁰ el cual, con la financiación de la iniciativa ATYCA, realizó un estudio de viabilidad de una central termoeléctrica mixta solar-biomasa. El estudio incluía un análisis de los recursos combinados de radiación solar (realizado a partir de MERSOTERM) y de biomasa en Andalucía con selección de potenciales emplazamientos mediante el uso de un Sistema de Información Geográfica (ROMERO, 2002, iv).

5.1.1. Zonas de mayor potencial solar en la Península.

El análisis previo de *áreas óptimas para la localización de centrales de torre* se realizó para el conjunto de la España Peninsular a escala 1/1.000.000. Se usó esta escala por ser la más adecuada para la delimitación de grandes áreas a nivel nacional.

Para la selección de estas áreas se tomaron en consideración las siguientes variables: distancia a vías de comunicación (carreteras), distancia a cursos de agua, distancia a la Red Eléctrica de Transporte, pendiente del terreno y coste del kWh producido (ver ilustración 5-1).

²⁸⁹ CIEMAT (1997): "Mercado de producción de electricidad...".

²⁹⁰ Desarrollado en colaboración entre el CIEMAT, INABENSA, SERLED e IBERESE.

Toda esta información se utilizó a escala 1/1.000.000 y referida al Huso 30 de la proyección UTM.

La información de carreteras y de cursos de agua procedía de la BCN 1000 del Instituto Geográfico Nacional y la información de la red de transporte de electricidad se obtuvo por digitalización del mapa de Red Eléctrica Española, a escala 1/1.000.000, con la Red de Alto y Medio Voltaje. En el caso de la variable hidrografía se tomó como distancia limitante a un curso de agua 10 km, por ser esta la necesaria para la provisión de este recurso a la central. Como se puede apreciar la mayor parte del territorio estudiado reunía esta condición. Una situación idéntica se producía con la distancia a las carreteras. En el caso de la red eléctrica de alta y media tensión el resultado es algo menor, aunque se mueve en unos parámetros similares. Tomando esto en consideración, se puede estimar que realmente ninguna de las tres variables será determinante en el estudio ya que su distribución geográfica es lo suficientemente amplia como para facilitar la localización en la mayor parte de nuestro territorio. No ocurre lo mismo con las variables pendiente y radiación²⁹¹.

Las pendientes se obtuvieron aplicando la función *slope* del módulo GRID de ARC/INFO a un Modelo Digital de Elevaciones con pixel de 1 km de resolución. *Slope* obtiene el valor de cada celda en relación con las

²⁹¹ El análisis de distancia se realizó aplicándola función de buffer sobre las respectivas coberturas vectoriales de cada variable: carreteras, hidrografía y red eléctrica.

circundantes (en una matriz de 3 * 3), calculando la pendiente en función de la distancia entre los centroides de los píxeles y el desnivel salvado.

Además del tratamiento realizado para la obtención de las **pendientes**, se realizó el siguiente procedimiento: en primer lugar se obtuvo, mediante un análisis *pixel by pixel*, un nuevo grid con todos los píxeles con una pendiente no mayor al 4%. A este nuevo grid se le aplicaron dos tipos de filtrado (*majority filter* y *boundary clean*) para eliminar todos aquellos píxeles que se podían considerar como ruido²⁹². Con este grid más simplificado se realizó una conversión a formato vectorial que permitió realizar la superposición con las otras variables.

Como se puede apreciar, la orografía de la Península Ibérica determina que aproximadamente un 25% de su superficie tenga unas pendientes que encarecerían notablemente la construcción de la central. Todas estas áreas han sido consideradas como *restricciones* para su ubicación.

El coste de generación se obtuvo a partir de los datos de radiación directa obtenidos de las imágenes del satélite Meteosat según el método descrito por Ramírez (2000)²⁹³. A partir de un fichero ASCII con los datos de esta imagen, se ha realizado una conversión dentro de ARC/INFO

²⁹² Se consideran como ruido dentro de un grid o una imagen todos aquellos píxeles con nula o escasa representatividad que distorsionan el valor de su entorno. Para su eliminación se aplican diferentes tipos de filtrado en función de los aspectos a destacar y de la escala del análisis.

²⁹³ L. RAMÍREZ (2000): "Radiación solar a partir de imágenes de satélite".

consistente en registrar la imagen a partir de puntos fácilmente identificables (accidentes costeros), realizar una transformación afín y rectificar y proyectar la imagen, obteniendo así un grid con los valores de coste de producción.

Seguidamente se realizó un procedimiento similar al elaborado con las pendientes. Sobre el total se realizó un análisis *pixel by pixel* para obtener aquellos que tenían un valor inferior a 19 centimos de euro el kWh, pero a diferencia de las pendientes no se aplicó ningún filtro para homogeneizar los resultados, ya que esta era la variable de mayor interés para el análisis. Por ello su conversión a polígonos se realizó respetando el valor original de los píxeles de menos de 19 céntimos/kWh localizados dentro del límite de la Península²⁹⁴; este valor oscilaba entre las 18 céntimos/kWh y las 16 en pequeñas zonas del Cabo de Gata en Almería²⁹⁵.

Una vez obtenidas cada una de estas cinco capas se procedió a realizar la intersección de las mismas para obtener las zonas que cumplían con todas las restricciones. Esto se realizó con la función *intersect* de ARCINFO, este comando sólo permite realizar, en la versión utilizada (la 7.0.3), superposiciones de dos en dos, por lo que se procedió

²⁹⁴ Lógicamente los mejores resultados se dan en las zonas marítimas del Golfo de Cádiz y del Mar de Alborán, al sudoeste y sudeste de la Península respectivamente.

²⁹⁵ No obstante, es necesario advertir que la precisión de la escala utilizada no es suficiente como para poder definir el valor de producción a nivel local, por lo que los datos que se aprecian en los mapas se han de interpretar únicamente como referencias zonales.

como sigue: en primer lugar se cortó el mapa de coste de generación (que era el más restrictivo) con el límite de la España Peninsular, a continuación se intersectó esta información con la de pendientes, el producto de esta con la de Red, esta con agua y al final con carreteras. El resultado es las zonas que con una pendiente inferior al 4% y una carretera, una línea eléctrica y un curso de agua a menos de 10 km., tienen un coste de generación inferior a 19 céntimos/kWh.

Como se puede apreciar, la viabilidad económica de la central es la variable con mayor peso dentro del análisis de localización. Aunque más adelante se describen con mayor detalle los análisis estrictamente económicos, si que se debe de resaltar aquí que el coste de generación más favorable se localiza en el Valle del Guadalquivir y en el Sudeste de la Península (Almería, Murcia). Esto responde a la combinación de variables físicas (latitudinales, orográficas y climáticas) con las propiamente tecnológicas de explotación del recurso que determinan el coste final de generación a partir de los datos de radiación directa y de energía colectada (ver mapas 5-2 a 5-4).

Las áreas seleccionadas se pueden apreciar en el mapa *Principales zonas de localización* (ilustración 5-5) donde claramente se distinguen el sector suroccidental, con un claro predominio del Valle del Guadalquivir, y el sector suroriental, más disperso, aunque con valores de mayor intensidad (16 céntimos en la zona de Cabo de Gata). La leyenda elegida para este mapa es de tonos cálidos para reflejar la intensidad de la radiación, en la interpretación de este mapa no debemos de buscar

valores absolutos (el coste de generación de un pixel exacto), sino la aproximación a unas tendencias en la distribución espacial de este recurso, delimitada por las variables definidas. Una delimitación mayor requiere un estudio de mayor detalle, reduciendo la escala de trabajo.

Dos mapas más recogen las dos grandes zonas seleccionadas (ilustraciones 5-6 y 5-7). Estos mapas, al igual que el anterior sirven como referencia genérica de estos territorios. A partir de estas referencias se debería de realizar un cambio de escala para entrar a una localización más aproximada de las instalaciones.

El análisis planteado en el proyecto MERSOTERM tuvo su continuación un tiempo después en nuevo proyecto para la identificación de localizaciones óptimas de una central eléctrica que combinase la tecnología solar de torre con biomasa. Se trata del proyecto SOLBIO de cuyo planteamiento analizaremos a continuación la evaluación de recursos de biomasa.

La hibridación de tecnologías supone un interesante reto desde la perspectiva de investigación en la evaluación de recursos renovables y en la integración de tecnologías. Compaginar aspectos técnicos con la distribución espacial de los recursos y con las necesidades de localización de emplazamientos hace que los SIG tomen fuerza en este campo, ya que permiten asimilar en una nueva dimensión del proyecto variables ya tratadas, añadiendo aquellos nuevos datos e información geográfica necesaria para los nuevos objetivos.

Ilustración 5-1: Proyecto Mersoterm. Variables consideradas en el proyecto.

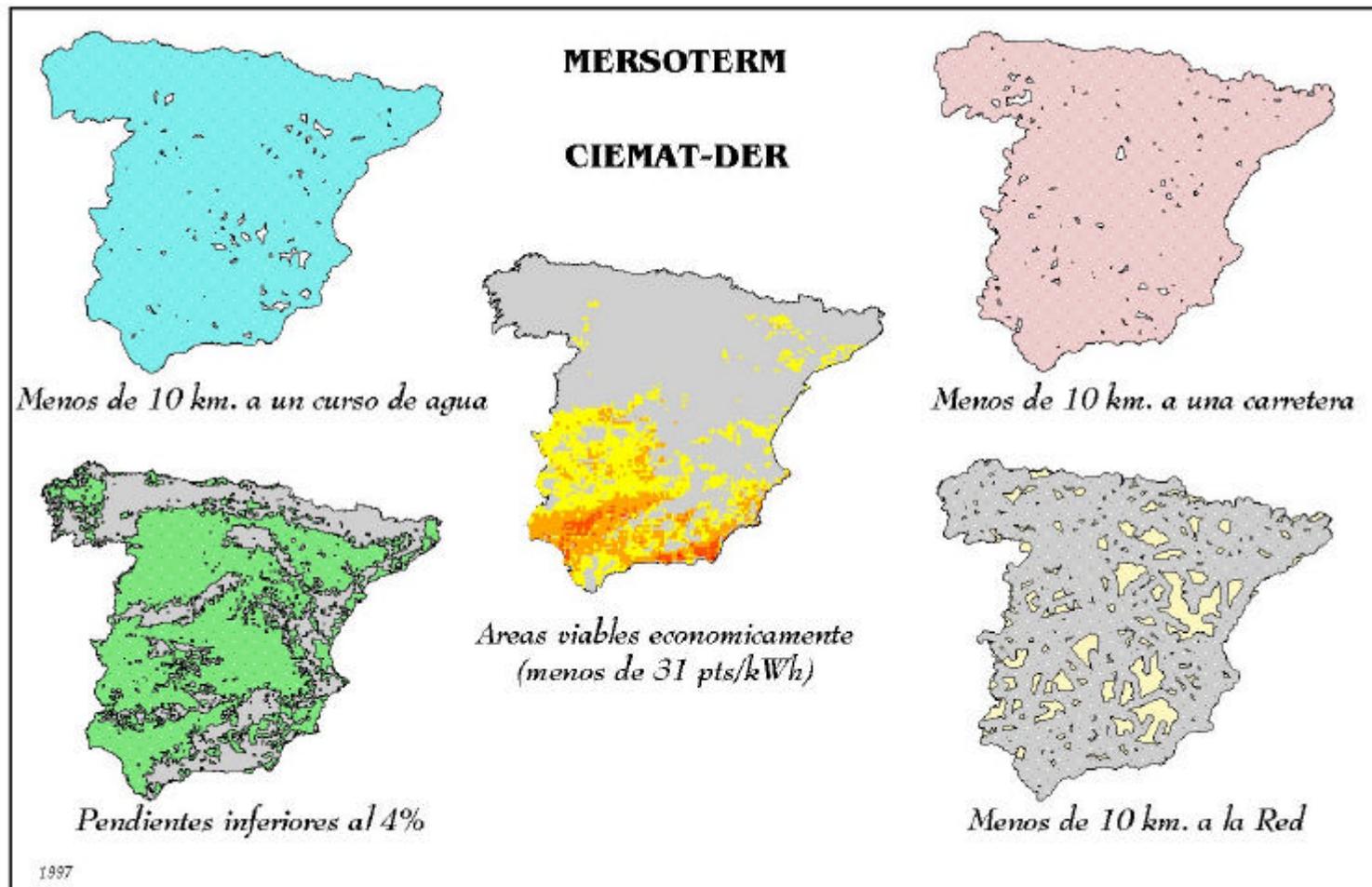


Ilustración 5-2: Proyecto Mersoterm. Radiación directa.

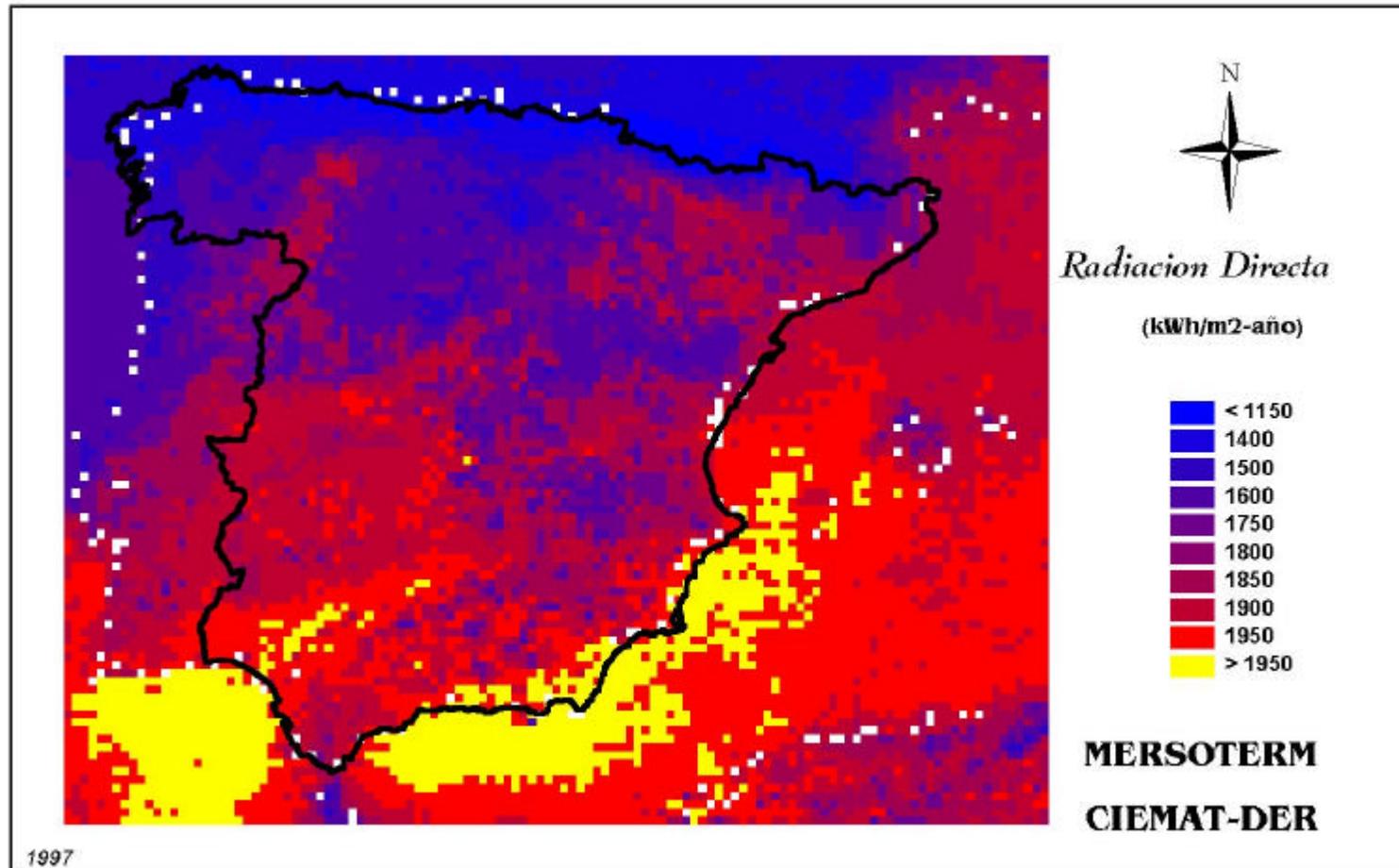


Ilustración 5-3: Proyecto Mersoterm. Energía colectada.

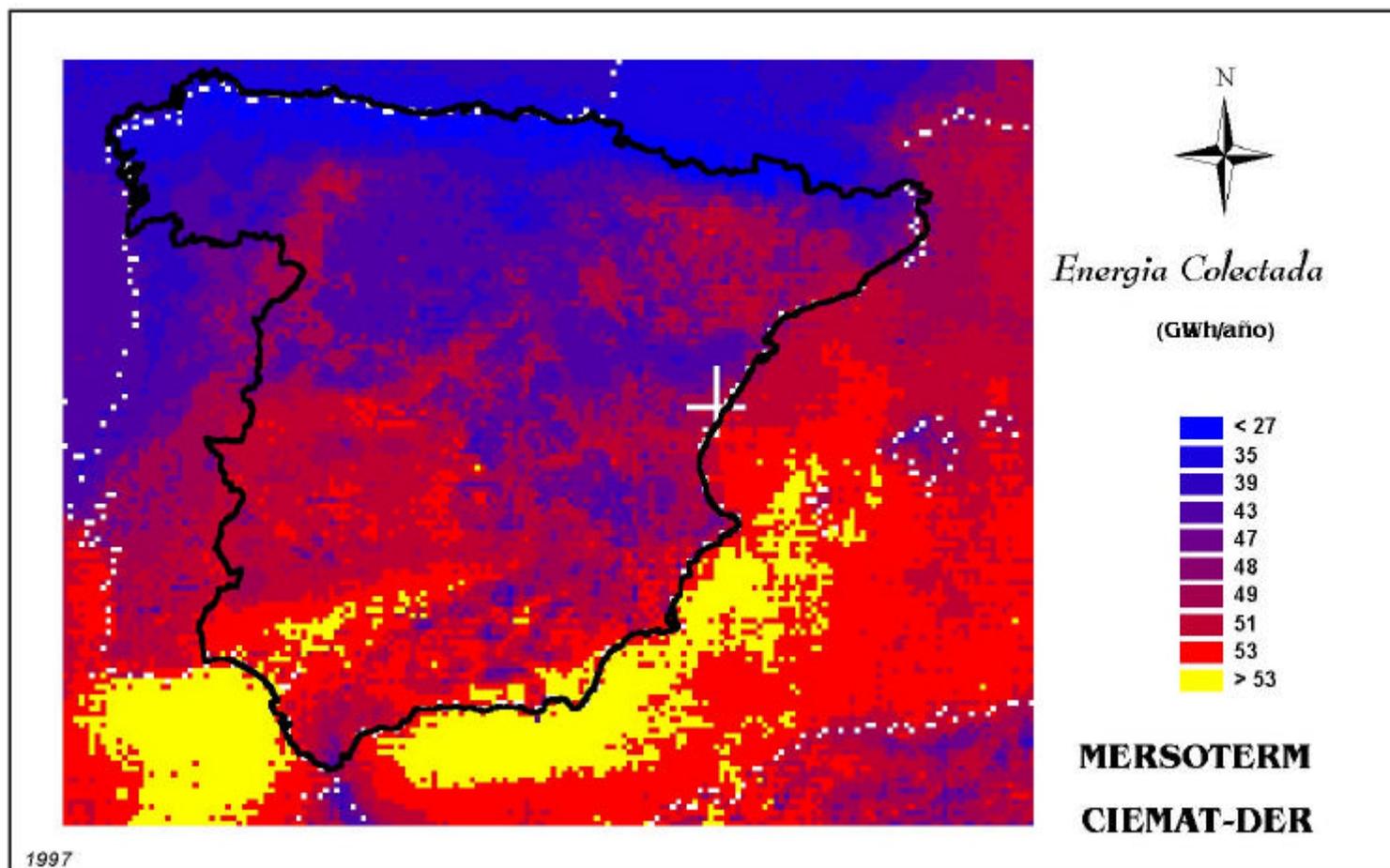


Ilustración 5-4: Proyecto Mersoterm. Coste de generación.

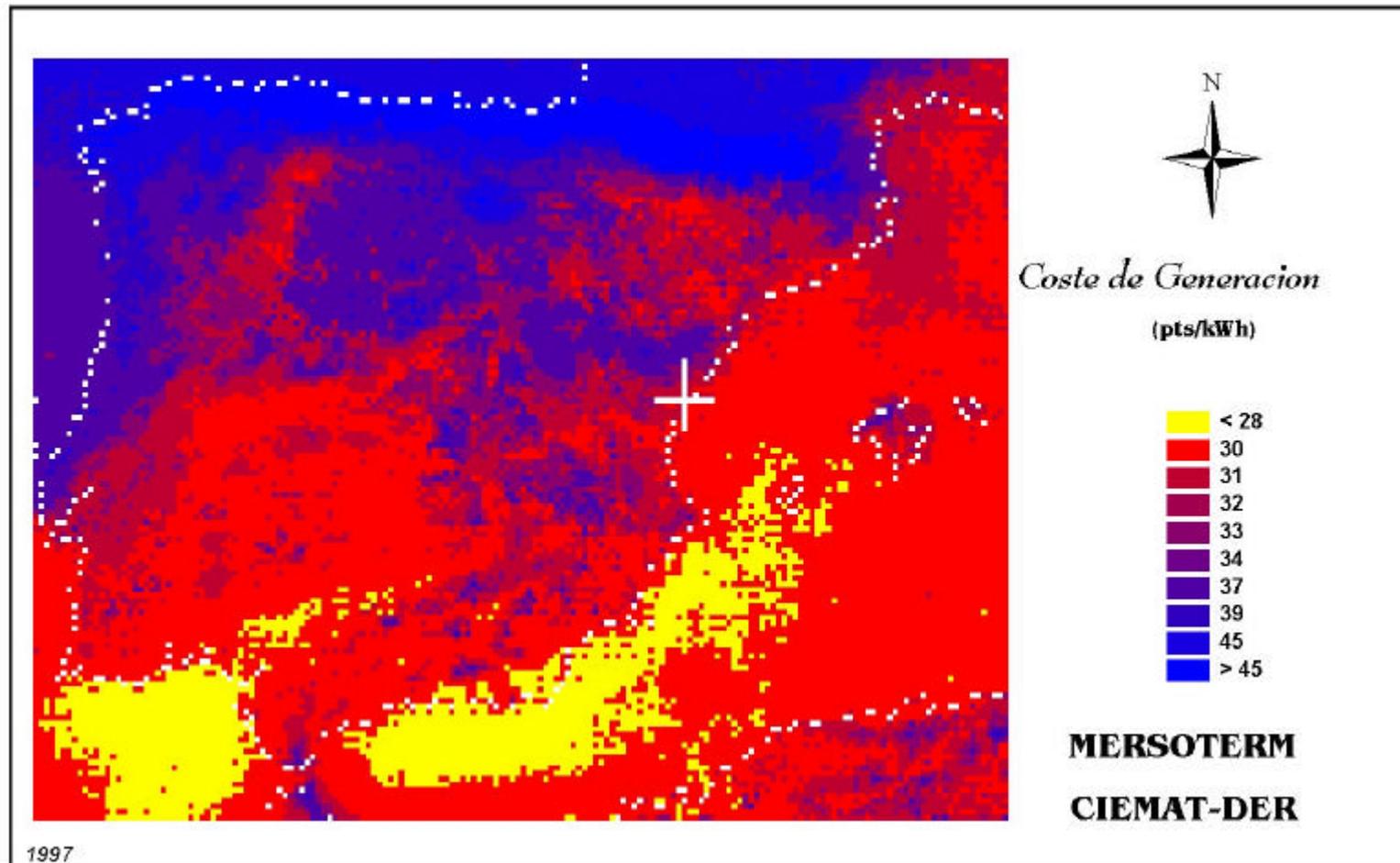


Ilustración 5-5: Proyecto Mersoterm. Zonas recomendadas para la implantación de una central solar de torre.

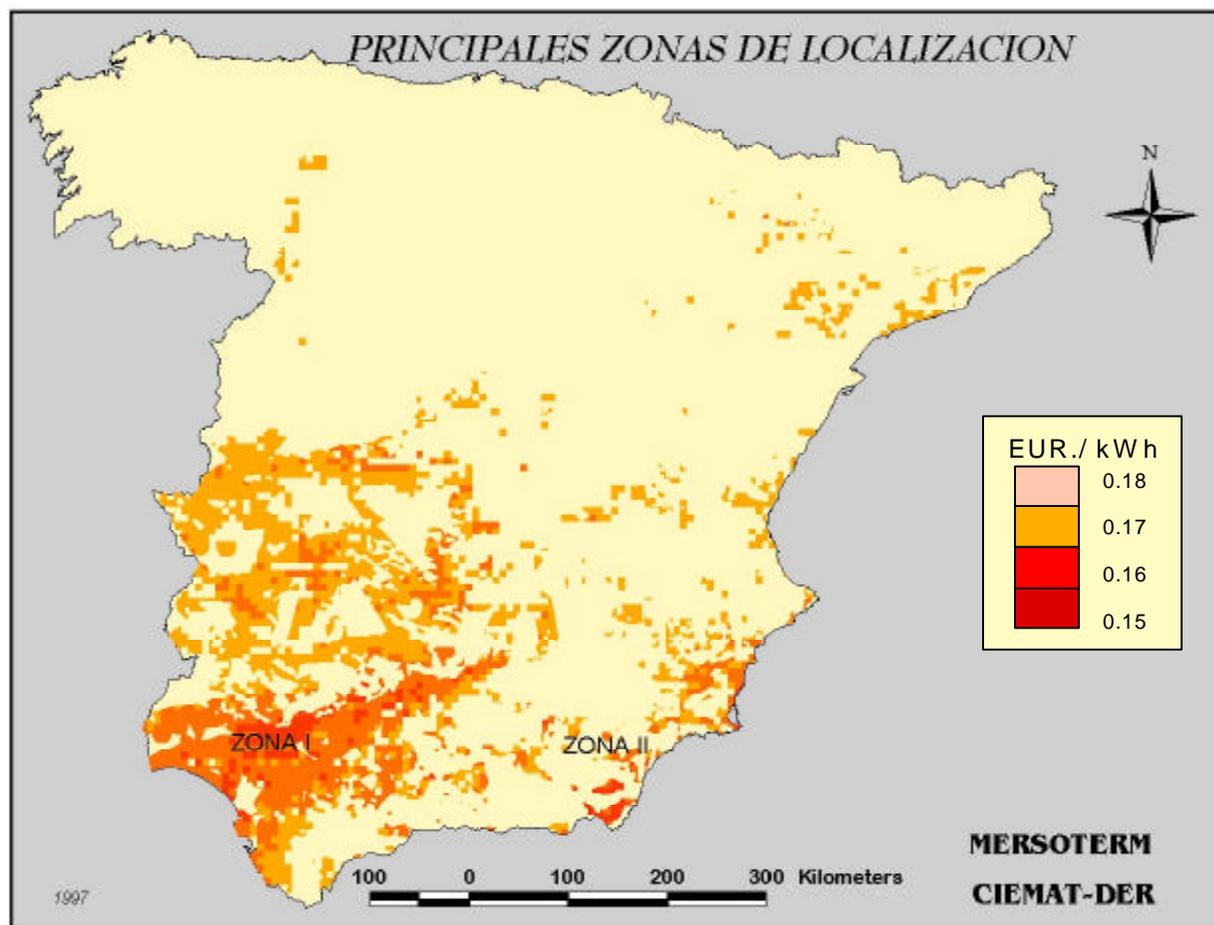


Ilustración 5-6: Proyecto Mersoterm. Potencial solar en Andalucía occidental.

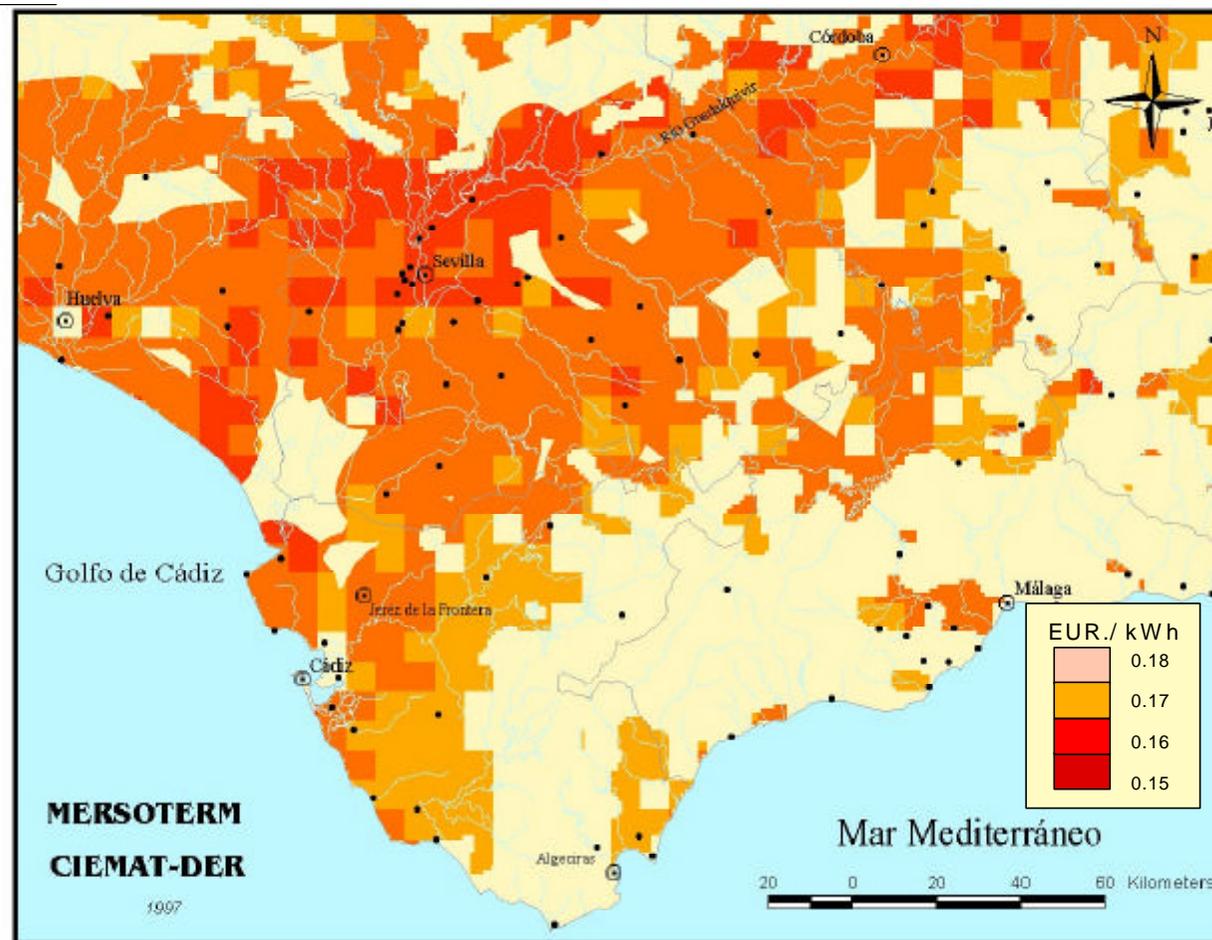
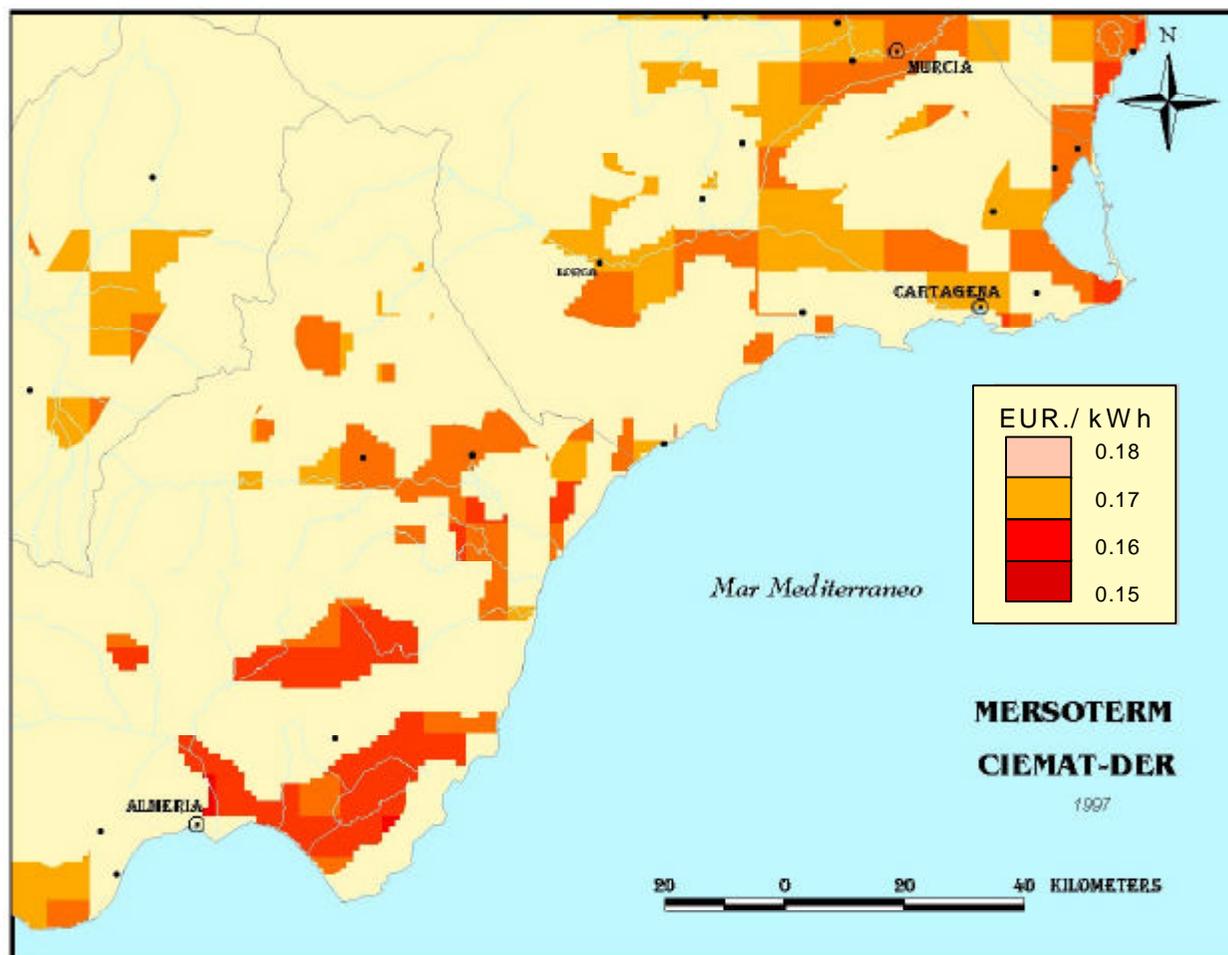


Ilustración 5-7: Proyecto Mersoterm. Potencial solar en Almería y Murcia.



5.1.2. Producción potencial de energía con Biomasa en Andalucía

La Biomasa es una de las FER con más posibilidades de desarrollo en España. El Plan de Fomento de las Energías Renovables prevé para su periodo de vigencia (1999-2010) un aprovechamiento energético de la Biomasa de 6.000.000 de tep. De ellas, más de 900.000 corresponderían a Andalucía. Esta FER incluye el aprovechamiento energético (eléctrico o térmico) tanto de residuos agroforestales como de cultivos energéticos. En este estudio únicamente se consideraron los residuos forestales, leñosos y herbáceos. La evaluación se realizó, por tanto, considerando la superficie dedicada a estos cultivos y los residuos que se producirían.

Como hemos visto, la región andaluza, situada entre los paralelos 36 y 38 aproximadamente, tiene un buen nivel de radiación solar en su conjunto. Desde un punto de vista físico, Andalucía se caracteriza por una orografía marcada por el Valle del Guadalquivir, flanqueado en su vertiente norte por sierra Morena y en la sur por las Béticas (con la mayor altitud de la Península en el Mulhacén, 3478 m). En ella predominan los suelos de componente arcillosa y calcárea, salvo la zona de Sierra Morena donde predominan los silíceos. El clima dominante es el mediterráneo, con temperaturas suaves en invierno y cálidas en verano y con una marcada sequía en este periodo. En las zona interiores, y alejadas de los vientos marinos que penetran por el Valle del Guadalquivir en otoño e invierno, dominan ciertas características de continentalidad.

Las zonas de alta montaña (Sierra Nevada sobre todo) tienen características microclimáticas propias relacionadas con su altitud y situación. La distribución de las precipitaciones es muy irregular, conviviendo zonas muy áridas (desierto de Tabernas) con otras de muy alta precipitación (Grazalema).

Estas características fisiográficas, edafológicas y climáticas determinan la existencia de una amplia zona de dominio del encinar mediterráneo que se extiende a lo largo del Valle del Guadalquivir. En el oeste predomina el alcornocal y en el este el matorral mediterráneo. El matorral de alta montaña es característico de ciertas zonas de las Béticas.

Los más de 87.000 km² de esta comunidad acogen una población que supera los siete millones de habitantes, distribuidos fundamentalmente en ciudades y núcleos de población grandes a lo largo de la franja litoral y del Valle del Guadalquivir.

Andalucía tiene un escaso peso en el sector industrial y en la producción energética. Junto al sector servicios, fundamentalmente turismo, la actividad agraria es la más característica de la región, con una superficie cultivada que supone en torno al 20% de la superficie dedicada a este fin en España y un valor de la producción de más del 25% del total nacional.

Predominan, en cuanto a superficie, los cultivos cerealistas y el olivar. Respecto de la actividad forestal las provincias más importantes son Málaga, Granada, Jaén y Huelva.

La combinación de buenos niveles de radiación con las características regionales de una importante superficie dedicada a la agricultura y la silvicultura, hacen que la opción de una central híbrida solar-biomasa para la producción de electricidad sea altamente interesante.

En este sentido, el objetivo del proyecto SOLBIO era evaluar las posibilidades de instalación de una central termoeléctrica mixta. Para la realización del estudio de producción de energía potencial con biomasa se utilizaron los datos de explotaciones agroforestales procedentes del Instituto de Estadística de Andalucía, tratando de determinar cual sería la superficie necesaria para obtener los residuos de biomasa energética suficientes para producir 300.000 kWh anuales en una central termoeléctrica.

5.1.2.1. Metodología aplicada en el estudio

Como ya se ha apuntado, para la realización de este estudio se utilizaron los datos de *Superficie de explotaciones agrarias (ha.) por municipio según su aprovechamiento* procedentes del **Instituto de Estadística de Andalucía** perteneciente a la Junta de Andalucía (<http://www.iea.junta-andalucia.es/sima/>)²⁹⁶. En el estudio sólo se

²⁹⁶ El IEA define la **explotación agraria** como "la unidad técnico-económica de la que se obtiene productos agrarios bajo la responsabilidad de un empresario". Cuando la explotación lleva implícita el uso de tierras (como es este caso) la superficie mínima considerada es de 0,1 hectáreas. Se distingue entre tierras labradas (herbáceos, olivar, viñedo, frutales y resto) y no labradas (prados, especies arbóreas forestales y resto). La agrupación "herbáceos solo/asociados" incluye las superficies dedicadas a barbecho.

considera la superficie de explotaciones agrarias dedicadas a herbáceos, olivar, viñedos, frutales y especies arbóreas forestales por ser las de mayor presencia y mejor rendimiento en cuanto a la producción de residuos aprovechables energéticamente.

En el momento de realizar el estudio, el IEA disponía de los datos procedentes de los Censos Agrarios²⁹⁷ correspondientes a los años 1982 y de 1989, utilizándose esta última fecha por ser la más reciente.

La metodología para el desarrollo de este estudio siguió los siguientes pasos:

Elaboración de la base de datos que contenía los códigos municipales, la superficie total del municipio y la superficie dedicada en el mismo a cultivos herbáceos, olivar, viñedo, frutales y forestal.

Cálculo de los valores de producción de residuos en función del tipo de biomasa.

Cálculo del poder energético por municipio.

Análisis de vecindad para evaluar las zonas con mayor potencial para el aprovechamiento energético de la biomasa.

²⁹⁷ *INE.*

En primer lugar se procedió a la construcción del *fichero de base de datos*. Para ello hubo que cargar tanto los datos de superficies agrarias por aprovechamiento y municipio como los códigos municipales y la superficie por municipio disponibles en la página web del IEA²⁹⁸. El dato del código municipal era necesario para cruzar la información de aprovechamientos con el mapa de municipios. Una vez convertidas ambas tablas se procedió a unirlas y a chequear los resultados (correlación entre superficie y municipios). El formato utilizado para pasar estos datos al Sistema de Información Geográfica fue DBF²⁹⁹.

Una vez cargados los datos en el SIG se calcularon los residuos para cada tipo de cultivo, la energía total para cada municipio y la producción energética de cada pixel de 1 km² en función de un radio de 25 km.

Para el cálculo de los residuos por cultivo se utilizó la siguiente tabla de equivalencias:

²⁹⁸ Ambas tablas se descargan desde la web en formato ASCII fácilmente legible con Excel².

²⁹⁹ DBF: data base file. Formato de archivos de base de datos fácilmente legible por ArcInfo y Excel.

Tabla 5-1: Equivalencias para el cálculo de residuos.

Cultivo	Residuos (Tm/Ha)	PCI (Kcal/kg)	PCI (kJ/kg)	Energía (kJ/Ha-año)	Energía (kWh/Ha-año)
Herbáceos	3	3600	15072.48	4.52E+07	1.26E+04
Olivar	0.9	3200	13397.76	1.21E+07	3.35E+03
Viñedo	0.3	3000	12560.4	3.77E+06	1.05E+03
Frutales	0.3	3000	12560.4	3.77E+06	1.05E+03
Especies arbóreas	0.5	3000	12560.4	6.28E+06	1.74E+03

En el cálculo de la energía se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Energía primaria} = \text{Hectáreas cultivadas} \times (\text{kg residuos/hectárea}) \times \text{P.C.I (kJ/kg)/3600}$$

Por último, se realizó en esta parte del estudio un análisis de vecindad para conocer la producción potencial de energía por km² tomando como referencia una distancia máxima³⁰⁰ para el transporte de la biomasa de 25 km.

Para este análisis se utilizaron las *funciones de análisis focal* incluidas en el módulo GRID de ArcInfo[?]. Con este tipo de funciones se obtuvo una matriz o grid³⁰¹ en la que cada pixel era el resultado de un determinado tipo de análisis de vecindad respecto al grid de entrada. Habitualmente, se trata de aplicar algún tipo de función estadística,

³⁰⁰ Esta suele ser la distancia máxima de referencia. Hay que tener en cuenta, como ya se ha apuntado anteriormente, que la biomasa, frente a los combustibles fósiles, se caracteriza por su gran volumen, lo que tiene una incidencia directa en los costes de transporte.

³⁰¹ Una matriz o grid es la estructura de datos raster de ArcInfo[?]. Para más información sobre esta estructura ver DOMÍNGUEZ (2000).

trigonométrica o de flujo a un rango de celdas alrededor de cada pixel. Así se puede asignar, por ejemplo, el valor medio de los “n” vecinos a cada celda de una matriz³⁰². Esta técnica es muy utilizada en teledetección para aplicar filtros que realcen o suavicen aquellos aspectos que se quieran analizar en la imagen. En este caso el objetivo era determinar el comportamiento espacial de una variable. Para ello se calcula el sumatorio del valor original de todos los pixeles incluidos en un radio de 25 km. alrededor de cada una de las celdas de la matriz, con lo que se averiguaba, de una forma continua y para todo el territorio estudiado, cual sería el valor resultante de la energía acumulada procedente de la biomasa en un radio de 25 km.

La función de ArcInfo utilizada fue **focalsum**, la cual se aplicó a un grid de producción potencial de energía por municipio, expresada en kWh/km² año, por lo que el valor de cada pixel (de superficie 1 km²) era el equivalente a los kWh/año producibles con los recursos de biomasa incluidos en el mismo (ver ilustración 5-15)³⁰³.

5.1.2.2. Producción potencial de Biomasa

El resultado del estudio arroja una producción potencial de residuos para biomasa cercana a los 8 millones de toneladas al año (ver ilustración

³⁰² ESRI (1991): “Cell-based Modeling with GRID? ”.

³⁰³ En esta función se aplicó la opción círculo, con un radio de 25 km., es decir, un radio 25 celdas de 1 km perpendiculares a cualquiera de los ejes de cada pixel de la matriz.

5-8). Este potencial se distribuye entre los tipos analizados según se aprecia en la tabla 5-2.

Como se puede apreciar la producción de herbáceos es muy superior a la de los otros tipos contemplados en el estudio. Un segundo nivel estaría formado por los residuos del olivar y forestales y un tercer nivel (muy por debajo) por los residuos procedentes de frutales y viñedos.

Tabla 5-2: Producción potencial de biomasa en Andalucía.

Tipo de Biomasa	Superficie cultivada (Ha.)	Producción potencial de residuos (Tm.)
Herbáceos	1.1967.396	5.902.188
Olivar	1.104.413	994.023
Forestal	1.774.398	887.348
Frutales	254.354	76.342
Viñedos	57.709	17.327

Respecto a la superficie cultivada, se puede decir que ocupan prácticamente el 60 % de la región y que, de esa proporción, el 55 % corresponde a las tres fuentes con mayor relevancia en la producción regional de residuos de biomasa (herbáceos, olivar y forestal).

Como se aprecia en el mapa 5-8, la mayor productividad de biomasa, para el conjunto de los tipos estudiados, se encuentra en los municipios del Valle del Guadalquivir. Ello es debido a la mayor productividad vegetal de las especies en esa zona por las condiciones edáficas y climáticas.

Ilustración 5-8: Producción potencial de biomasa por municipios.

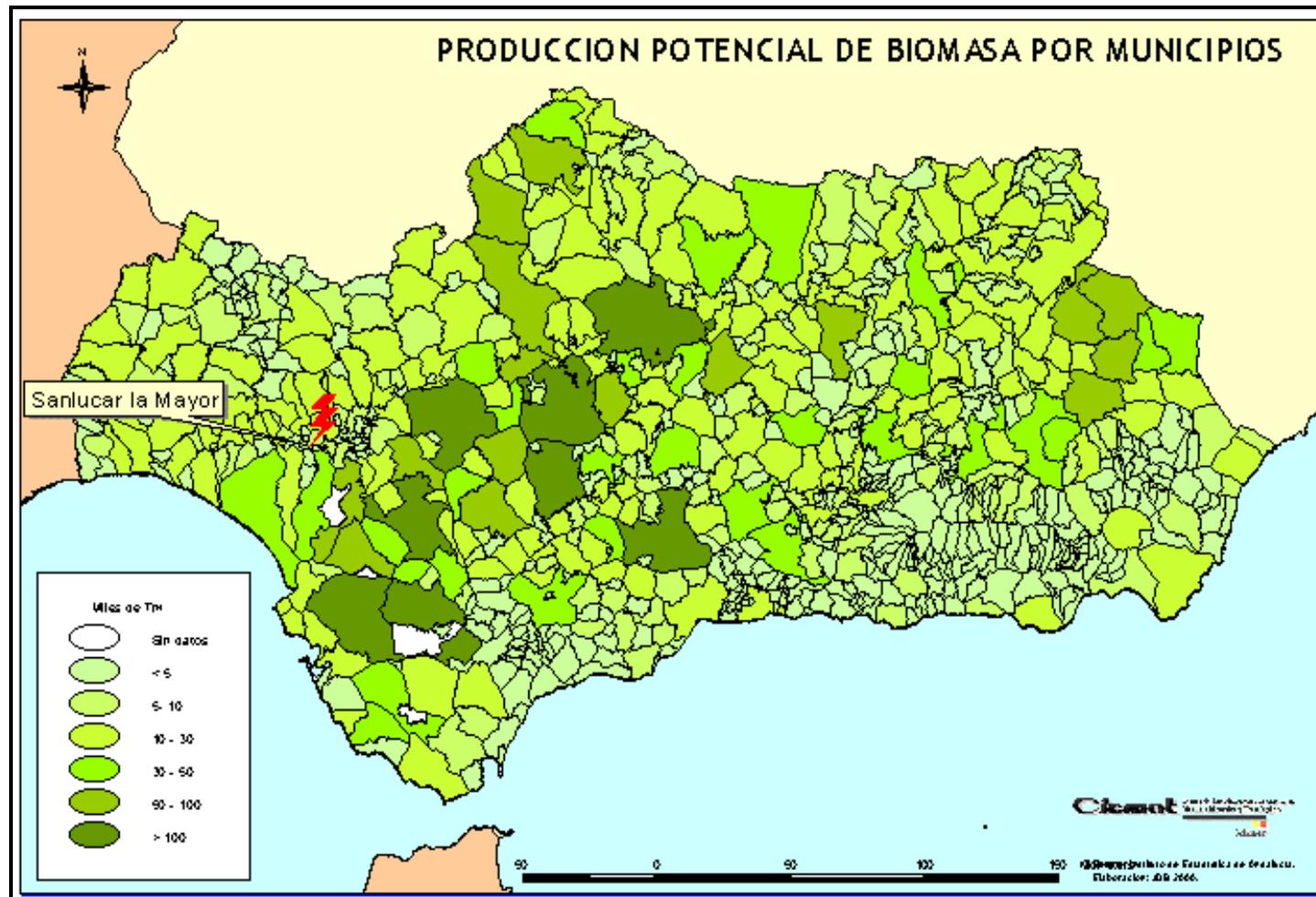


Ilustración 5-9: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos herbáceos.

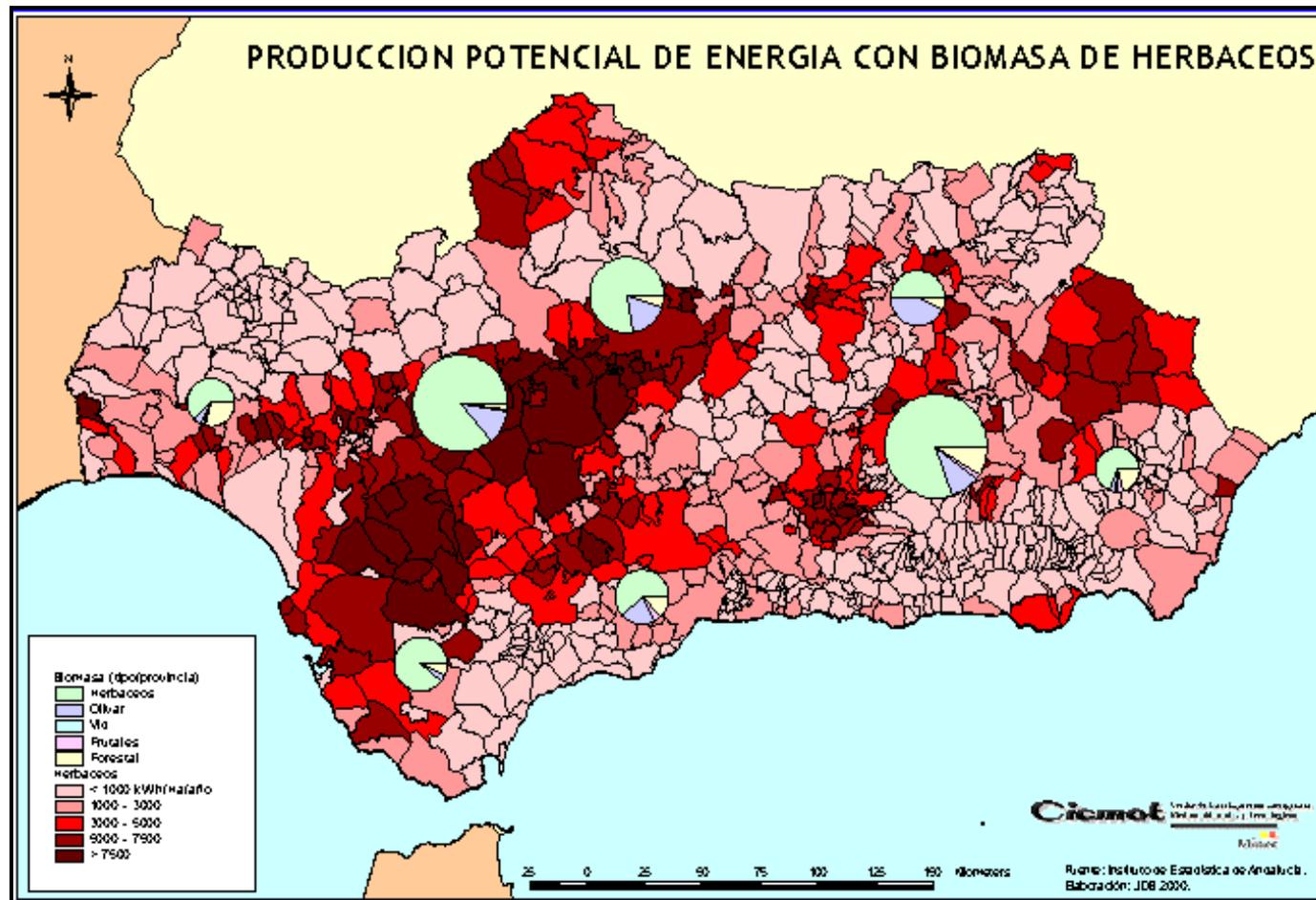


Ilustración 5-10: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos olivareros.

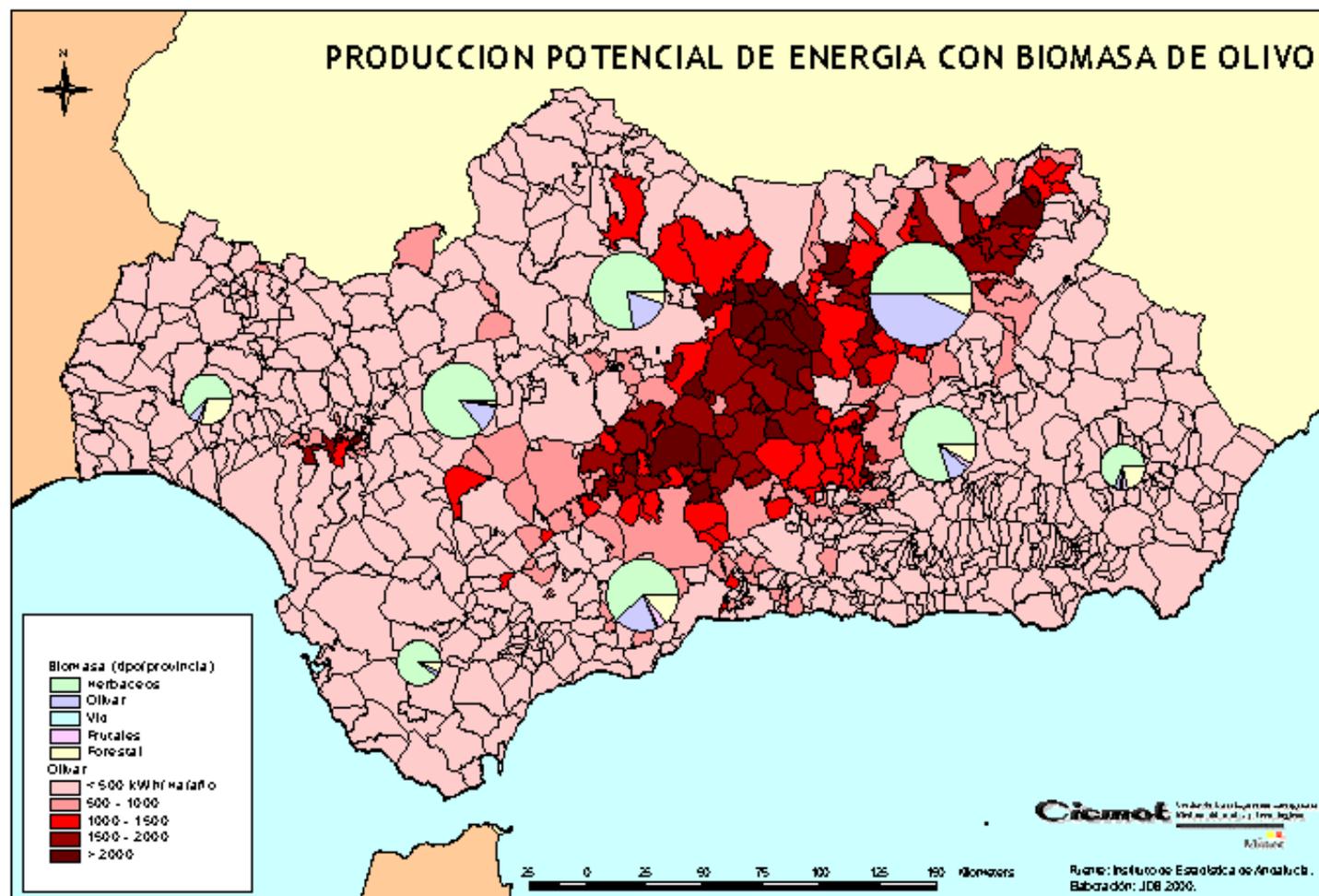


Ilustración 5-11: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos forestales.

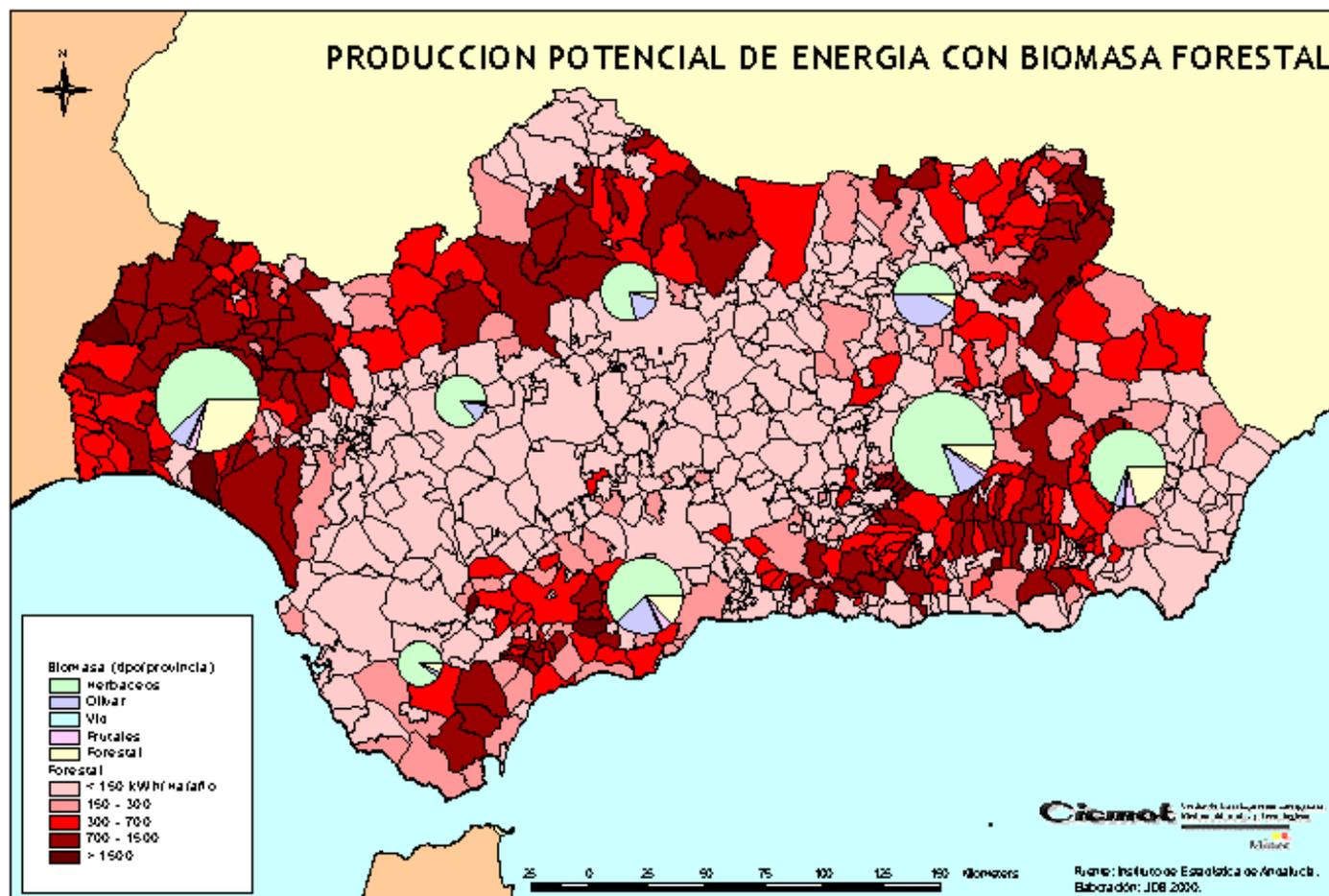


Ilustración 5-12: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos de plantaciones de árboles frutales.

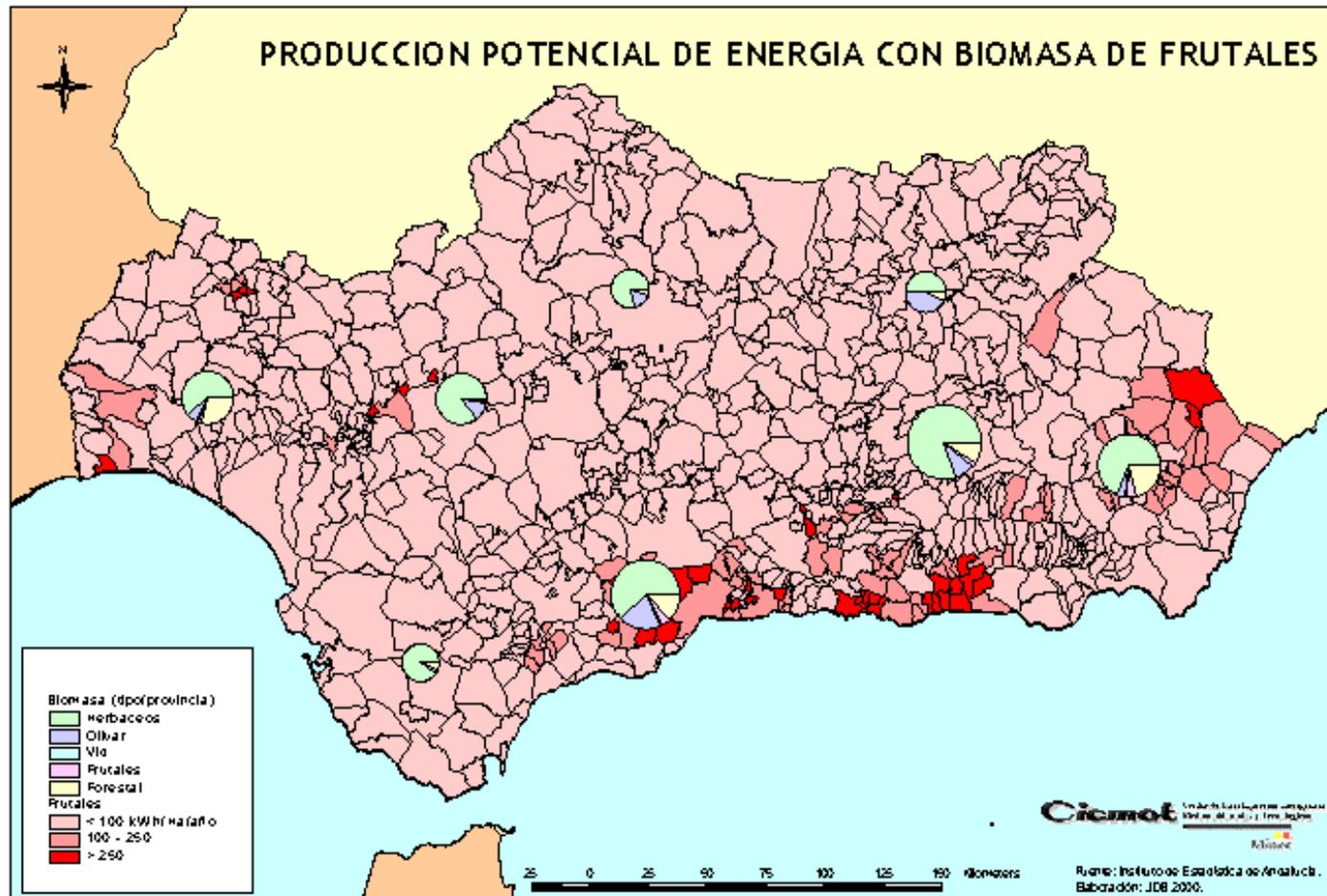
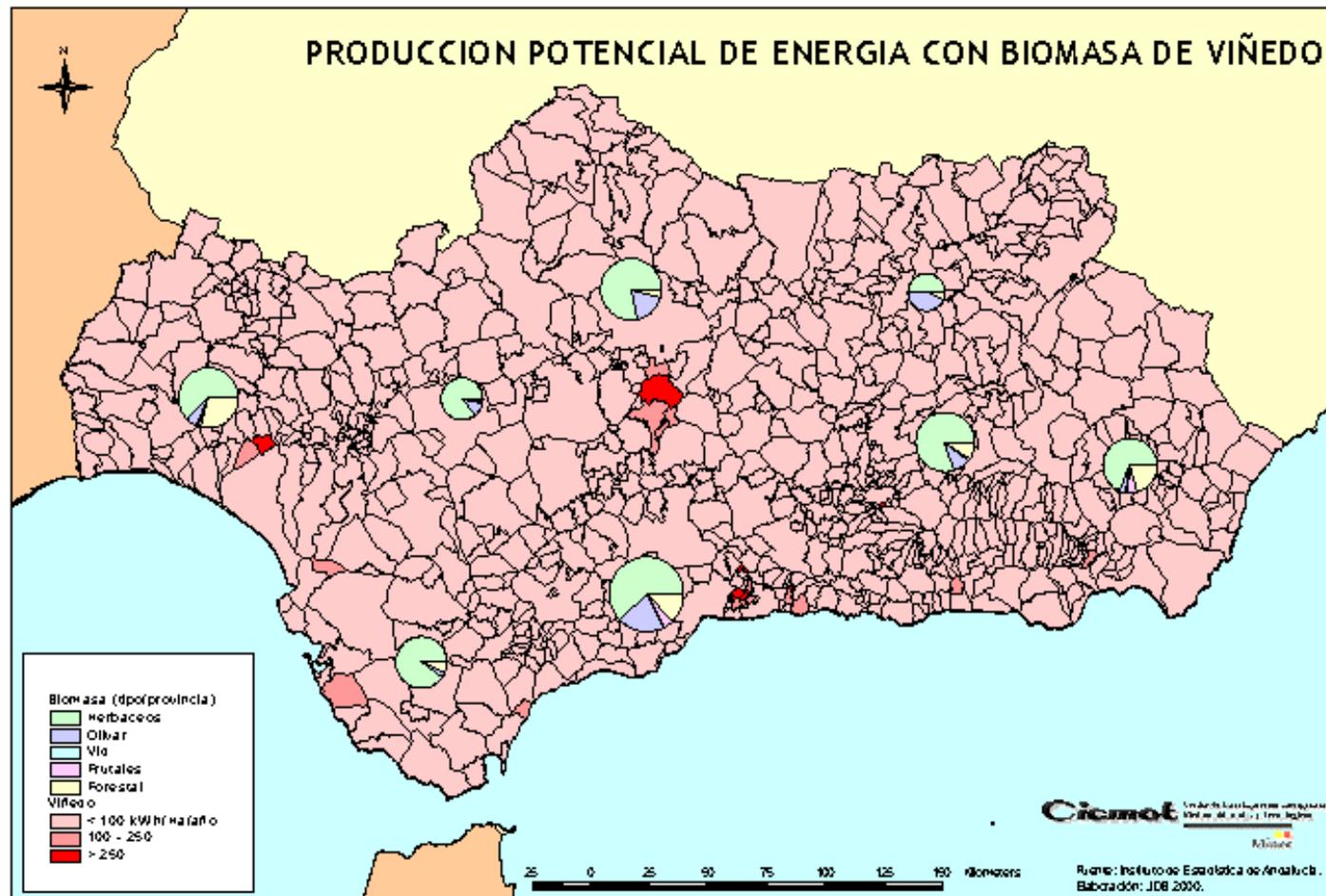


Ilustración 5-13: Producción potencial de energía a partir de la biomasa procedente de residuos de viñedos.



Los mapas siguientes (5-9 a 5-13) corresponden a cada uno de los cinco tipos de biomasa estudiados: herbáceos, olivar, forestal, frutales y viñedo. En cada uno de ellos se representa la producción potencial de energía por municipio o energía primaria, sobre la base del aprovechamiento teórico del total de los residuos producibles en el mismo, para cada tipo de biomasa. Además, se superponen unos gráficos circulares para cada una de las provincias andaluzas, en los que el tamaño del círculo es proporcional a la energía producible con el tipo de biomasa representado y los sectores circulares representan la aportación de cada tipo al potencial energético provincial de la Biomasa³⁰⁴.

Los residuos procedentes de **cultivos herbáceos** son sin duda alguna los más relevantes, desde la perspectiva de su aprovechamiento energético como biomasa, en Andalucía. Esto es así por dos motivos: son los más abundantes y son los que presentan un mayor rendimiento en términos de conversión de energía. Cuentan con una productividad de tres toneladas por hectárea y un Poder Calorífico Inferior (PCI) de 3600 Kcal/kg.

El rango de productividad energética potencial de los municipios andaluces con este tipo de residuos se sitúa en: 13652 kWh/Ha/año. El valor medio de todos los municipios está en 2419 kWh/Ha/año con una desviación típica de 2677 kWh/Ha/año. La distribución de esta biomasa es

³⁰⁴ Los sectores circulares pueden servir para comparar unos mapas con otros, actuando como referencia al mantener en todos los mapas la misma proporción por sectores.

muy poco uniforme, presentando una alta variabilidad que se refleja en un amplio rango municipal y una alta desviación.

Las provincias más productivas son Sevilla y Granada y las mayores concentraciones se dan en el Valle del Guadalquivir (probablemente vinculadas a la importancia de los cultivos de regadío en esa zona). Geográficamente esta distribución está vinculada a las características fisiográficas de la región. En el mapa se puede apreciar como todo el Norte, fundamentalmente montañoso (Sierra Morena, Cordillera Subbética), presenta un menor aprovechamiento (excepción hecha del Valle de los Pedroches al Norte de Córdoba con una importante economía ganadera y por lo tanto con abundantes pastos). Esta distribución se invierte, como se ve más adelante, en la biomasa forestal.

Después de los cultivos herbáceos, un segundo grupo de productividad media incluye los residuos procedentes de la explotación olivarera y silvícola.

La producción de residuos procedente de los **olivares** se evalúa³⁰⁵ en cerca de un millón de Tm. Hay que tener en cuenta que la productividad de residuos por hectárea es tres veces inferior a la de herbáceos (0.9 Tm/Ha), aunque su PCI es de solamente 400 kcal/kg menos (3200 vs. 3600 Kcal/kg).

³⁰⁵ *Es necesario recordar que este cálculo se realiza sobre la base de la superficie de cada cultivo existente en el Censo Agrario de 1989.*

La productividad energética potencial del olivar está en un rango de 3.107 kWh/Ha/año, siendo el valor medio de 480 y la desviación de 649 kWh/Ha/año. La variabilidad es pues considerablemente inferior a la de los cultivos herbáceos.

Esta menor variabilidad se refleja en el mapa en forma de una altísima concentración que se distribuye entre las Cordilleras Subbéticas y Béticas, con especial relevancia en la provincia de Jaén y en el entorno de la confluencia de las provincias de Córdoba, Jaén, Málaga y Sevilla. Probablemente esta distribución se deba a las características edáficas y climatológicas de este cultivo, así como a importantes factores de aprovechamiento tradicional.

Los **residuos forestales** cierran la terna de cultivos de alta productividad de cara al aprovechamiento energético de la Biomasa en Andalucía. Esta región cuenta con una superficie de suelo dedicado a especies arbóreas de prácticamente 1.775.000 hectáreas. Con una producción potencial de residuos próxima a las 900.000 toneladas anuales. Los residuos forestales cuentan con un PCI igual al de los frutales y viñedos, y con una producción de residuos por unidad de superficie relativamente baja.

La variabilidad intermunicipal en la producción potencial de energía se sitúa en un rango de 2.388 kWh/Ha/año, con un valor medio bajo, entorno a los 300 kWh/Ha/año, y una desviación de 400 kWh/Ha/año.

Las provincias potencialmente más productivas son Granada y Huelva. En el primer caso es indudable el peso forestal de Sierra Nevada. En el segundo las repoblaciones de pinares y eucaliptos adquieren un papel importante, junto a una bien conservada población de alcornoques. La distribución geográfica por municipios está muy relacionada con el relieve. Así, los municipios más productivos son los que bordean la comunidad (salvo en el sudeste y en la desembocadura del Guadalquivir), vinculados a los sistemas montañosos periféricos de la región (Sierra Morena, Subbéticas, Béticas y Penibéticas).

La relevancia energética de los residuos de biomasa procedente de plantaciones de **frutales** y de viñedos es escasa en comparación con el resto de especies estudiadas. Su valor es puntual y/o complementario respecto de zonas donde sería inviable la explotación de otros residuos (p. ej. Almería). Los frutales podrían aportar poco más de 75.000 Tm./año al total regional, lo que significa menos del 1%. Además, tanto su PCI, como su productividad de residuos por unidad de superficie, se encuentran, junto a los viñedos, en los valores más bajos para las especies estudiadas.

El rango energético por municipio se encuentra en torno a los 500 kWh/Ha/año, con una media de 52 kWh/Ha/año y una desviación de 86 kWh/Ha/año. Estos datos son insignificantes frente a la media de herbáceos que era de 2.400 kWh/Ha/año.

Las provincias más destacadas en este tipo son las del arco litoral de Andalucía Oriental (Málaga, Granada y Almería), donde podrían jugar un papel complementario respecto de otras tipologías (p. ej. forestal en Granada). La distribución de este cultivo raramente supera el ámbito municipal. En ella destacan tres zonas, una por cada una de las provincias antes señaladas. La plantación de frutales (y por ende las posibilidades de explotación energética de sus residuos) está muy vinculada a los usos agronómicos, con una importante especialización en especies, vinculada también a las condiciones climatológicas.

Los residuos procedentes de explotaciones **vitivinícolas** son muy escasos. Tan sólo en municipios muy especializados podrían llegar a alcanzar un cierto papel energético.

La distribución de este potencial, más que zonal como en el caso anterior, tiene un carácter municipal. Siendo muy pocos los municipios que superarían una producción de 250 kWh/Ha/año.

5.1.2.3. Producción potencial de energía

Una vez estudiada la distribución del potencial energético en los municipios andaluces con relación a las cinco especies de biomasa contempladas, se realiza un análisis de la viabilidad energética de la biomasa regional. Para ello se contemplan dos aspectos: la distribución del potencial energético regional por municipios para el conjunto de la

biomasa³⁰⁶ y el análisis del potencial de cada punto de Andalucía en función de una distancia dada.

Lógicamente la distribución del potencial energético de la Biomasa en el ámbito regional está determinada por el cultivo con mayor aporte a este total: los herbáceos. No obstante, la superposición de todos los cultivos elimina ciertos efectos locales dando mayor relevancia a las distribuciones zonales que, además, son las más interesantes desde el punto de vista del recurso, ya que la biomasa, por el carácter volumétrico ya apuntado, precisa de amplias zonas de recolección, beneficiándose de la heterogeneidad de los recursos en su vertiente temporal.

Estadísticamente debe de destacarse la mayor homogeneidad de la distribución. Esta homogeneidad se refleja en el mapa de una forma clara. El rango de valores es de 1368 MWh/km²/año, con un valor medio de 329 MWh/km²/año y una desviación de 257 MWh/km²/año.

El mayor potencial se encuentra en el Valle del Guadalquivir (destacando el eje entre Écija y Utrera), con un secundario importante en las Béticas (pastizales, forestal, olivar), aunque podría presentar problemas para el transporte (mayor sinuosidad de las vías de

³⁰⁶ Este análisis se ha realizado en MWh/km²/año puesto que estas unidades permiten dos cosas. En primer lugar evaluar posteriormente la superficie aproximada para alcanzar los 300.000 MWh en los que se dimensionaría la central. En segundo lugar, trabajar con unidades de superficie de km², que será el tamaño del pixel para el análisis zonal que se presentó en el apartado de metodología.

comunicación), la extracción y el emplazamiento de la central (pendientes).

En el mapa recogido en la ilustración 5-15 se aprecia claramente como la mayor parte del territorio regional es potencialmente utilizable para instalar una central de 300.000 MWh anuales con la Biomasa recolectada en un radio de 25 km.

La productividad potencial se dispara para las zonas del Valle del Guadalquivir y del eje de las Béticas. Esto implicaría que una central ubicada en cualquiera de esas zonas necesitaría una superficie mucho menor para cubrir sus necesidades de Biomasa, con el consiguiente abaratamiento de costes.

En el mapa se señala, además del área incluida en el rango de 300.000 MWh/año, la futura localización de una *central solar de torre* en Sanlúcar la Mayor (Sevilla).

La determinación de ese rango de generación implica una importante independencia de la localización de la central respecto del recurso, ya que ese rango se puede obtener en una distancia máxima de 25 km. en la mayor parte de la zona estudiada. Esto facilitaría la inclusión de otro tipo de variables o criterios, tales como la combinación de tecnologías en una central mixta solar-biomasa o, porque no, otros aspectos ambientales, técnicos, sociales o económicos.

5.1.3. Análisis económico

El análisis económico para una planta de 10 MW de potencia con una aportación solar en torno al 25% y una producción del entorno de los 100.000 MWh anuales sitúa el coste por unidad de energía producida o LEC en menos de 10 céntimos de euro por kWh. El esquema de central planteado por SOLBIO puede ser interesante en aquellas zonas de nuestro país donde los precios de la biomasa sean competitivos (en torno al medio céntimo de euro por kWh), ya que la hibridación de la central daría opción a participar en los precios estipulados para la generación con renovables.

El estudio económico incluye un análisis de sensibilidad de las siguientes variables: coste de la biomasa, tarifa eléctrica solar, tarifa eléctrica de la biomasa, tasa fiscal, tasa de actualización de la tarifa eléctrica. Ya que el coste de la biomasa es difícilmente reducible por encontrarse este próximo a su mínimo de rentabilidad de explotación, el análisis de sensibilidad de las variables económicas arroja una muy escasa variabilidad del LEC. La rentabilidad económica dependerá de esta forma básicamente de que la Tarifa Eléctrica Solar se sitúe por encima de los 15 céntimos/kWh para una aportación solar próxima a un tercio y que la Tarifa Eléctrica de la Biomasa supere los 9 céntimos/kWh para una aportación de los dos tercios. En el caso de no optar por un sistema híbrido, el valor mínimo de la Tarifa solar se situaría por encima de los 21 céntimos y de la opción sólo biomasa estaría por encima de los 6 céntimos.

En conclusión, este proyecto aporta una metodología para el análisis de la viabilidad de sistemas híbridos (solar-biomasa) para la producción distribuida de electricidad, donde se combina el análisis de las variables geográficas para la localización de la central con la definición de la tecnología más viable y el análisis de viabilidad económica³⁰⁷.

³⁰⁷ El pasado día 2 de agosto de 2002, el Consejo de Ministros aprobó un Decreto de incentivo a las renovables que incluye una prima de 0,12 euros por kW/h a la electricidad producida en centrales térmicas solares. Esto supone que la central proyectada en el proyecto expuesto empiece a ser construida de forma inmediata en San Lucar la Mayor. Se tratará de una central termoeléctrica de torre con una potencia instalada de 10 MW y una superficie ocupada de 90.000 m², con un campo de 981 heliostatos, una estimación de 2.300 horas de funcionamiento al año y un presupuesto inicial de 36 millones de euros. En su construcción se generarán 74 empleos de los cuales 12 permanecerán en la explotación y mantenimiento de la central. (Inmaculada G. Mardones, *El País*, 4/8/2002, pág. 21).

Ilustración 5-14: Producción potencial de energía con biomasa en los municipios de Andalucía.

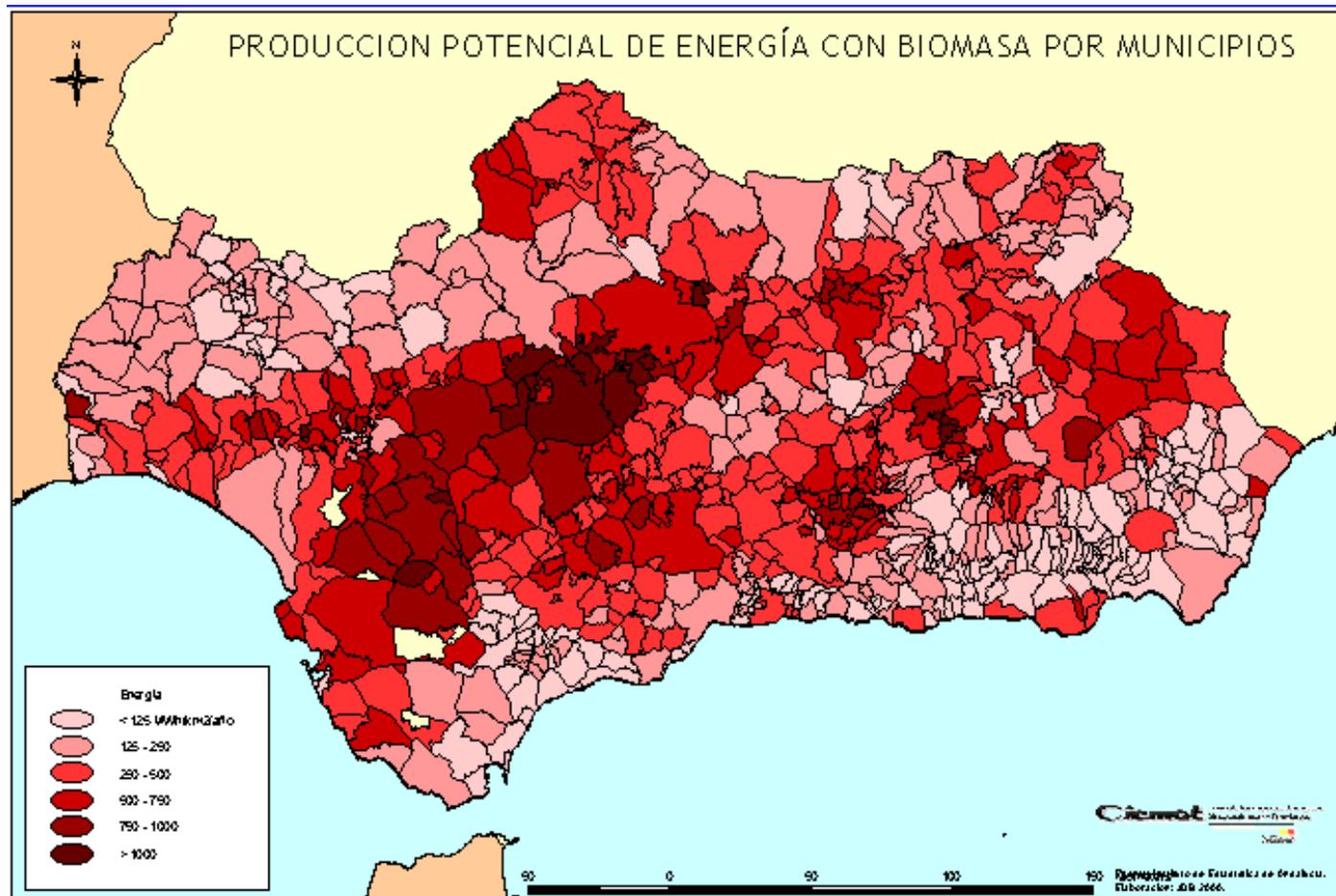
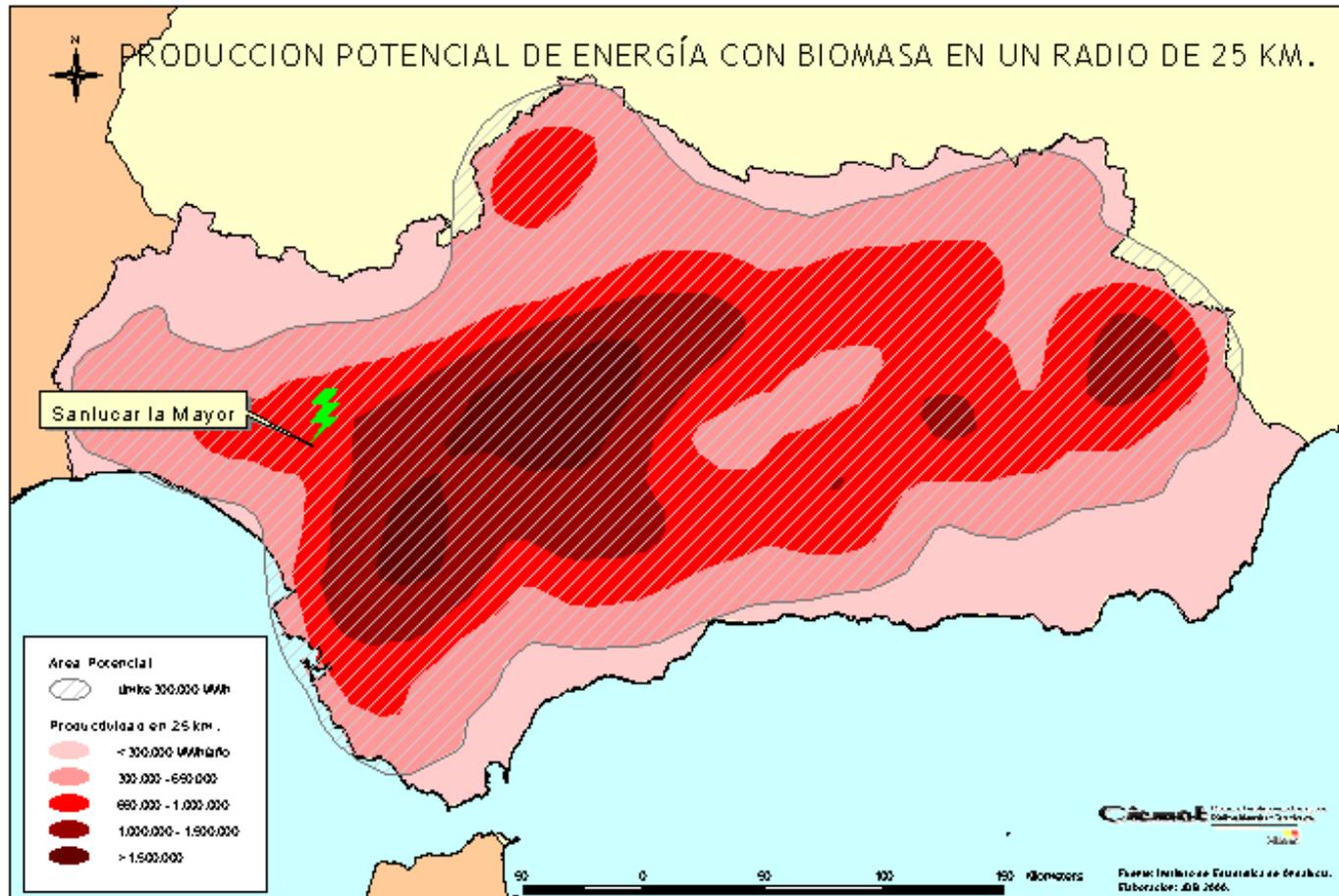


Ilustración 5-15: Producción potencial de energía en un radio de 25 km.



5.2. Análisis de las posibilidades de integración de las energías renovables en el municipio de Lorca (Murcia).

Entre 1997 y 2000 se desarrolló, mediante un acuerdo de colaboración entre el CIEMAT y el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de la U.P.M. (DIE-EUITI), el proyecto de investigación: *Los Sistemas de Información Geográfica en la integración regional de las Energías Renovables para la producción descentralizada de electricidad. Análisis de parámetros técnicos.*

El objetivo de esta colaboración era determinar el grado de incertidumbre de los resultados proporcionados por el programa SOLARGIS³⁰⁸, desarrollando una nueva aplicación, adaptada a nuestro entorno, y en la que se tuviese certeza de la calidad de los resultados. Para la consecución de estos objetivos se analizaron los parámetros técnicos y económicos más relevantes en la integración regional de las FER para la producción descentralizada de electricidad.

Como consecuencia de este estudio se ha desarrollado una aplicación SIG, basada en ArcInfo[?], que completa y mejora la versión inicial de SOLARGIS en varios aspectos. De un lado, incorpora un escenario de demanda en base a variables socioeconómicas, establecido

³⁰⁸ En el capítulo anterior se hace una descripción pormenorizada de este proyecto desarrollado en el marco del programa JOULE de la Unión Europea.

a partir de datos experimentales de consumo. Además, realiza el cálculo del factor de capacidad de los sistemas convencionales basándose en criterios de diseño contrastados profesionalmente; asigna nuevas variables y elimina otras irrelevantes o redundantes; y mejora notablemente el control del programa por parte del usuario.

Sobre este nuevo SIG de electrificación rural con energías renovables se ha desarrollado una metodología de “análisis de sensibilidad espacial” que permite conocer la influencia de las variables en el resultado de su aplicación. Para la verificación de la metodología se ha tomado como área de estudio el municipio de Lorca (Murcia).

El municipio de Lorca, situado en el suroeste de la Región de Murcia, tiene una superficie de 1681 km² (la mayor de España) con una población en torno a los 70.000 habitantes que se dividen entre el núcleo principal (dos terceras partes aproximadamente) y 39 *diputaciones*, o circunscripciones menores.

Fisiográficamente, la *Comarca de Lorca* (compuesta por los municipios de Lorca, Águilas y Puerto Lumbreras y con una extensión funcional hacia las provincias de Almería y Granada) se articula en cuatro unidades geomorfológicas (tierras altas, reborde interior de la depresión prelitoral, depresión prelitoral y sierras y llanuras litorales) en un sistema de gradería NW-SE. Es pues de una gran complejidad morfológica, la cual soporta debido fundamentalmente a unas precipitaciones muy escasas e

irregulares un paisaje semiárido que se ve alterado por la acción humana con la implantación de numerosos regadíos³⁰⁹.

La distribución de la población en Lorca (ver mapa de densidad de poblamiento en la ilustración 5-21) se concentra en torno al eje de la carretera que atraviesa el núcleo principal, situado en la zona central del municipio. Sin embargo, existe una poblamiento de baja densidad, muy numeroso en el sur y también presente, aunque en menor cuantía, en el norte. Este hecho origina que, junto a una actividad agraria muy vinculada al regadío³¹⁰, existan en el municipio numerosas viviendas sin electrificar, donde la extensión de la red, como alternativa de electrificación, puede resultar costosa³¹¹.

El proyecto que aquí se presenta trata de evaluar las posibilidad de integración de las energías renovables para la producción descentralizada de electricidad en el municipio de Lorca, valorando la competitividad de los sistemas renovables frente a los convencionales.

³⁰⁹ Junto a la actividad agraria dominante, conviven en la comarca una industria de cierto relieve perteneciente al sector textil y curtidos, chacinería y materiales de construcción.

³¹⁰ Con numerosas edificaciones dispersas asociadas.

³¹¹ Una noticia reciente (<http://www.lorca.net/portal/article.php?sid=3058>.) informaba del acceso al servicio eléctrico de una decena de casas rurales de segunda residencia asociadas a explotaciones agropecuarias. Este acceso supondrá para las administraciones local y regional un gasto próximo a los 60.000 euros.

5.2.1. Revisión de SOLARGIS

Los principales aspectos modificados respecto a la versión original de SOLARGIS fueron los relacionados con la demanda y el factor de carga y los relacionados con la *interface* de usuario, control del flujo del programa, depuración y ajuste de parámetros.

La filosofía original de SOLARGIS se basaba en el conocimiento previo de la demanda, la cual podía introducirse bien mediante un valor conocido o bien seleccionando un valor entre tres propuestas³¹².

En el nuevo sistema, se incorporan **escenarios de consumo** que permiten establecer un nivel de demanda a partir de la determinación del nivel económico y del número personas por vivienda característico de la zona estudiada, manteniendo la posibilidad de indicar directamente el valor de la demanda si es conocido.

La utilización de un escenario de consumo común para las instalaciones renovables y convencionales³¹³ presenta inconvenientes, ya que el consumo realizado en instalaciones renovables debe de ser más racional y apoyarse en electrodomésticos más eficientes, y a su vez, los consumos bajos característicos de los sistemas renovables y con un menor factor de carga restan competitividad a la opción convencional.

³¹² Estos valores eran: 400 Wh/día (Iluminación + radio), 1200 Wh/día (Iluminación + nevera + radio) y 5000 Wh/día (Muchas aplicaciones).

³¹³ Conexión a red o suministro con grupo electrógeno.

Por estos motivos se han diseñado dos escenarios distintos según se trate de viviendas “verdes” (uso racional de la energía) o convencionales. Estos escenarios son válidos para países mediterráneos del sur de Europa. Ambos escenarios están basados en el tamaño familiar y en el nivel económico de forma que se facilita al usuario la introducción de valores de partida, evitándole tener que hacer estimaciones de la demanda.

Tabla 5-3: Escenario de consumo para vivienda renovable.

CONSUMO (Wh/día)			
	Nº de personas por vivienda		
Nivel económico	1 - 2	3 - 4	> 4
Bajo	700	1000	1300
Medio	800	1100	1400
Alto	900	1200	1500

Fuente: Amador, 2000.

Tabla 5-4: Escenario de consumo para vivienda convencional.

CONSUMO (kWh/año)			
	Nº de personas por vivienda		
Nivel económico	1 - 2	3 - 4	> 4
Bajo	800	900	1000
Medio	1200	1350	1500
Alto	2000	2250	2500

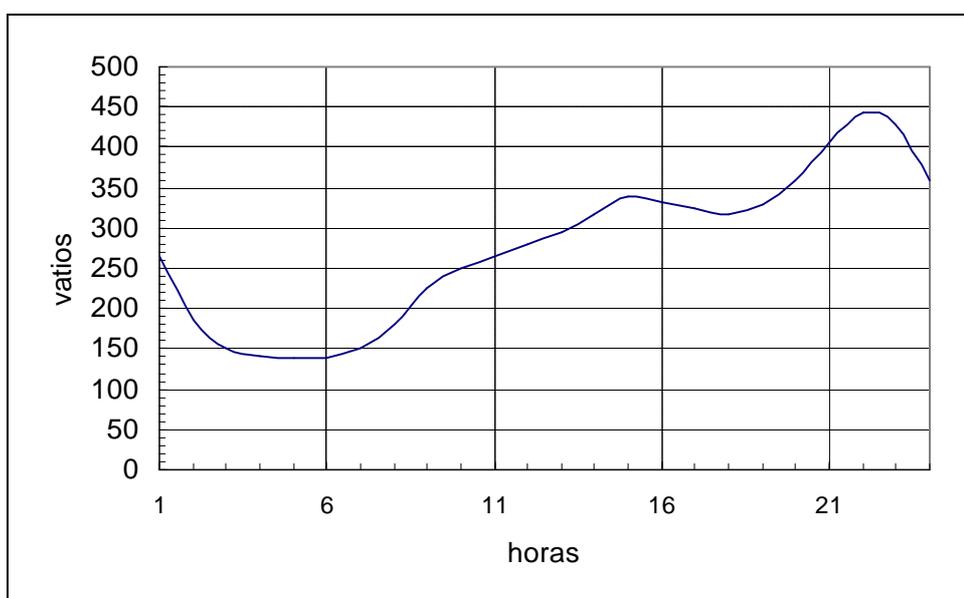
Fuente: Amador, 2000.

En el diseño de los sistemas centralizados SOLARGIS supone una relación entre la potencia máxima y la media de 2:1. Esto es válido, aproximadamente, en cuanto a la forma de la curva media de carga diaria de una vivienda, pero no puede utilizarse como factor de diseño, ya que hay que tener en cuenta que la potencia consumida en el arranque de

ciertos receptores es muy superior a la nominal y que la curva de carga diaria varía estacionalmente y de unos consumidores a otros.

Por otro lado, la demanda residencial en España raramente alcanza valores superiores al 0,05 en el *factor de capacidad*³¹⁴ para una vivienda (REE, 1998). Además, para elegir adecuadamente la potencia de los sistemas centralizados hay que considerar, además de la curva media de carga diaria, un factor de simultaneidad.

Ilustración 5-16: Curva de carga media diaria del sector residencial en 1996.



Fuente: Red Eléctrica de España, 98, p. 51.

Por este motivo, se han diseñado los sistemas centralizados teniendo en cuenta todos estos factores. Este dimensionado lo realiza el programa en función de la demanda, en lugar del factor de la carga, que es un parámetro menos accesible y conocido.

Con el objetivo de permitir un manejo más sencillo para el usuario del sistema, se modificó la **interface** de usuario y se tradujo al español.

Dos mejoras concretas en esta línea han sido las siguientes: el cálculo automático del tamaño de la acumulación y la accesibilidad por pantalla a ciertos parámetros.

SOLARGIS permite al usuario determinar la demanda y el tamaño de la acumulación de forma independiente, en pantallas sucesivas. Esto puede dar lugar a errores, dependiendo de quién utilice el programa. Para evitar esta situación se han incluido una nueva pantalla en la que se introducen los parámetros técnicos de la acumulación y los días de autonomía considerados para cada tecnología. Un programa, que aplica el algoritmo clásico, calcula la capacidad en función de la demanda y de los parámetros citados.

La revisión del control del programa desde las pantallas que maneja el usuario ha permitido eliminar parámetros accesibles al mismo, pero que el programa no emplea, e incluir otros nuevos a los que no tenía acceso, entre los que cabe destacar el coeficiente de extrapolación vertical de la velocidad del viento, la longitud máxima de las líneas de baja tensión y la altura de la turbina del sistema eólico-diesel.

Además, a todas las variables de partida incorporadas se les ha dotado de acceso por pantalla. A las ya citadas relativas a la acumulación,

³¹⁴ *Relación entre el consumo real y el producido sobre la base de la potencia instalada.*

se añaden el nivel económico del área de estudio, el coeficiente de diseño de los sistemas diesel centralizados, el factor de forma del perfil de la curva de carga diaria, el factor de simultaneidad y los factores de escala del coste del grupo diesel.

Respecto a la depuración del programa, las cuestiones más significativas son la eliminación del sistema de gasolina debido a su nula competitividad frente a sistemas diesel en electrificación rural; el ajuste de los valores de ciertos parámetros, especialmente los costes de operación y mantenimiento; y la inclusión de nuevos costes: coste de reconstrucción del motor de equipos diesel, coste de los derechos de acometida y conexión en los sistemas con red de baja tensión, coste de acumulación y coste de acondicionamiento de potencia en los sistemas centralizados (diesel y eólico-diesel) y coste de los equipos eficientes para viviendas con consumo racional.

Por último, se realizaron dos importantes modificaciones en cuanto a las variables geográficas iniciales de SOLARGIS. Por un lado, el sistema original calculaba la distribución de la demanda en base a los datos de población, calculando una gran cantidad de *grids* intermedios. En la nueva versión, se incluyó la variable poblamiento, mucho más adecuada para la localización de la demanda, y además con una distribución conocida³¹⁵.

³¹⁵ Para su estudio se utilizó información de viviendas aisladas procedente de la cartografía del Servicio Geográfico del Ejército.

Por otro lado, en la versión de partida, la longitud de las líneas de BT se determinaba, según una fórmula experimental, en función de la potencia del sistema centralizado. Esto daba lugar a errores considerables, especialmente en determinadas distribuciones de las viviendas incluidas en un píxel, desaprovechando el potencial de los sistemas de información geográfica.

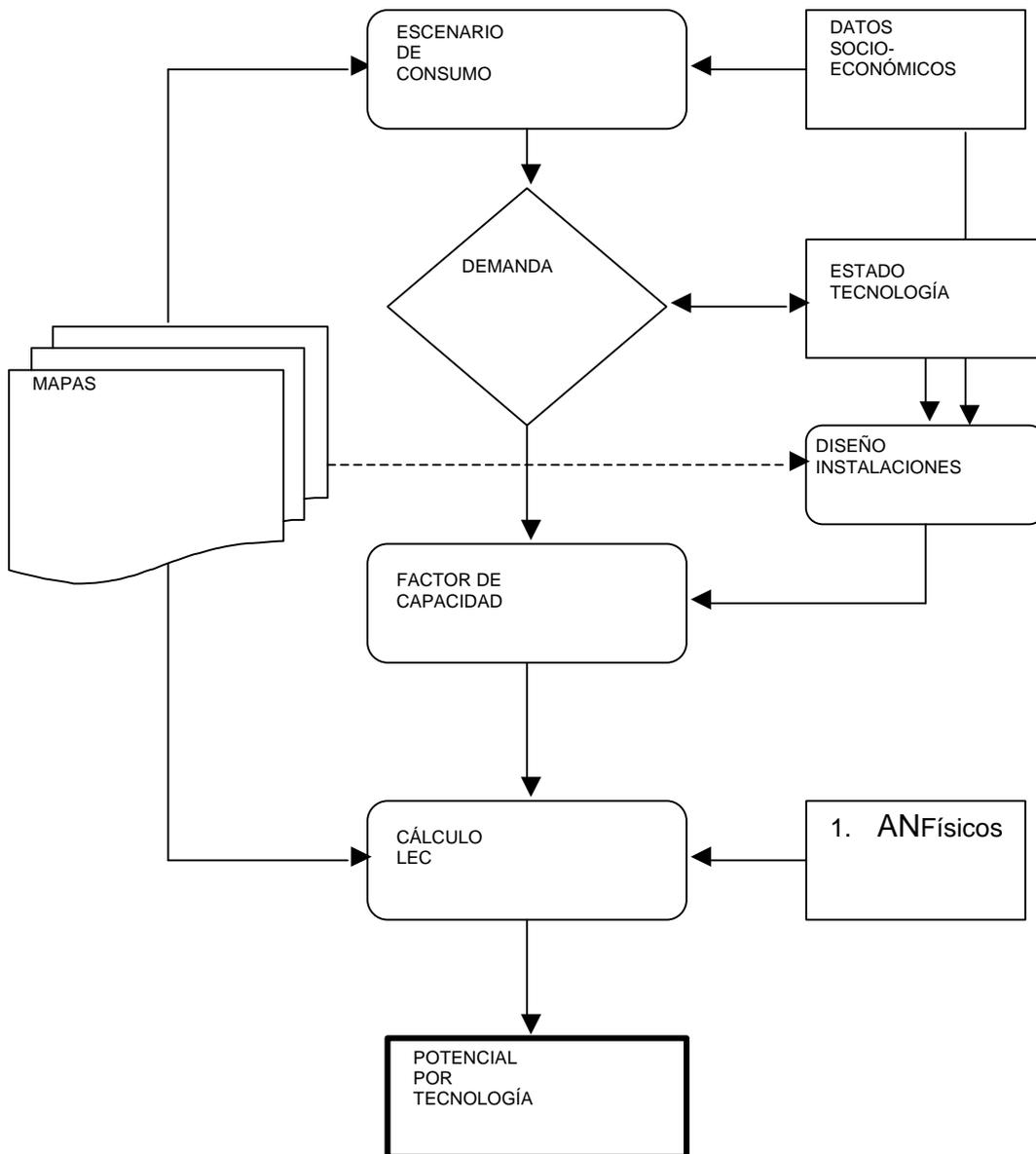
En la nueva versión, el valor de este parámetro se determina en tres pasos. En primer lugar, se calcula el número de casas por píxel con la función POINTDENSITY. A continuación, se determina la distancia media de todas las casas al *centroide* del píxel con la función POINTDIST. Por último, se calcula la longitud de las líneas de BT como el producto de los dos *grids* anteriores: “número de casas por píxel” por la “distancia media de todas las casas al centroide de cada píxel”.

Aparte de lo descrito en los puntos anteriores, se ha realizado un nuevo programa AML³¹⁶ que permite obtener, de forma exhaustiva y completa, los datos resultantes de la aplicación del sistema de información geográfica. Estos datos son el número de casas, la potencia instalada, la energía producida y la inversión realizada para cada tecnología, completados con datos de viento, radiación solar, densidad de población, distancia a la red de MT, etc. Esta información es accesible en la pantalla de salida en “resultados numéricos”.

³¹⁶ Arc Macro Language. Lenguaje de programación de macros en ArcInfo? .

Las pantallas que resumen los valores de referencia de los parámetros relativos a un sistema, se han completado incluyendo un desglose en el LEC de referencia.

Ilustración 5-17: Diagrama de flujo del método propuesto



5.2.2. Metodología SIG propuesta

El SIG desarrollado responde al diagrama de flujo que se puede ver en la ilustración 5-17.

El sistema parte de cuatro mapas: radiación solar, viento, distancia a la red eléctrica y densidad de poblamiento, y de una serie de valores socioeconómicos y tecnológicos que se pueden adoptar por defecto o modificar, según se vio en el apartado anterior. Con estos datos y un escenario de consumo se define la demanda, la cual va a delimitar el factor de capacidad y el diseño de las instalaciones. A continuación se calcula el *coste de electrificación equivalente* o LEC para cada sistema energético. De su comparación se obtiene la distribución potencial de cada tecnología en la zona de estudio para los valores dados. La modificación de estos valores implica la posibilidad de simular diferentes escenarios aportando la capacidad predictiva. Más adelante se aplica esta capacidad para conocer la sensibilidad del sistema.

El mapa de radiación global sobre el plano de los paneles se ha obtenido a partir de los trabajos realizados por el Departamento de Energías Renovables del CIEMAT, donde se ha evaluado el recurso solar en la región de Murcia, a partir de los datos de una serie de estaciones, establecidas "exproceso" y de imágenes del satélite Meteosat, obteniendo los valores medios mensuales de la radiación global diaria sobre superficie horizontal (Ramírez et al., 1999, pág. 167-178). A partir de estos datos se han obtenido los valores sobre el plano de los paneles

(suponiendo 60 grados de inclinación), empleando los algoritmos propuestos por Lorenzo (1994, pág. 164-219) para un mes cualquiera. Componiendo estos “grids” se consigue el mapa de radiación global anual sobre el plano de los paneles que se muestra en la ilustración 5-18.

El “grid” de radiación solar presenta un valor máximo de 1759 kWh/m².año, un valor medio de 1722 y un valor mínimo de 1671.

Ramírez (1999, pág.29-88), en su estudio sobre los recursos renovables de la región de Murcia, describe el procedimiento para la evaluación de los recursos eólicos llevado a cabo en esta comunidad. Como resultado del mismo se ha obtenido un mapa de recursos eólicos de la región, con una resolución de 500 m. Este mapa, una vez transformada la resolución, se utilizó como información de partida para el método propuesto. El proceso de modelización del campo de vientos de la Región se ha realizado a tres escalas espaciales diferentes utilizando el programa WAsP.

El mapa de la red de MT procede de la empresa Iberdrola. A partir de esta información, en forma de “cobertura”³¹⁷, se ha obtenido el “grid” de distancias, desde el centroide de cada uno de los píxeles, a la línea de MT a través de la función LINEDIST. Las tensiones que se utilizan en la Región de Murcia son 11 kV, sustituyéndose de forma progresiva por 20

³¹⁷ *Estructura de datos vectorial en ArcInfo? .*

kV. El "grid" de distancias a la red presenta un valor medio de 1,8 km., un valor máximo de 7,7 km. y un mínimo de 0.

El mapa de distribución de viviendas se ha elaborado a partir de la información del Servicio Geográfico del Ejército correspondiente a las hojas 1/50.000 de la zona de estudio. Cada casa está representada por un punto de coordenadas UTM conocidas. A partir de esta cobertura de puntos se ha construido el "grid" de densidad de poblamiento, que tiene un valor medio de 7,4 casas/km², un valor máximo de 182 casas/km² y un mínimo de 0. Tomando como base este "grid" se ha obtenido otro con la longitud de las líneas eléctricas, según el procedimiento descrito.

Ilustración 5-18: Mapa de radiación solar sobre el plano de los paneles (kWh/m².año) para el municipio de Lorca .

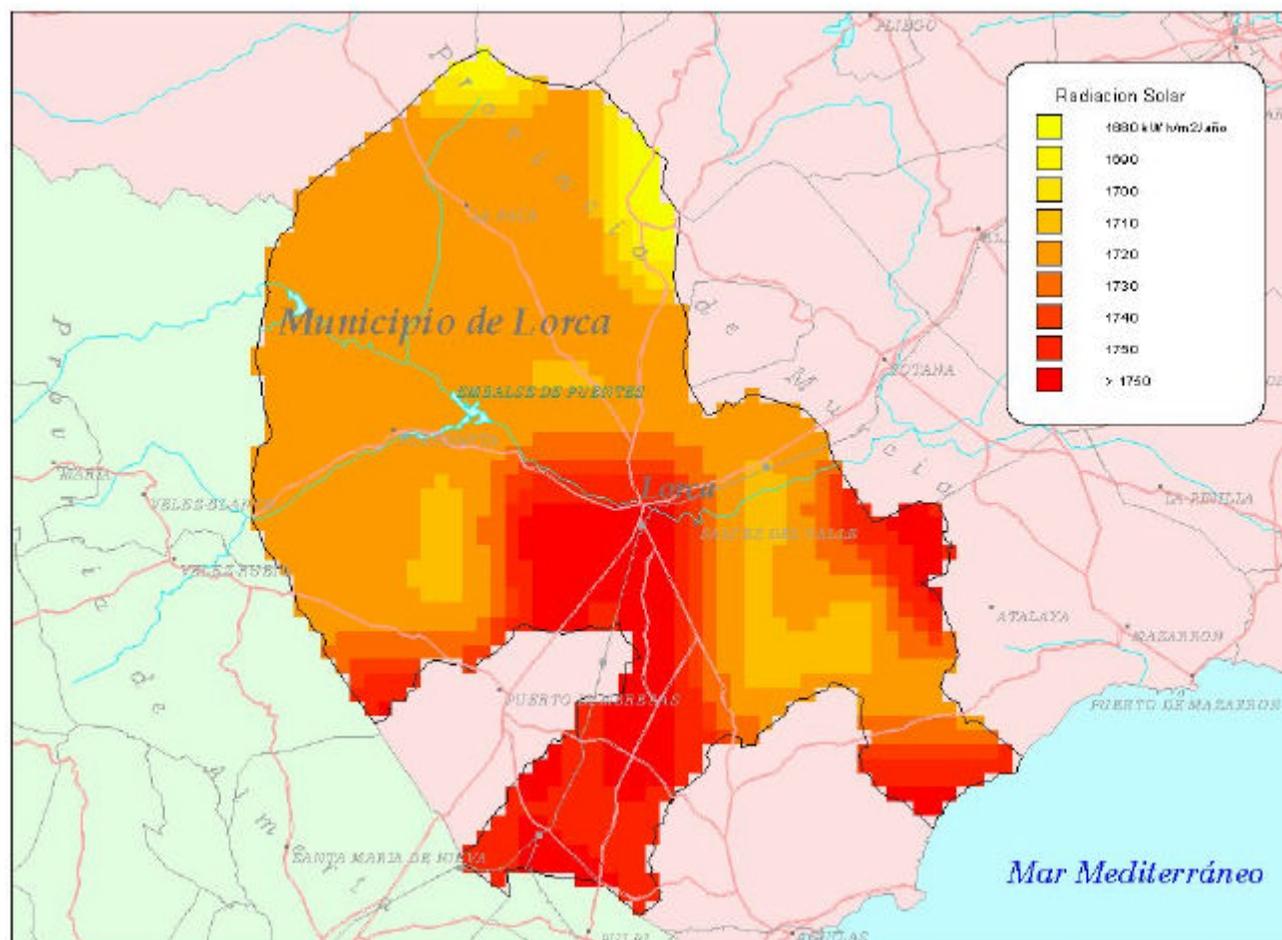


Ilustración 5-19: Mapa de velocidad del viento (m/s) a 10 m, para el municipio de Lorca .

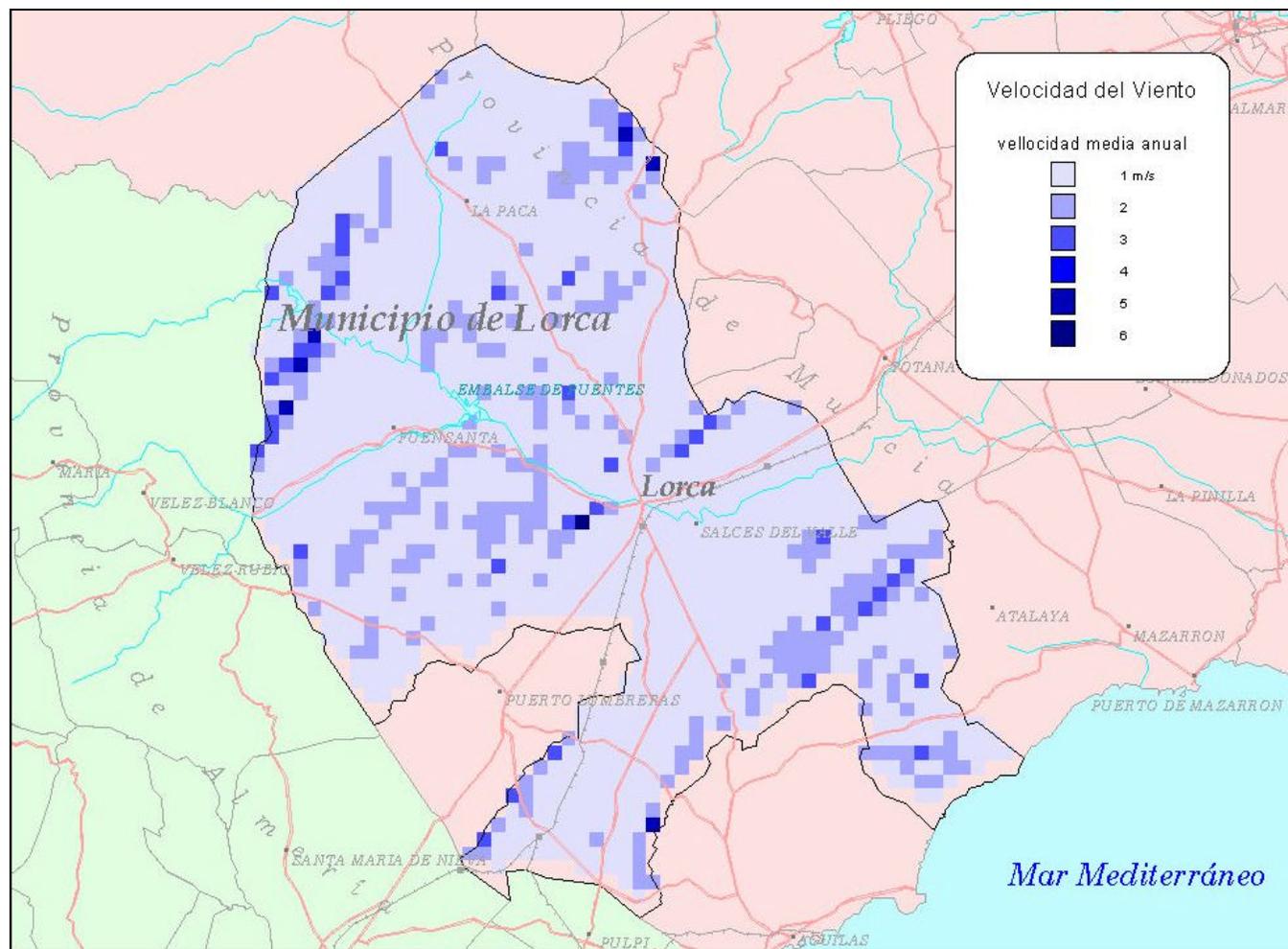


Ilustración 5-20: Distancias a la red eléctrica y red de Media Tensión en el municipio de Lorca .

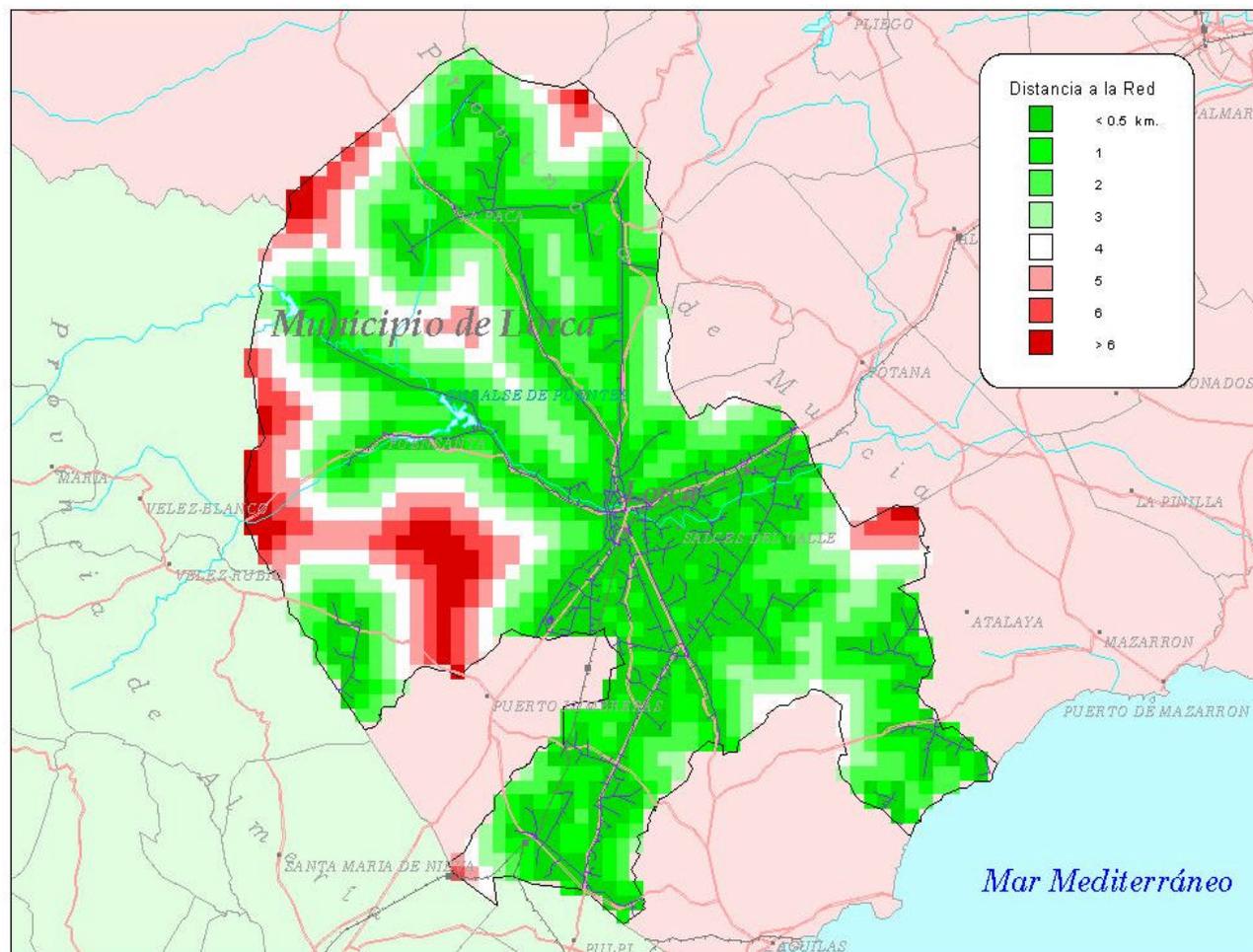
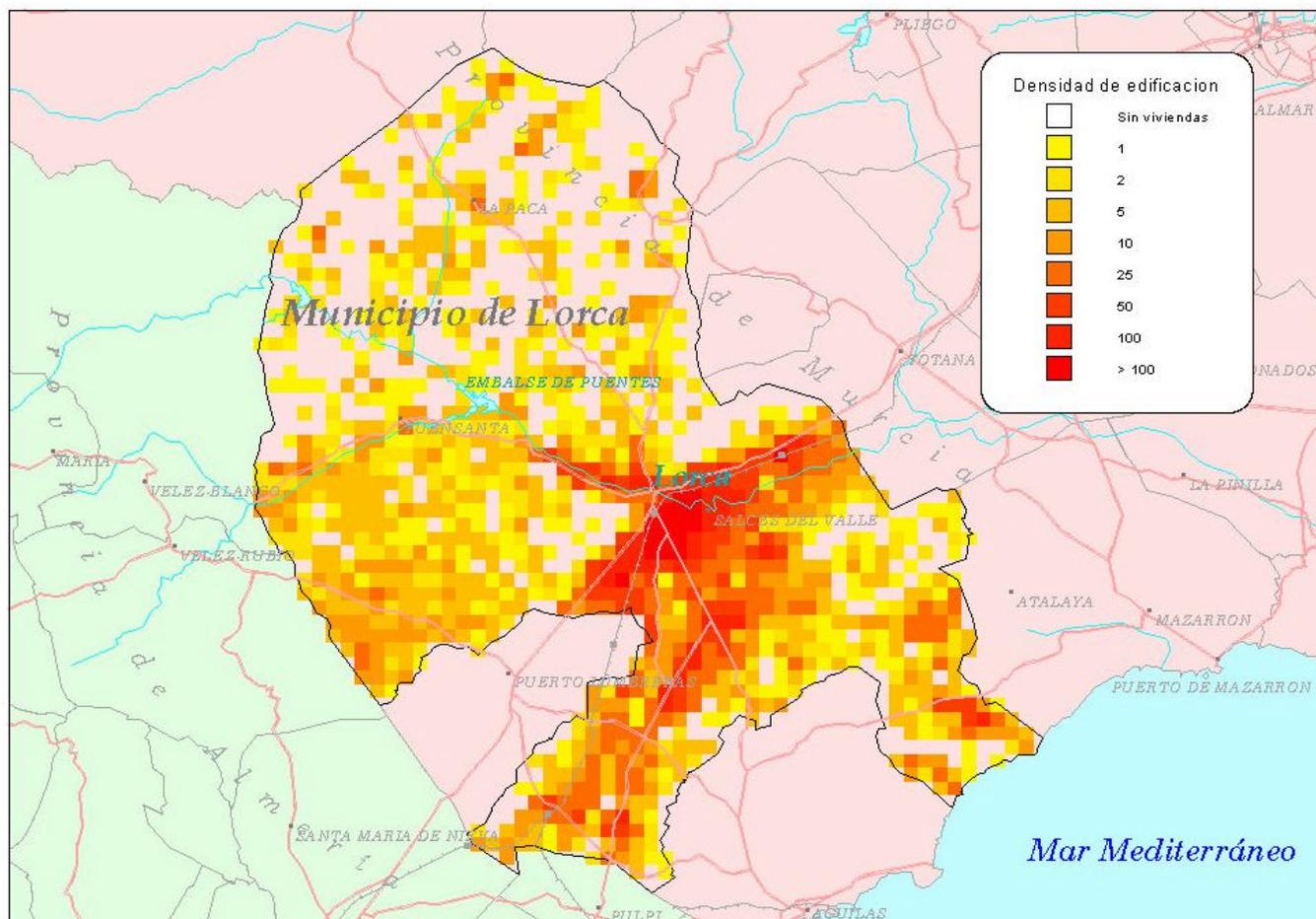


Ilustración 5-21: Densidad de poblamiento del municipio de Lorca .



A continuación se describe la aplicación SIG con más detenimiento.

En primer lugar el sistema estima la demanda por vivienda, a partir de los escenarios de consumo indicados anteriormente. Para ello utiliza como datos de partida el nivel económico y el número medio de personas por vivienda en el área de estudio (ver ilustración 5-23). Conocida la demanda por vivienda, se divide el territorio en píxeles de 1 km² y, considerando la densidad de viviendas, se calcula la demanda por píxel.

A partir de la demanda, y suponiendo unas instalaciones tipo para los distintos sistemas, se calcula el tamaño que debe tener la acumulación y el acondicionamiento de potencia, para los rendimientos de los equipos comerciales. El usuario puede controlar los parámetros de la acumulación (ver ilustración 5-24) y del rendimiento del inversor (ilustración 5-25).

La determinación de la potencia instalada es distinta según el tipo de sistema. Para los sistemas de energías renovables se calcula el factor de capacidad según el estado del conocimiento de la tecnología (eficiencias, potencias disponibles, etc.), en la ilustración 5-25 aparecen los parámetros modificables por el usuario. La potencia instalada se determina a partir de la energía producida y el factor de capacidad. Para los equipos convencionales se determina la potencia instalada en función del nivel económico de la zona y los parámetros de diseño actuales (ver ilustración 5-27). El factor de capacidad se calcula a partir de dicha potencia y de la energía producida.

Ilustración 5-22: Pantalla de descripción del Sistema de Información Geográfica.

ELECTRIFICACIÓN RURAL

Se comparan tres tecnologías de energías renovables:

- * Sistema fotovoltaico autónomo
- * Sistema eólico autónomo
- * Sistema eólico-diesel central

con alternativas energéticas no renovables:

- * Pequeño grupo diesel
- * Sistema diesel central
- * Conexión a la red eléctrica

para suministrar electricidad a viviendas aisladas.

Los datos de entrada necesarios son 4 mapas con una resolución, o pixel, de 1 km²:

- * Densidad de población rural (habitantes/km²)
- * Radiación global media en el plano del panel (kWh/m².año)
- * Velocidad media anual del viento (m/s a 10 m)
- * Distancia de conexión a la red de Media Tensión (km)

El proceso incluye tres etapas:

- 1) A usted se le pedirán las características de la demanda, referencias de los datos eólicos y los principales parámetros técnicos y económicos.
- 2) Se calculan, pixel a pixel, los costes de electrificación equivalente para todas las tecnologías.
- 3) Los resultados se muestran a través de un menú interactivo.

Ilustración 5-23: Demanda de instalaciones de energías renovables.

La demanda diaria por vivienda para los sistemas fotovoltaico y eólico se determina según un escenario que es función del nivel económico del área de estudio y del número de personas por vivienda, suponiendo receptores eficientes y consumo racional. Si conoce su valor elija "demanda conocida".

Seleccione el nivel económico del área de estudio:

Especifique el número medio de personas por casa:

En el caso de que el número medio de personas por casa sea superior a 2, la instalación contará con un inversor para suministrar corriente alterna. La potencia del inversor se calcula en función del perfil de la curva de carga diaria a través del parámetro:

Factor de forma de la curva de carga diaria:

Ilustración 5-24: Dimensionado de la acumulación.

Autonomía de las baterías para los distintos sistemas:		
Fotovoltaico	<input type="text" value="5"/>	Días
Pequeña turbina eólica	<input type="text" value="5"/>	Días
Diesel individual	<input type="text" value="2.5"/>	Días
Eólico-diesel	<input type="text" value="0.5"/>	*
Diesel central	<input type="text" value="1"/>	*
(*) Porcentaje del consumo diario total del píxel		
Parámetros de la batería de Plomo-ácido:		
Rendimiento energético	<input type="text" value="0.9"/>	
Profundidad descarga	<input type="text" value="0.6"/>	
<input type="button" value="CONTINUAR"/>		<input type="button" value="CANCELAR"/>

Ilustración 5-25: Parámetros técnicos.

Eficiencias energéticas:		
Generador fotovoltaico + batería	<input type="text" value="0.75"/>	
Pequeña turbina eólica + batería	<input type="text" value="0.6"/>	
Inversor vivienda	<input type="text" value="0.85"/>	
Inversor central	<input type="text" value="0.9"/>	
Turbina eólica (eólico-diesel)	<input type="text" value="0.6"/>	
Consumo de combustible:		
Diesel individual	<input type="text" value="0.42"/>	litros/kWhe
Diesel central	<input type="text" value="0.38"/>	litros/kWhe
Contenido de emisiones de CO2:		
Diesel	<input type="text" value="0.0005"/>	ton/kWhe
Central eléctrica	<input type="text" value="0.00045"/>	ton/kWhe
Parámetros empleados para los cálculos de referencia:		
Radiación plano paneles	<input type="text" value="1722"/>	kWh/m2.año
Velocidad media anual viento	<input type="text" value="3"/>	m/s
Longitud de la línea de MT:	<input type="text" value="1.8"/>	km
Nº de viviendas medio por píxel:	<input type="text" value="3"/>	
<input type="button" value="CONTINUAR"/>		<input type="button" value="CANCELAR"/>

Incorporando la información de un análisis de mercado (ver ilustración 5-26), se calcula el LEC para cada tecnología. Para realizar este cálculo es necesario conocer el número de viviendas por píxel, la distancia a la red, la radiación solar sobre el plano de los paneles y la velocidad del viento a la altura del buje.

Ilustración 5-26: Parámetros económicos.

GENERALES						
Tasa de descuento	<input type="text" value="0.05"/>		Precio Diesel	<input type="text" value="0.4"/>	Eur/l	
Impuesto CO2	<input type="text" value="0"/>	Eur/ton	Tarifa eléctrica	<input type="text" value="0.18"/>	Eur/kWh	
Derechos de acometida(1)	<input type="text" value="100"/>	Eur/kW	Equipos eficientes(2)	<input type="text" value="500"/>	Eur	
COSTE INVERSION		COSTE MANTENIMIENTO		TIEMPO DE VIDA		
Paneles fotovoltaicos	<input type="text" value="9000"/>	Eur/kWp	<input type="text" value="100"/>	Eur/kWp.año	<input type="text" value="20"/>	años
Pequeña Turbina Eólica	<input type="text" value="6000"/>	Eur/kW	<input type="text" value="150"/>	Eur/kW.año	<input type="text" value="20"/>	años
Factor escala precio Turbina Eólica 25 kW				<input type="text" value="0.2"/>		
Grupo diesel 3.5 kVA	<input type="text" value="1100"/>	Eur/kW	<input type="text" value="200"/>	Eur/kW.año	<input type="text" value="20"/>	años
Factor escala precio diesel 25 kVA				<input type="text" value="0.3"/>		
Línea de MT 2 MW	<input type="text" value="30000"/>	Eur/km	<input type="text" value="300"/>	Eur/km.año		
CT 50 kVA	<input type="text" value="11000"/>	Eur	<input type="text" value="0"/>	Eur/año	<input type="text" value="30"/>	años(3)
Línea BT	<input type="text" value="15000"/>	Eur/km	<input type="text" value="0"/>	Eur/km.año		
Batería plomo/ácido	<input type="text" value="140"/>	Eur/kWh	<input type="text" value="0"/>	Eur/kWh.año	<input type="text" value="5"/>	años
Inversor	<input type="text" value="600"/>	Eur/kWh	<input type="text" value="0"/>	Eur/kWh.año	<input type="text" value="20"/>	años

(1) Valor para instalación de B.T. conectada a la red
 (2) Sobrecoste de equipos (lavadora, frigorífico, lámparas y TV) eficientes
 (3) Valor medio del tiempo de vida de todo el equipo de conexión a red

Ilustración 5-27: Demanda y dimensionamiento de instalaciones de energías convencionales.

Un sistema central (C.T., diesel o híbrido eólico-diesel) situado en el centro de un pixel de 1 km² alimenta a las casas a través de una red de baja tensión.

La demanda media anual en las instalaciones con energía convencional se establece en base a los datos estadísticos existentes de demanda residencial, en función del nivel económico del área de estudio y del número de personas por vivienda.

La potencia del sistema diesel central se establece exclusivamente en función del parámetro:

Factor de diseño diesel central:

El cálculo de la conexión a red supone que:

- 1) Se instala un centro de transformación en el centro de cada pixel aislado de 1 km². La potencia del del C.T. depende del perfil de la curva de carga diaria y del factor de simultaneidad.

Factor de simultaneidad:
- 2) Se construye una línea de MT para conectar individualmente el CT con la línea de MT más cercana. La distancia de conexión se supone cero alrededor de la línea de M.T. para la distancia alcanzable por las líneas de B.T.

Longitud máxima de líneas de B.T.: km
- 3) Se instalan líneas de BT desde el CT a los usuarios finales. Las líneas de B.T. se dimensionan en función del perfil de carga diaria de cada vivienda (parámetro definido en pantalla anterior).

Ilustración 5-28: Valores de referencia de los datos del recurso eólico.

Por favor, indique las siguientes referencias para los datos eólicos:

Altura de medida del mapa de viento	<input type="text" value="10"/>	metros
Altura del buje para pequeñas turbinas eólicas	<input type="text" value="15"/>	metros
Altura del buje de la turbina (sistema eólico-diesel)	<input type="text" value="20"/>	metros
Coefficiente de extrapolación vertical	<input type="text" value="0.12"/>	

Comparando los valores del LEC para cada píxel se establece un programa de electrificación rural para el área de estudio, considerando la tecnología que ofrece el menor coste actualizado y anualizado del kWh. El resultado más significativo del método es un mapa que informa de la tecnología con menor valor del LEC, para cada píxel en que se ha dividido el territorio (ver ilustración 5-29). Además se obtienen mapas que describen la evolución espacial del valor del LEC, para cada tecnología.

A continuación se muestra el valor del LEC de referencia para las distintas tecnologías, y un resumen de los resultados numéricos para cada sistema (ver ilustraciones 5-29 a 5-39). Estos mapas y pantallas, junto con los mapas de entrada, puede visualizarlos el usuario en el menú de salida.

Ilustración 5-29: Resultado global del método aplicado al caso de referencia.

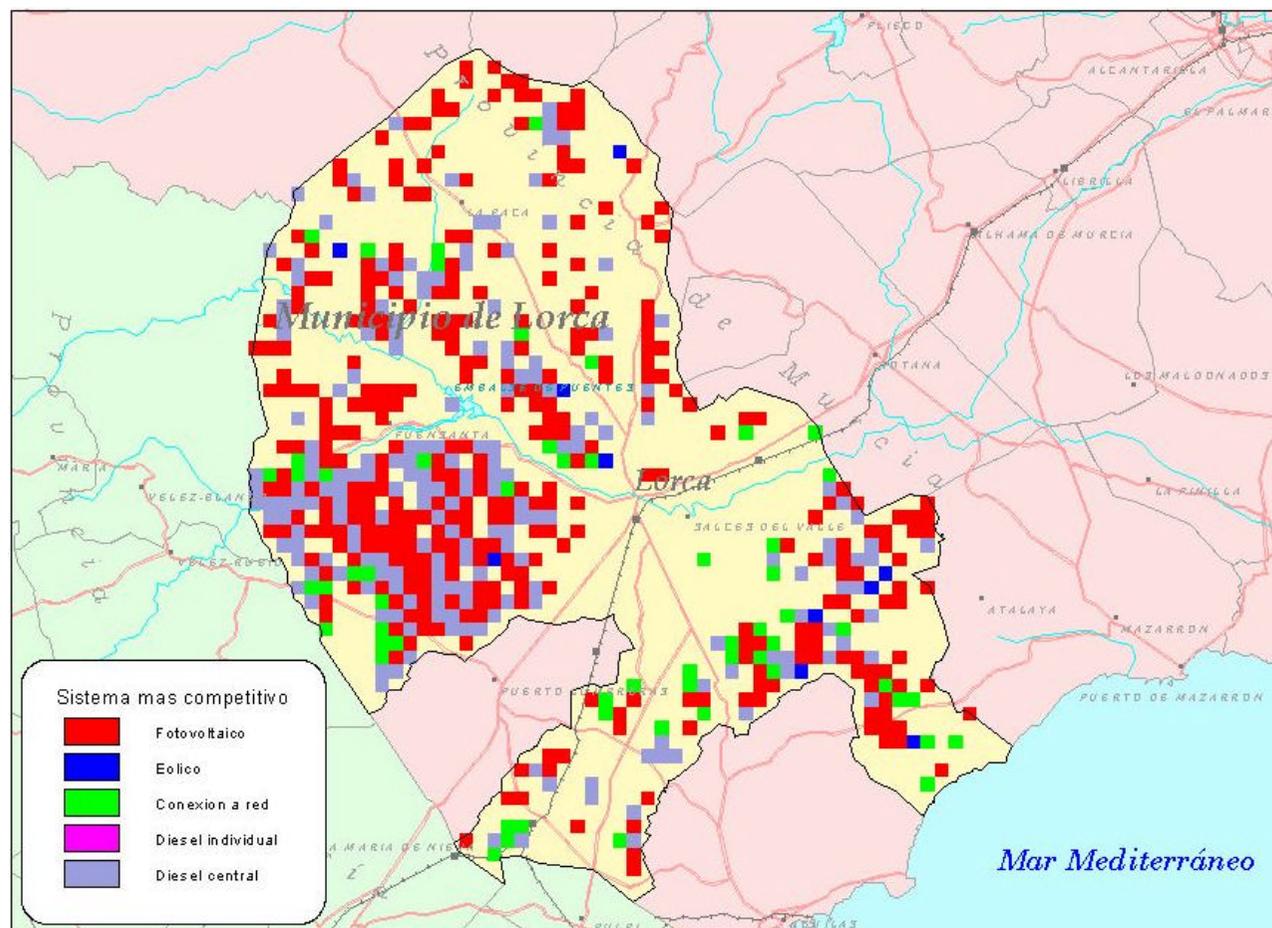


Ilustración 5-30: Valores de referencia para el sistema fotovoltaico (1722 kWh/m2.año).

Instalación Fotovoltaica:		
Potencia eléctrica nominal	0.282	kWp
Inversión	9000	Euros/kWp
O&M anual	100	Euros/año.kWp
Tiempo de vida	20	años
Eficiencia	0.75	
Batería de acumulación de plomo-ácido		
Capacidad	9.259	KWh
Inversión	140	Euros/kWh
O&M anual	0	Euros/kWh.año
Tiempo de vida	5	años
Funcionamiento sistema:		
Radiación plano paneles	1722	kWh/m2.año
Energía anual producida	365	kWh/año
Horas equivalentes	1291,5	Horas
Factor de capacidad	0.147	
Parámetros económicos		
Tasa de descuento	0.05	
Coste electrificación equivalente (céntimos Euro / kWh)		
Acumulación	82.03	
Acondicionamiento de potencia	16.16	
Resto del sistema	63.66	
Receptores eficientes	10.99	
Total	172.8	
CONTINUAR		

Ilustración 5-31: Resultados numéricos para el sistema fotovoltaico, en el caso de referencia.

DATOS GLOBALES PARA LAS INSTALACIONES FOTOVOLTAICAS		
Número de sistemas instalados	649	
Número de usuarios potenciales	1947	
Area potencial	336	km2
Potencia total FV instalada	183.7	kWp
Energía total producida	236885	kWh
Inversión total	375.2	KEuros
CARACTERÍSTICAS DEL AREA FOTOVOLTAICA		
Densidad máxima de casas	8	casas/km2
Densidad media de casas	1.9	casas/km2
Distancia media red M.T.	2.77	km
Distancia mínima red M.T.	0.8	km
Longitud máxima red B.T.	3.6	km
Longitud media red B.T.	0.8	km
Radiación media	1719.3	kWh/m2.año
Velocidad del viento máxima	3.5	m/s
Velocidad del viento media	2.3	m/s
CONTINUAR		

Ilustración 5-32: Valores de referencia para el sistema eólico individual (velocidad viento anual: 4 m/s).

Pequeña turbina eólica:		
Potencia eléctrica nominal	0.664	kW
Inversión	6000	Euros/kW
O&M anual	150	Euros/año.kW
Tiempo de vida	20	años
Eficiencia nominal	0.6	
Batería de acumulación de plomo-ácido		
Capacidad	9.259	KWh
Inversión	140	Euros/kWh
O&M anual	0	Euros/kWh.año
Tiempo de vida	5	años
Funcionamiento del sistema:		
Velocidad del viento ref.	3	m/s
Energía producida	365	kWh/año
Factor de capacidad	0.062	
Parámetros económicos		
Tasa de descuento	0.05	
Coste electrificación equivalente (céntimos Euro / kWh)		
Acumulación	82.03	
Acondicionamiento de potencia	16.16	
Resto del sistema	114.9	
Receptores eficientes	10.99	
Total	224.1	

CONTINUAR

Ilustración 5-33: Resultados numéricos para el sistema eólico individual, en el caso de referencia.

DATOS GLOBALES PARA LOS SISTEMAS EÓLICOS AISLADOS		
Número de sistemas potenciales	12	
Número de usuarios potenciales	36	
Area potencial	10	km ²
Potencia total instalada	3.599	kW
Energía total producida	4380	kWh
Inversión total	6.417	KEuros
CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA EÓLICA		
Densidad máxima de casas	2	casas/km ²
Densidad media de casas	1.2	casas/km ²
Distancia media red M.T.	2.38	km
Distancia mínima red M.T.	0.9	km
Longitud máxima red B.T.	0.9	km
Longitud media red B.T.	0.5	km
Radiación máxima	1737.4	kWh/m ² .año
Radiación media	1718.4	kWh/m ² .año
Velocidad del viento media	4.1	m/s

CONTINUAR

Ilustración 5-34: Valores de referencia, instalación de conexión a red (Long. MT = 1,8 km; 3 casas/km²).

Características del consumo:		
Potencia por vivienda	3.3	kW
Consumo anual por vivienda	1260	kWh/casa.año
Potencia por pixel	3.062	kW/pixel
Línea de Media Tensión:		
Inversión	30000	Euros/km
O&M anual	300	Euros/año.km
Producción CO2	0.000	ton/kWhe
Longitud media	1.8	km
Centro de transformación:		
Inversión	11000	Euros
O&M anual	0	Euros/año
Línea Baja Tensión:		
Inversión	15000	Euros/km
O&M anual	0	Euros/año.km
Longitud media por pixel	1.166	km
Parámetros económicos		
Tasa de descuento	0.05	
Impuesto CO2	0	Euros/ton
Tiempo de vida	30	años
Coste electrificación equivalente (céntimos Euro / kWh)		
Línea MT	110.9	
CT	19.58	
Línea BT	38.77	
Tarifa eléctrica	18	
Acometida	1.703	
Coste por emisión de CO2	0	
Total	188.9	

CONTINUAR

Ilustración 5-35: Resultados numéricos para el sistema “conexión a red”, en el caso de referencia.

DATOS GLOBALES PARA LA CONEXIÓN A RED		
Número de viviendas potenciales	492	
Número de usuarios potenciales	1476	
Longitud total líneas M.T	93.39	km
Longitud total líneas B.T	191.0	km
Número de C.T.	58	
Energía total producida	442800	kWh
Inversión total	512.5	KEuros
POBLAMIENTO DEL AREA CONECTADA A LA RED		
Densidad máxima de casas	27	casas/km2
Densidad media de casas	8.48	casas/km2
Densidad mínima de casas	4	casas/km2

CONTINUAR

Ilustración 5-36: Valores de referencia para el sistema diesel central (3 viviendas/km²).

Características del consumo:		
Potencia por vivienda	3.3	kW
Consumo anual	900	kWh/casa.año
Grupo diesel:		
Potencia eléctrica nominal	7.623	kW
Inversión	1100	Euros/kW
O&M anual	200.2	Euros/año.kW
Tiempo de vida	20	años
Consumo de combustible	0.38	litros/kWhe
Factor de carga	0.040	
Parámetros económicos		
Tasa de descuento	0.05	
Impuesto CO2	0	Euros/ton
Precio del combustible	0.4	Euros/litro
Coste electrificación equivalente (céntimos Euro / kWh)		
Acumulación	16.40	
Acondicionamiento de potencia	22.90	
Línea BT	53.07	
Resto del sistema	87.67	
Combustible	15.2	
Acometida	2.942	
Coste por emisión de CO2	0	
Total	198.1	
CONTINUAR		

Ilustración 5-37: Resultados numéricos para el sistema diesel central, en el caso de referencia.

DATOS GLOBALES PARA LOS SISTEMAS DIESEL CENTRALES		
Número de viviendas potenciales	598	
Número de usuarios potenciales	1794	
Número de sistemas	194	
Potencia total instalada	5442.8	kW
Energía total producida	53820	kWh
Inversión total	807.3	KEuros
POBLAMIENTO DEL AREA DIESEL CENTRAL		
Densidad máxima de casas	8	casas/km2
Densidad media de casas	3.08	casas/km2
Densidad mínima de casas	2	casas/km2
CONTINUAR		

Ilustración 5-38: Valores de referencia para el sistema diesel individual.

Grupo diesel individual:		
Potencia eléctrica nominal	3.15	kW
Inversión	1100	Euros/kW
O&M anual	200	Euros/año.kW
Tiempo de vida	20	años
Consumo de combustible	0.42	litro/kWhe
Emisión de CO2	0.000	ton/kWhe
Batería de acumulación de plomo-ácido		
Capacidad	11.415	KWh
Inversión	140	Euros/kWh
O&M anual	0	Euros/kWh.año
Tiempo de vida	5	años
Funcionamiento del sistema:		
Energía producida	900	kWh/año
Factor de capacidad	0.032	
Parámetros económicos		
Tasa de descuento	0.05	
Precio combustible	0.4	Euros/litro
Impuesto CO2	0	Euros/ton
Coste electrificación equivalente (céntimos Euro / kWh)		
Acumulación	41.01	
Acondicionamiento de potencia	24.24	
Resto del sistema	124.0	
Combustible	16.8	
Coste por emisión de CO2	0	
Total	206.1	

CONTINUAR

Ilustración 5-39: Valores de referencia para el sistema eólico-diesel.

Características del consumo:			
Potencia por vivienda	3.3	kW	
Consumo anual	900	kWh/casa.año	
Turbina eólica:			
Potencia eléctrica nominal	2.215	kW	
Inversión	12000	Euros/kW	
O&M anual	240	Euros/año.kW	
Tiempo de vida	20	años	
Factor de carga	0.069		
Grupo diesel:			
Potencia eléctrica nominal	7.623	kW	
Inversión	1100	Euros/kW	
O&M anual	100.1	Euros/año.kW	
Tiempo de vida	20	años	
Consumo de combustible	0.38	litros/kWhe	
Factor de carga	0.020		
Parámetros económicos			
Tasa de descuento	0.05		
Impuesto CO2	0	Euros/ton	
Precio de combustible	0.4	Euros/litro	
Coste electrificación equivalente (valores en céntimos de Euro)			
Turbina	197.4		
Grupo diesel	106.3		
Acumulación	8.203		
Acondicionamiento de potencia	22.90		
Línea BT	53.07		
Combustible	7.6		
Acometida	2.942		
Coste por emisión de CO2	0		
Total	398.5		
CONTINUAR			

Como se puede apreciar, las condiciones que se dan en Lorca no son favorables para la tecnología eólico-diesel, que necesita una relativamente alta demanda (sobre 10 viviendas) y un potencial eólico elevado (velocidad media anual en el entorno de 5 m/s), por lo que resultan competitivos estos sistemas en la zona de estudio, obteniendo sólo tres píxeles un valor de LEC inferior a 5 €/kWh (ver ilustración 5-39).

Para estos sistemas y para el diesel individual y el eólico-diesel los resultados en cuanto a potencia instalada, energía producida, inversión realizada, etc., son cero. Por este motivo no se incluyen las pantallas respectivas (los parámetros considerados en ellas son similares a los de las pantallas de resultados numéricos anteriores).

5.2.3. Evaluación del sistema: metodología de análisis de la sensibilidad espacial

Anteriormente se ha apuntado que unos de los principales objetivos de este proyecto era conocer la fiabilidad de la aplicación, para lo cual se implementó una análisis de sensibilidad espacial que comprendía tres etapas: análisis de sensibilidad del LEC, análisis de sensibilidad espacial propiamente dicho y, por último, estabilidad de los resultados.

La primera etapa tiene un carácter marcadamente técnico-económico, en ella se pretende averiguar la influencia que tiene en el LEC de cada sistema los diferentes parámetros que lo definen (acumulación, recurso, eficiencia...). La variación del LEC ha de estar relacionada con la importancia de cada variable en cada sistema.

La segunda etapa es la que presenta un carácter más geográfico. En esta etapa se trata de analizar la influencia de los distintos parámetros en la variabilidad espacial de cada tecnología, de forma tal que nos permita conocer el nivel de cambio en la distribución geográfica de un sistema y, por ende, en su competitividad territorial.

Por último se trata de averiguar la estabilidad de los resultados obtenidos modificando simultáneamente las variables con más peso. Ello permite conocer la estabilidad del mismo a lo largo del tiempo y, por tanto, la fiabilidad de sus predicciones.

A continuación se estudian más en detalle cada una de estas tres etapas.

5.2.3.1. Primera etapa: Análisis de sensibilidad del LEC

El análisis de sensibilidad del LEC estudia la influencia de la variación del valor de los parámetros respecto a un valor de referencia. En las ilustraciones 5-40 a 5-45 aparecen los resultados del análisis de sensibilidad de cada tecnología³¹⁸.

En líneas generales, las causas de variación de los distintos parámetros considerados responden a cuatro grandes grupos de criterios sobre los que se plantean incertidumbres: la evaluación de los recursos, la evolución de la tecnología, los cambios en el escenario socioeconómico y los cambios en el mercado energético.

³¹⁸ Debe tenerse en cuenta que la pendiente de las curvas obtenidas no puede compararse directamente, ya que el significado de variación de cada parámetro es distinto y la probabilidad de que esa variación se produzca también.

Ilustración 5-40: Sensibilidad del LEC fotovoltaico.

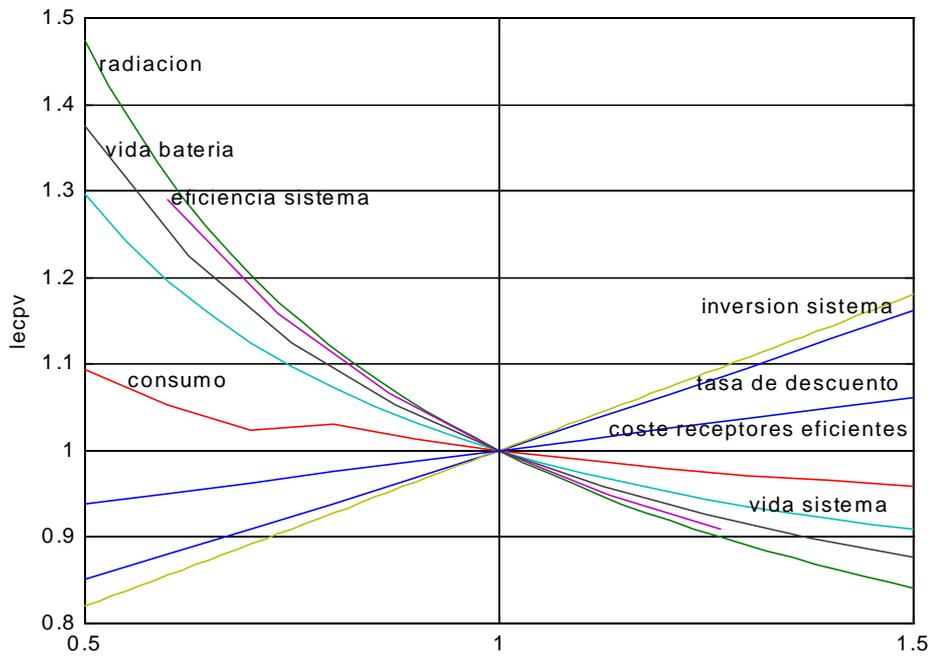


Ilustración 5-41: Sensibilidad del LEC eólico.

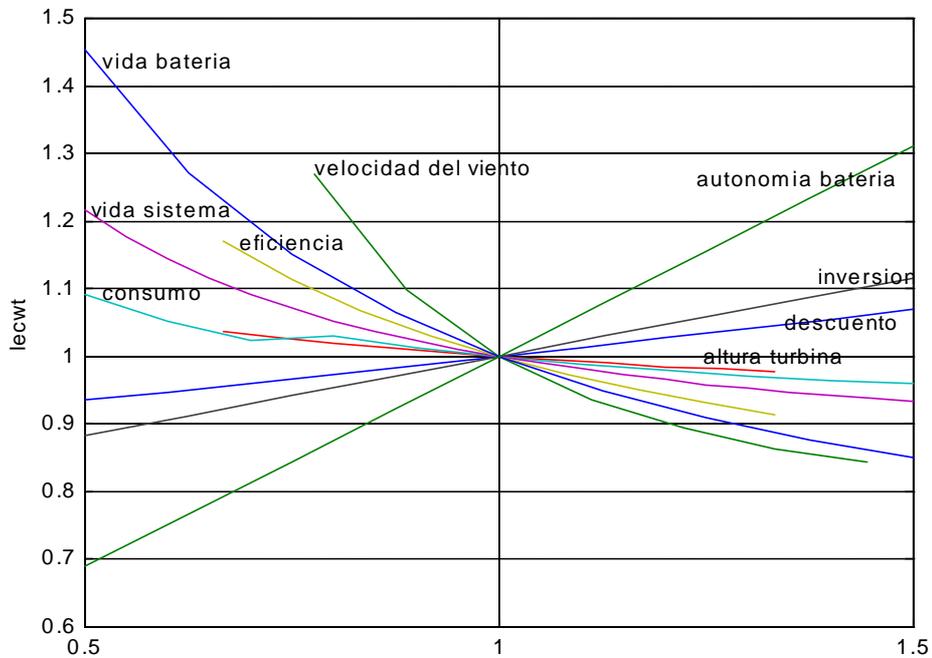


Ilustración 5-42: Sensibilidad del LEC diesel individual.

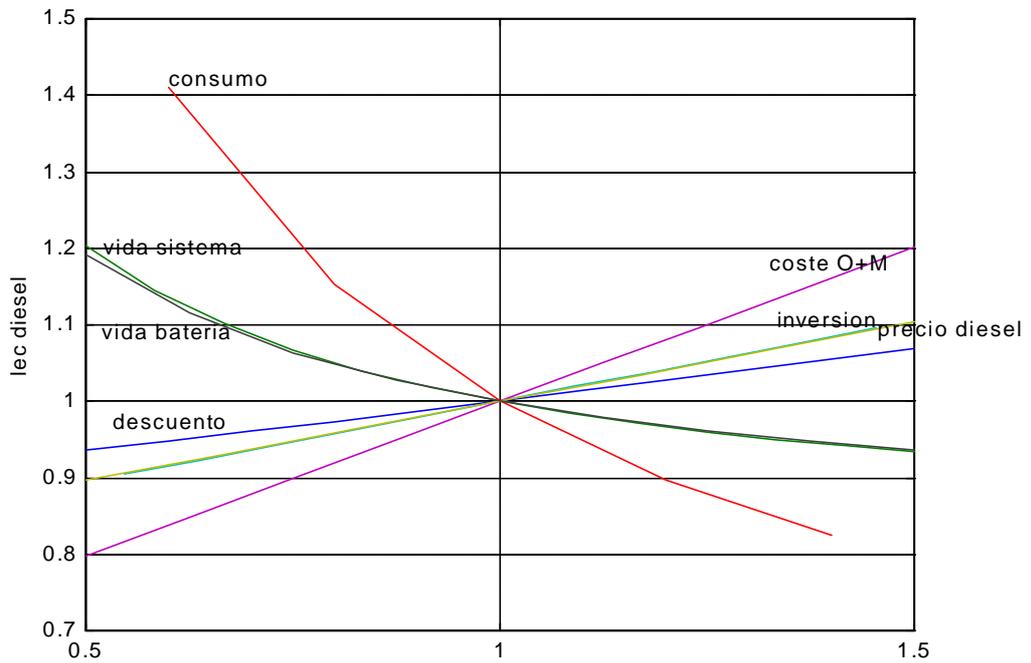


Ilustración 5-43: Sensibilidad del LEC conexión a red.

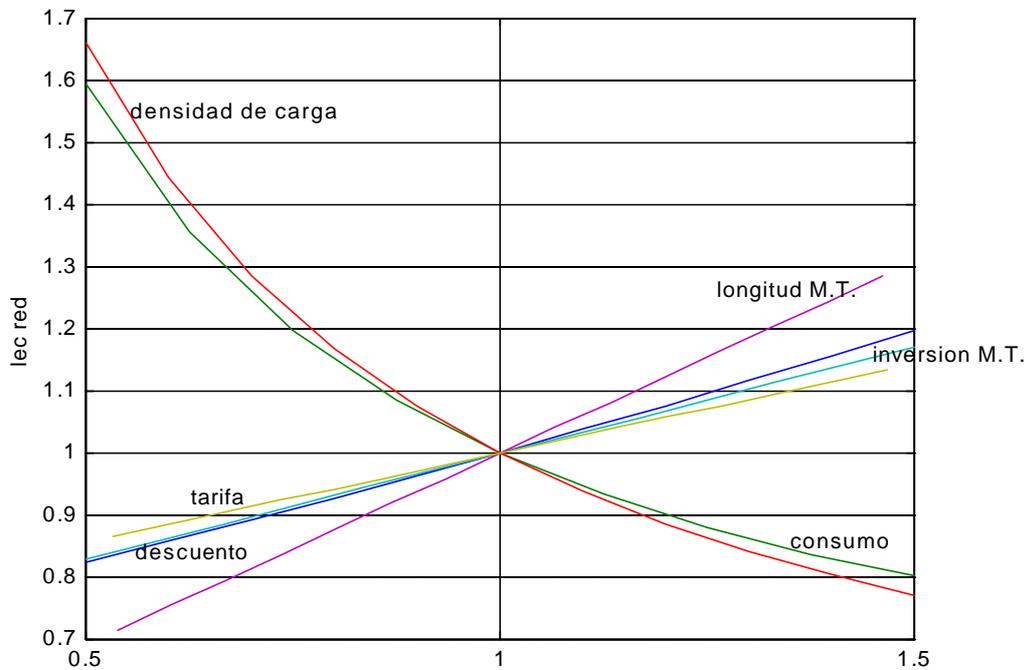


Ilustración 5-44: Sensibilidad del LEC diesel central.

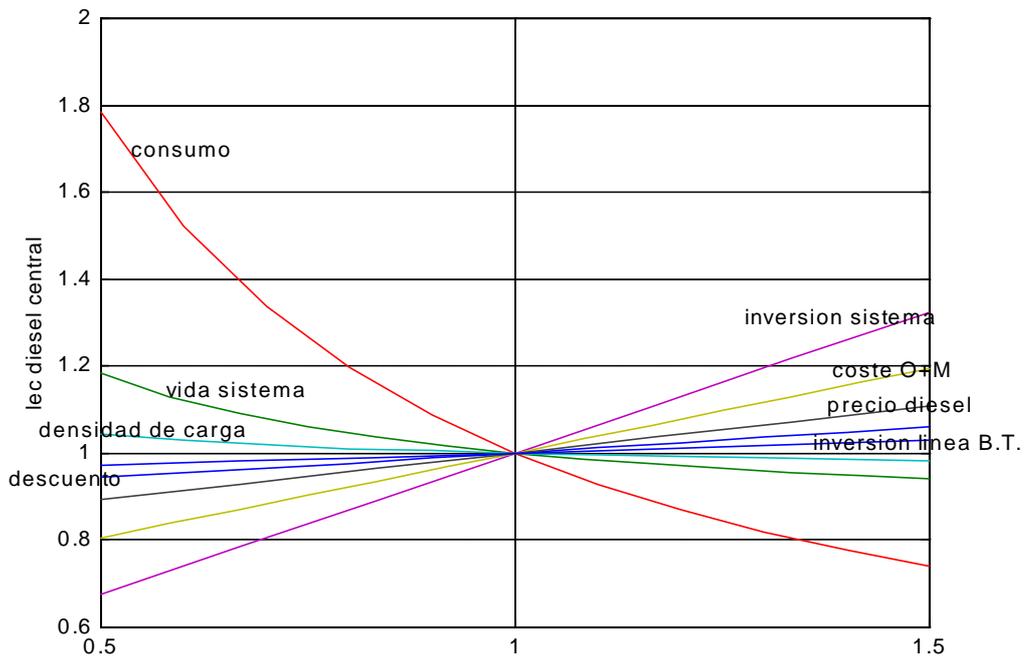
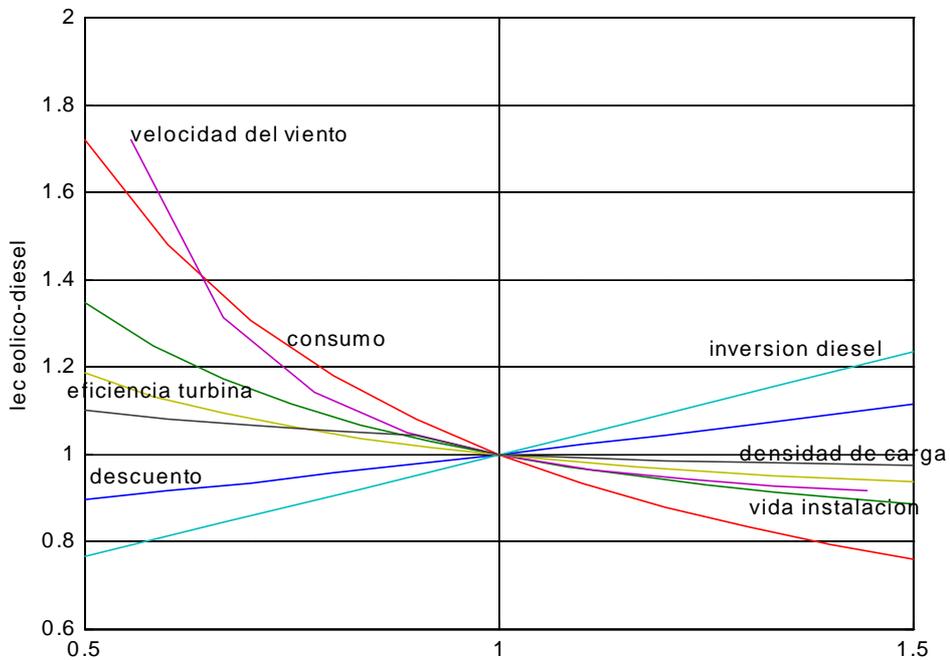


Ilustración 5-45: Sensibilidad del LEC eólico-diesel.



En la tabla 5-5 se aprecia el comportamiento de los distintos sistemas en el análisis de sensibilidad del LEC. Como se puede apreciar, los sistemas renovables son muy dependientes del recurso, frente a los convencionales que están mucho más influidos por el consumo. En líneas generales, los factores relacionados con la eficiencia y fiabilidad del sistema, así como con el almacenamiento, son importantes para la mayoría de las opciones.

Tabla 5-5: Principales factores por su influencia en el LEC para cada uno de los sistemas estudiados.

Sistema	Parámetros por orden de importancia						
	1	2	3	4	5	6	7
FV	Recurso	Eficiencia	Vida batería	Vida sistema	Inversión	Tasa de descuento	Consumo
Eólico	Recurso	Vida batería	Autonomía batería	Eficiencia	Vida sistema	Inversión	Tasa de descuento
Diesel Individual	Consumo	Coste O&M	Vida sistema	Vida batería	Inversión	Precio gasoil	Tasa de descuento
Red	Densidad carga	Consumo	Longitud línea	Tasa de descuento	Inversión	Tarifa eléctrica	
Diesel Central	Consumo	Inversión	Coste O&M	Precio gasoil	Vida sistema	Tasa de descuento	Densidad carga
Eólico – Diesel	Consumo	Recurso	Inversión	Vida sistema	Tasa de descuento	Eficiencia	Densidad carga

5.2.3.2. Segunda etapa: Análisis de sensibilidad espacial

Tal como se indica anteriormente la distribución del potencial de las distintas tecnologías consideradas en el área de estudio se determina por la comparación de sus LEC. De forma que, cada vivienda aislada de la red, “pertenece” a la tecnología que ofrezca el menor LEC en el punto del espacio correspondiente a esa vivienda. De esta manera, el potencial

de cada tecnología en la región estudiada se puede expresar por el número de viviendas, o por la superficie, en la que dicha tecnología ofrece el mejor coste del kWh a lo largo de toda la vida de la instalación.

Pero el potencial real de cada tecnología (es evidente que el potencial de una tecnología no viene dado sólo por su coste del kWh, sino que intervienen otras cuestiones relativas a la problemática de la integración regional de las energías renovables)³¹⁹ vendrá dado no sólo por minimizar el coste del kWh, sino también por la diferencia entre los costes de esa tecnología y de la tecnología o tecnologías que ofrezcan costes más cercanos al mínimo. Además, será de vital importancia la influencia que sobre estos costes puedan tener los distintos parámetros, ya que puede darse el caso de que una ligera variación en un parámetro cambie los resultados significativamente.

Por estos motivos, es imprescindible realizar un análisis de la sensibilidad espacial de los resultados obtenidos respecto a los parámetros que en la primera etapa han demostrado su especial influencia en los LEC de cada tecnología.

La aplicación de los diagramas de sensibilidad espacial permite ordenar las variables seleccionadas en la etapa anterior en cuanto a su influencia en el resultado. En general, se podrán clasificar estas variables

³¹⁹ AMADOR, J. y DOMÍNGUEZ, J. (2000): "Integración Regional de Energías Renovables".

en tres grupos de influencia: importante, moderada y despreciable (ver tabla 5-6).

Tabla 5-6: Influencia de las distintas variables en la sensibilidad espacial.

Gran influencia	Influencia moderada	Sin influencia
Demanda	Coste de inversión de las líneas de BT	Recurso eólico
Tiempo de vida del acumulador	Eficiencia del sistema fotovoltaico	Coste de inversión en las líneas de MT
Coste de inversión en el sistema fotovoltaico	Tarifa eléctrica	Coste de inversión en el sistema eólico
Coste de inversión en el sistema diesel central	Impuesto por emisiones de CO ₂	Días de autonomía del acumulador del sistema fotovoltaico
Precio diesel	Tasa de descuento	Días de autonomía del acumulador del sistema eólico
Radiación solar		Otros

Las variables con gran influencia se han analizado individualmente. Para ello se han utilizado diagramas de sensibilidad espacial³²⁰ que representan la evolución del potencial de electrificación rural en función de cada variable considerada. Para ello se ejecutó repetidamente el programa modificando el valor de la variable en cada ejecución y almacenando sus resultados para poder observar dicha evolución y extraer conclusiones para el estudio y la selección de casos significativos para su comparación con el caso de referencia. De este análisis se obtiene la estabilidad del resultado frente a la variación de cada variable.

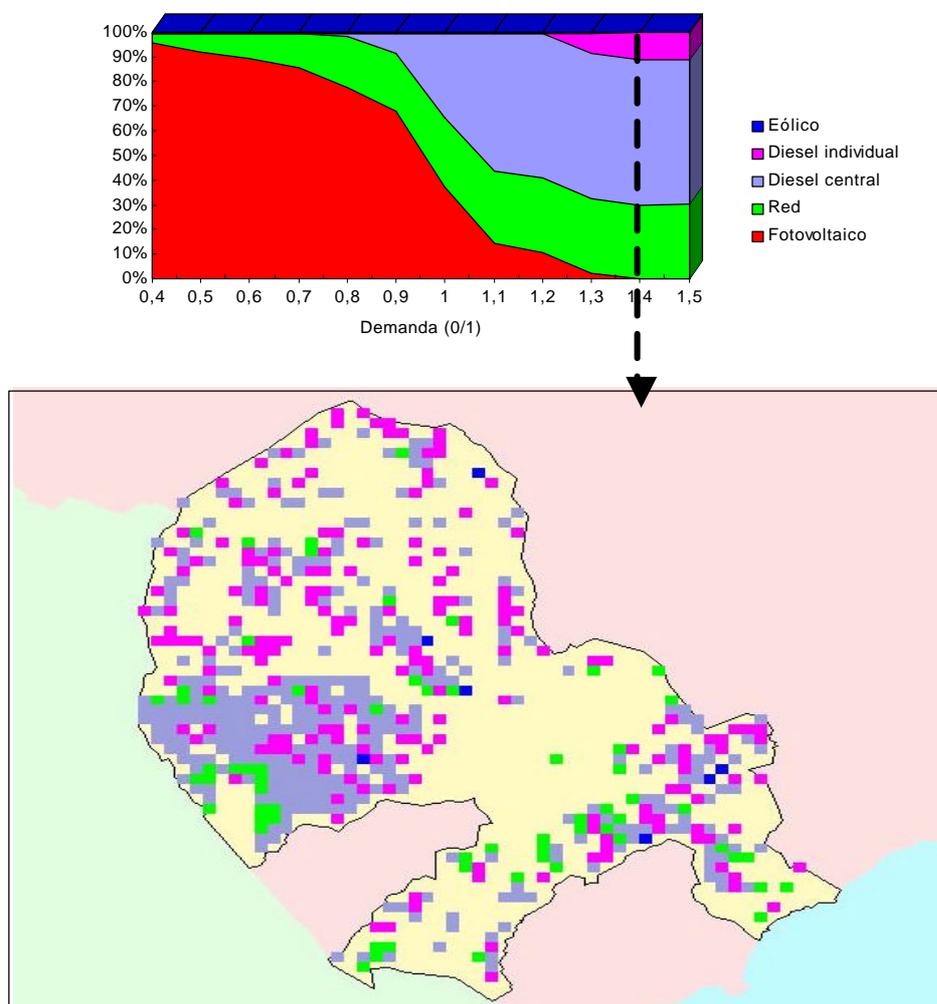
A continuación se desarrolla el análisis para estas variables.

³²⁰ MUSELLI (1997, p. 175) aplicó diagramas de este tipo en el estudio de la demanda.

Un aumento de la **demanda** produce una pérdida de la competitividad de los sistemas en energías renovables, dando lugar a la “desaparición” del sistema fotovoltaico y a la aparición del sistema diesel individual, es el único parámetro que produce estos efectos. Demandas crecientes producen un descenso drástico de los sistemas fotovoltaicos, perdiendo competitividad principalmente respecto al diesel central y ligeramente respecto a la conexión a red. Una vez que los sistemas fotovoltaicos han llegado al 10%, son los sistemas domésticos diesel los que compiten con ellos, es decir, se trata de las zonas con bajas densidades de carga alejadas de la red. Otro resultado importante es que la conexión a red se estabiliza en un 30%. Por otra parte, si la demanda disminuye también afecta significativamente a la distribución potencial. Un descenso del 10% provoca una pérdida de competitividad de diesel central del 25% y sólo un 5% en la conexión a red. Esta tendencia continua con el descenso de la demanda de forma que, el diesel central “desaparece” y la conexión a red pierde competitividad lentamente. El potencial de sistemas eólicos no se ve afectado por el descenso de la demanda.

Para completar la información del diagrama de sensibilidad espacial se aportan el mapa con la distribución de las tecnologías y la tabla de resultados numéricos correspondiente al caso de una demanda un 40% superior al caso de referencia (ver ilustración 5-46).

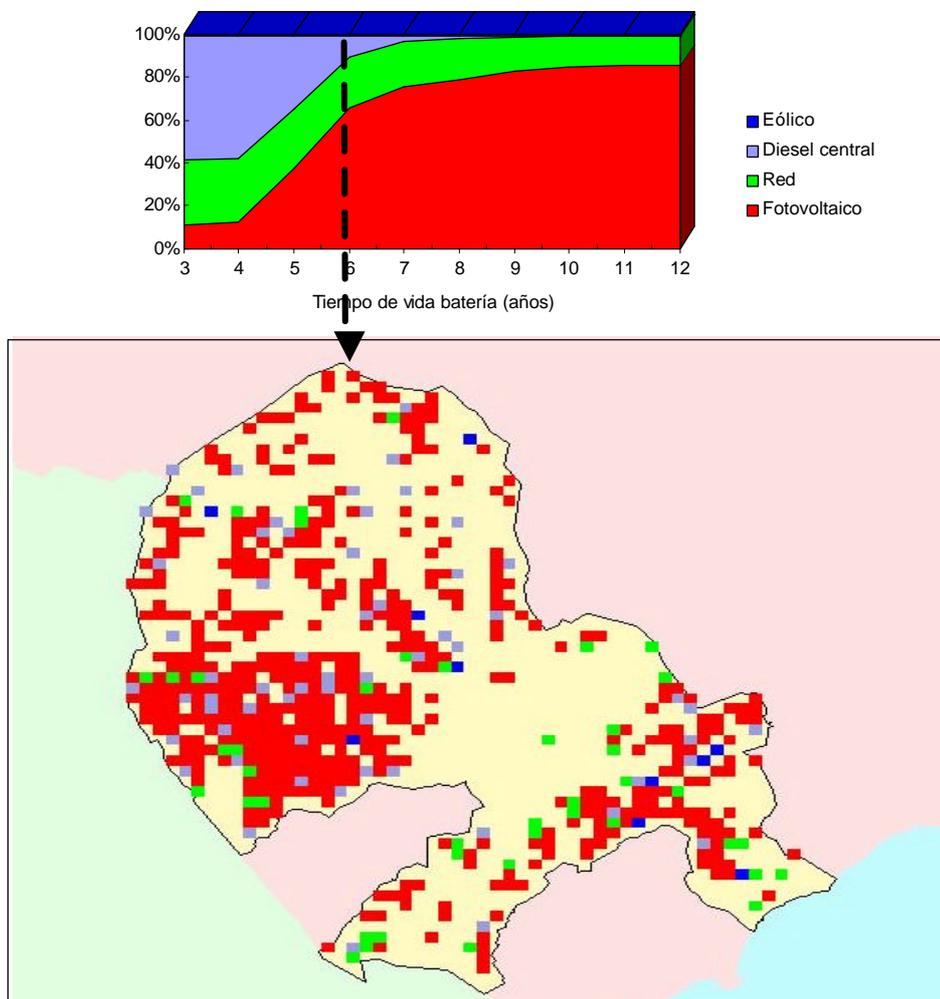
Ilustración 5-46: Influencia espacial de la demanda en Lorca (mapa y tabla para una demanda el 40% mayor que el caso de referencia).



Parámetro	Eólico	Diesel Individual	Red	Diesel central
Número de viviendas	7	189	524	1031
Área (km ²)	7	189	64	338
Potencia total instalada (kW)	2,75	595	104,4 ³²¹	9226,3
Energía anual producida (kWh)	3577	238140	660240	1299060
Inversión total (k€)	5	354,5	593	1538

³²¹ Km de líneas de MT.

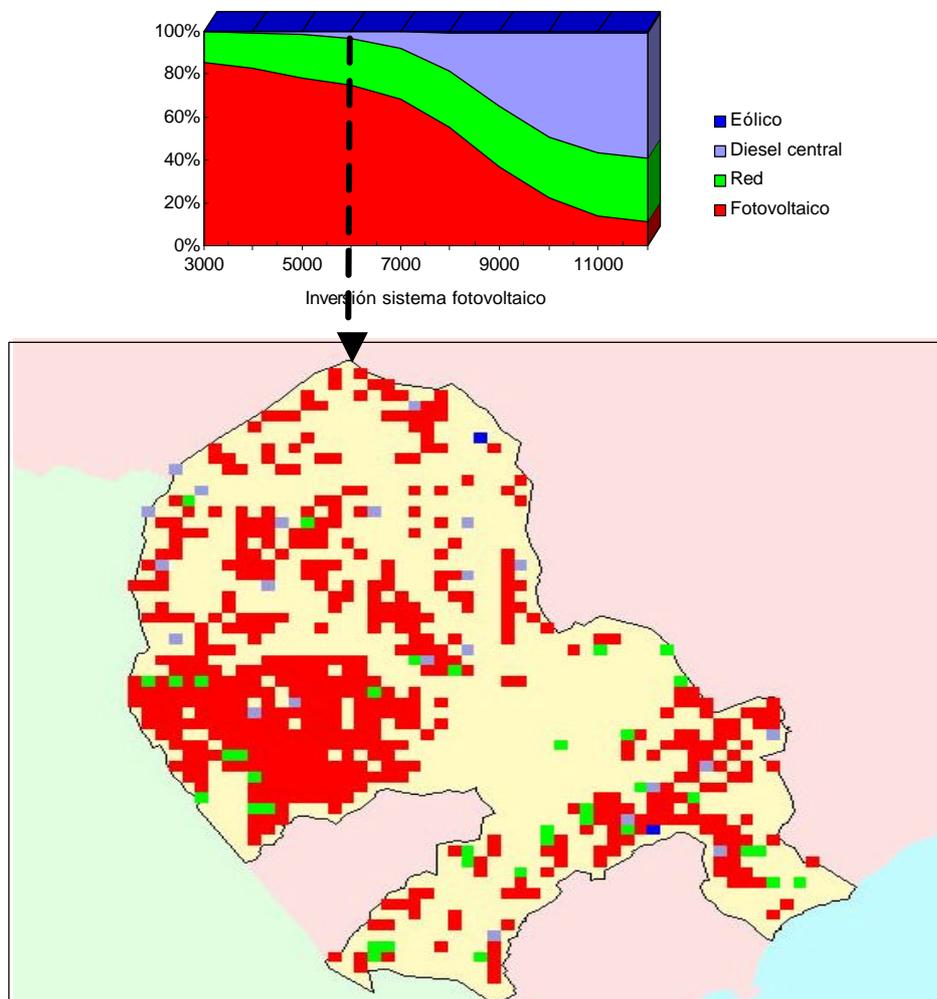
Ilustración 5-47: Influencia del tiempo de vida del acumulador para Lorca (Mapa y tabla para un tiempo de vida de la acumulación de 6 años).



Parámetro	Fotovoltaico	Eólico	Red	Diesel central
Número de viviendas	1153	12	410	176
Área (km ²)	485	10	43	60
Potencia total instalada (kW)	326,4	3,6	69,3 ³²²	1489
Energía anual producida (kWh)	420845	4380	369000	158400
Inversión total (k€)	615,8	5,89	401,2	222,2

³²² Km de líneas de MT.

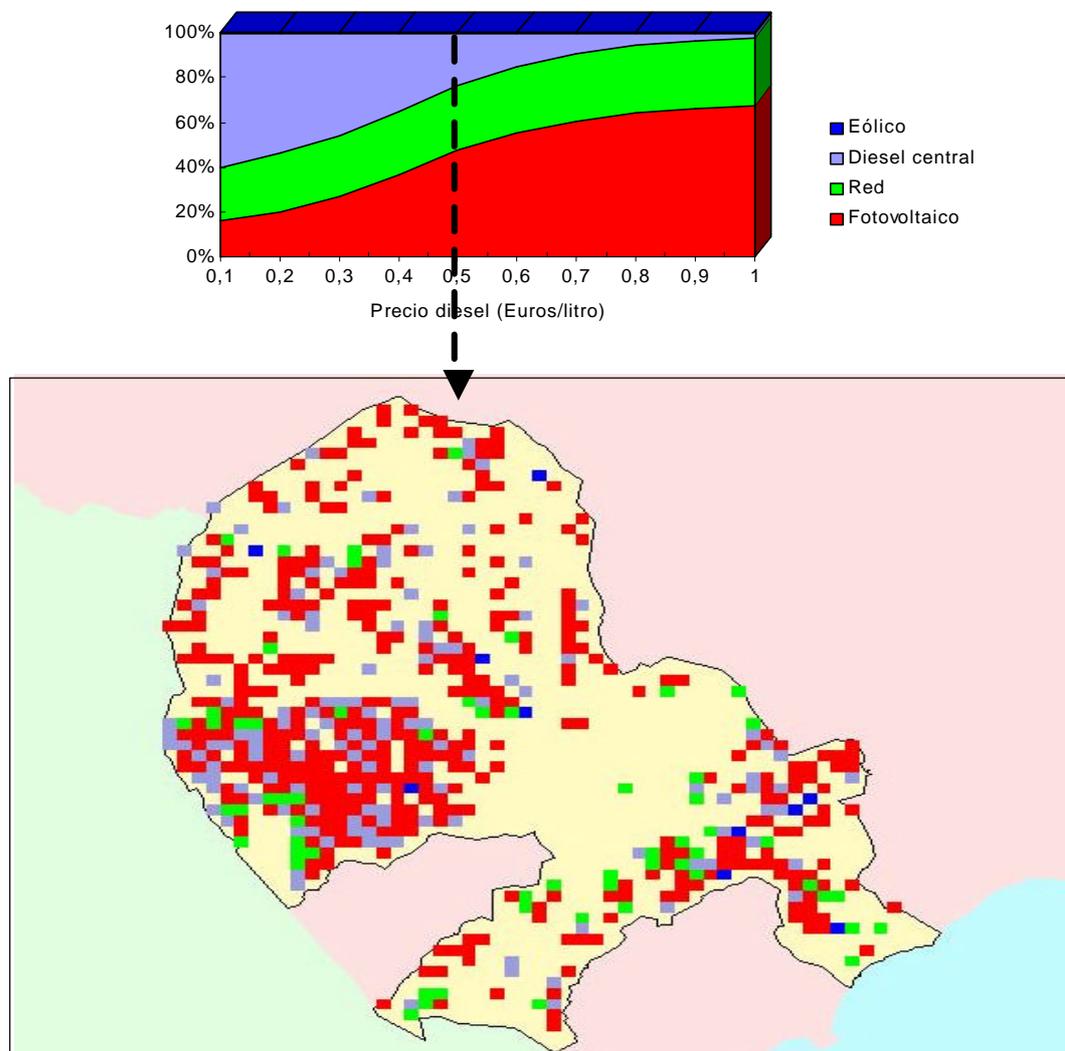
Ilustración 5-48: Influencia espacial del coste de inversión fotovoltaico en Lorca (Mapa y tabla para un coste de inversión fotovoltaico de 6000 €/kWp).



Parámetro	Fotovoltaico	Eólico	Red	Diesel central
Número de viviendas	1315	2	373	61
Área (km ²)	537	2	37	22
Potencia total instalada (kW)	372,1	1	57,5 ³²³	475,2
Energía anual producida (kWh)	470975	730	335700	54900
Inversión total (k€)	670,6	1	353,6	73,7

³²³ Km de líneas de MT.

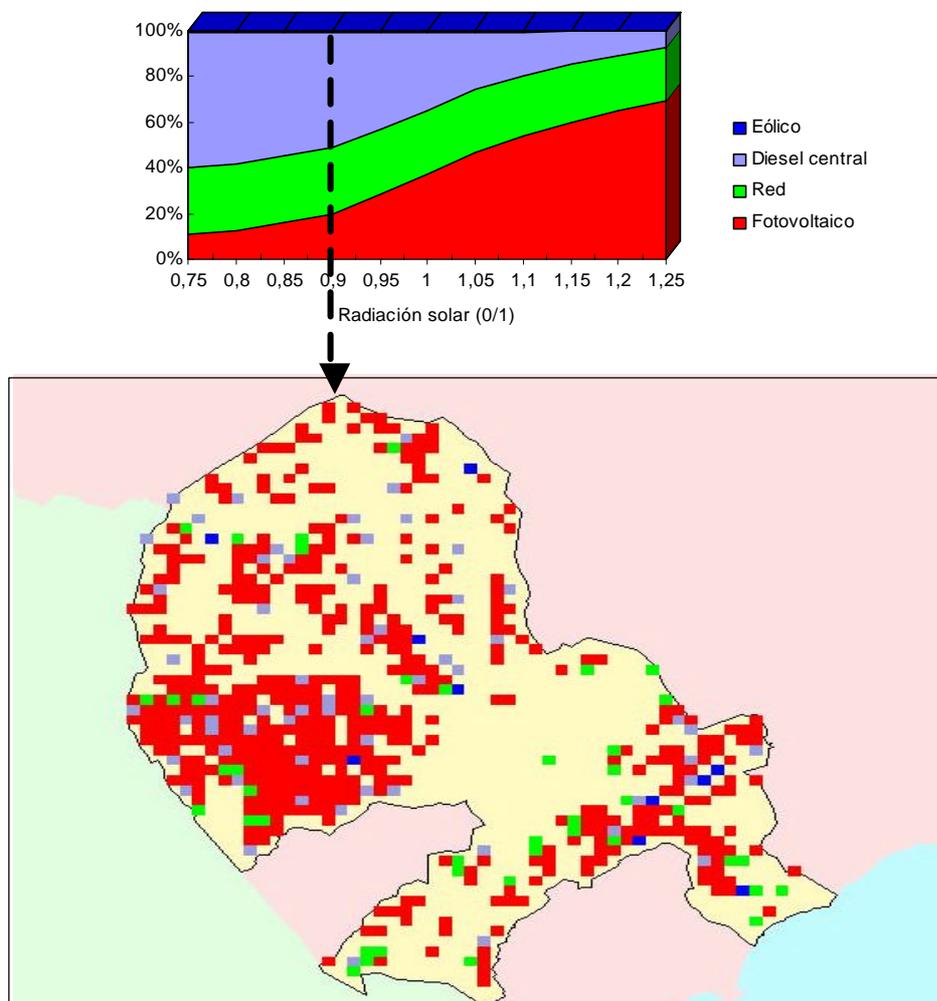
Ilustración 5-49: Influencia espacial del precio de combustible en Lorca (Mapa y tabla para un precio del diesel de 0,5 €/litro).



Parámetro	Fotovoltaico	Eólico	Red	Diesel central
Número de viviendas	836	12	508	395
Área (km ²)	395	10	61	132
Potencia total instalada (kW)	236,6	3,6	99,9 ³²⁴	3448,1
Energía anual producida (kWh)	305140	4380	457200	355500
Inversión total (k€)	483,2	6,4	534,36	535,8

³²⁴ Km de líneas de MT.

Ilustración 5-50: Influencia espacial de la radiación solar en Lorca (Mapa y tabla para una radiación solar de un 90% del caso de referencia).



Parámetro	Fotovoltaico	Eólico	Red	Diesel central
Número de viviendas	350	13	507	881
Área (km ²)	246	11	61	280
Potencia total instalada (kW)	110,1	6,5	97,9 ³²⁵	8138,8
Energía anual producida (kWh)	127750	4745	456300	792900
Inversión total (k€)	211,4	7	534,63	1219,3

³²⁵ Km de líneas de MT.

El **tiempo de vida de la acumulación** influye poderosamente en el resultado, a través del coste del acumulador, que representa un porcentaje muy importante del coste de inversión, especialmente en las instalaciones de energías renovables. El valor considerado para el caso de referencia ha sido de 5 años para una batería de placa plana. Valores inferiores son poco probables, por lo que sólo se ha considerado los casos de 4 y 3 años. Un valor de 4 años produce un descenso del 25% de la implantación fotovoltaica a favor de diesel central.

Valores superiores provocan cambios igualmente significativos, de forma que 6 años para el tiempo de vida de las baterías, dan lugar a una subida en la presencia fotovoltaica de casi un 30% en contra del diesel central. Siete años, es decir, sólo dos años más respecto al caso de referencia, suponen que los sistemas fotovoltaicos superen el 75% de potencial de electrificación rural y la práctica desaparición de los diesel centrales. Valores mayores dan lugar a que el sistema fotovoltaico siga creciendo, pero ya mucho más lentamente, en detrimento de la conexión a red³²⁶.

Observando el diagrama de la ilustración 5-48 puede comprobarse que la evolución del **coste de inversión del sistema fotovoltaico** sigue un comportamiento inverso al diesel central, permaneciendo

³²⁶ En la ilustración 5-47 se indican los resultados (mapa y valores numéricos) para un tiempo de vida de 6 años.

aproximadamente constante la participación de conexión a red, excepto para costes de inversión fotovoltaica inferiores a 5000 €/kWp.

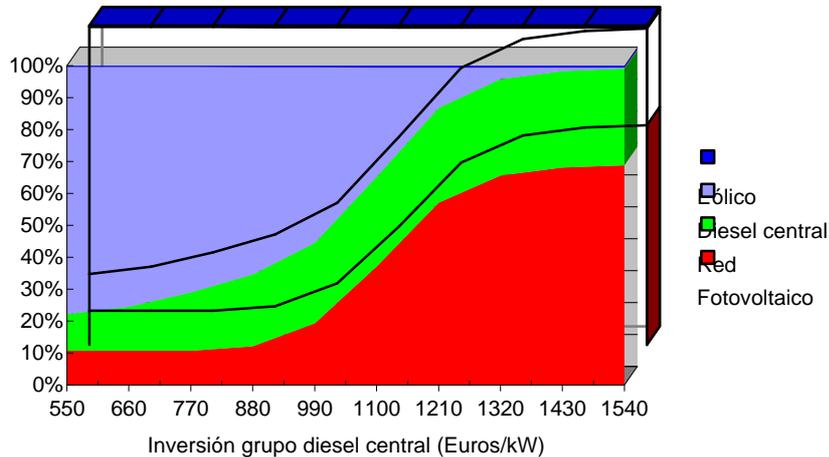
Las variaciones mayores se producen alrededor de 8000 €/kWp, hasta 6000 y 10000 respectivamente, en que las curvas que definen el potencial, cambian sus pendientes. Por tanto, el valor actual considerado (9000 €/kWp) se encuentra dentro de la zona de mayores cambios. Concretamente, un coste de inversión de 6000 €/kWp (lo que corresponde a un programa de implantación masiva de la tecnología), da lugar a que el potencial fotovoltaico duplique su peso en la electrificación del municipio (ver ilustración 5-49).

El **coste de inversión del sistema diesel central** tiene un comportamiento opuesto al anterior, como era de esperar, lo que es una prueba de la coherencia del procedimiento propuesto. No se comenta específicamente por no aportar nada nuevo. La conclusión más importante, que se deduce de la valoración conjunta de este resultado y el anterior, es la competencia directa entre los sistemas fotovoltaico y diesel central, manteniéndose la conexión a red con un porcentaje siempre cercano a un tercio del potencial total, y los sistemas eólicos con una participación simbólica, aunque prácticamente inalterable en condiciones normales, del 0,7%.

En el **precio del combustible** se dan condiciones similares a las comentadas: competencia entre los sistemas fotovoltaico y diesel central,

manteniendo la conexión a red y el eólico su participación independientemente de la variación del parámetro.

Ilustración 5-51: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste de inversión diesel central.



Además, también en este caso el valor adoptado como referencia está en la parte de mayor pendiente de las curvas, concretamente en el centro de dicha zona. Esto significa que las variaciones del precio del combustible afectarán más en este escenario que en otros posibles.

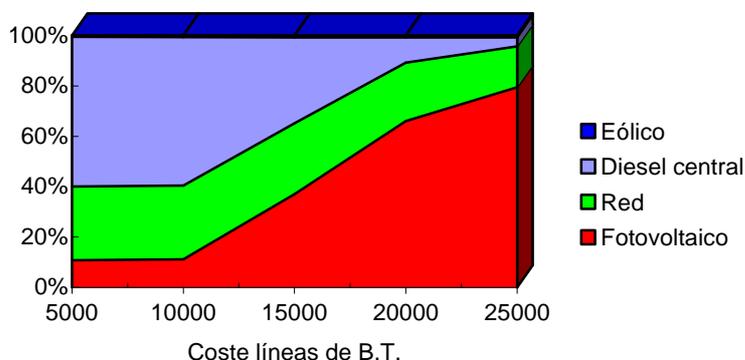
La variación de la **radiación solar** afecta al resultado con la situación ya repetida de competencia de los sistemas fotovoltaico y diesel central, y de constancia en la participación de la conexión a red y la eólica. También se repite que el valor considerado (en este caso, al ser un parámetro con variación espacial, los valores se representan en 0/1) está en el centro del tramo con mayor variación, que oscila entre un $\pm 15\%$ respecto al valor de referencia.

Este gráfico demuestra la conveniencia de conocer la radiación solar con precisión, ya que, por ejemplo, un $\pm 10\%$ de error en su valor, conduce a una variación relativa del potencial fotovoltaico del $\pm 25\%$. De nuevo, este resultado demuestra la coherencia del procedimiento, ya que el recurso solar presenta una gran homogeneidad en el área de estudio, por lo que, las variaciones del mismo afectan directamente a la tecnología asociada y a la que compite con ella.

Otros parámetros importantes pero con menor influencia en este caso son el coste de la línea eléctrica, la eficiencia del sistema fotovoltaico, la tarifa eléctrica, el impuesto sobre el CO₂, la tasa de descuento y el recurso eólico.

El coste de inversión en las líneas de BT influye de forma similar a los analizados hasta ahora. Estos costes están relacionados con la longitud de las líneas, cuestión que no se ha tenido en cuenta en el procedimiento, ya que no se dispone de información de esa dependencia, pero que conduciría, en cualquier caso, a suavizar la influencia de este parámetro, pasando a ser de menor importancia que lo que refleja el resultado. El comportamiento del diagrama está determinado por la densidad de viviendas. Para costes de inversión de las líneas de BT menores a 10000 €/km., la distribución de potencial se mantiene prácticamente constante, debido a que el área fotovoltaica tiene densidad próxima a uno. Para costes superiores a 20000 €/km. de nuevo tenemos una estabilización, aunque menor, debida en este caso a alcanzar altas demandas por píxel.

Ilustración 5-52: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste de líneas de BT.

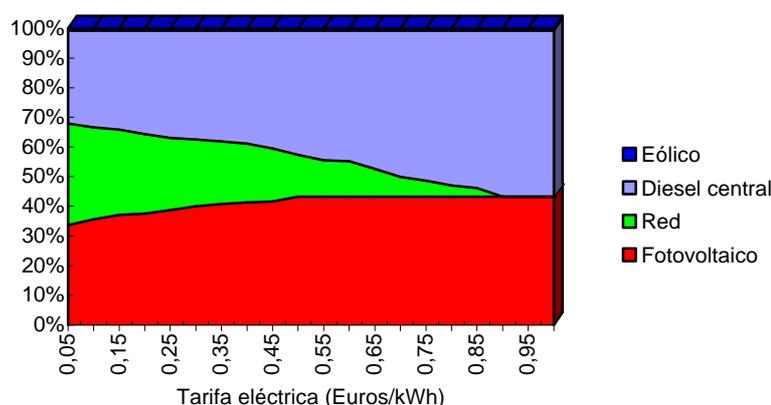


La **eficiencia del sistema fotovoltaico** repite el comportamiento ya descrito pero de forma menos acentuada que los anteriores. Además, el valor de la eficiencia del sistema fotovoltaico, en la que intervienen cuestiones como la caída de tensión en los cables, pérdidas en la transformación energética de la acumulación, etc., puede mejorarse pero no sufrir cambios espectaculares. Además el resto de las tecnologías también evolucionan. Por estos motivos, este parámetro no se considera en el grupo de los más importantes, en cuanto a su repercusión en el resultado. Aunque si es muy conveniente para la fiabilidad del mismo establecer su valor medio con rigor.

Los aumentos de la **tarifa eléctrica** pueden dar lugar a la pérdida total de competitividad de la conexión a red, pero esos incrementos deben ser muy significativos, de forma que duplicándose el coste para el usuario del kWh, la participación de la conexión a red apenas disminuye. Mucho más importante es el hecho de que las tarifas eléctricas están disminuyendo de forma progresiva en toda Europa, en los últimos años, y

continuarán esta tendencia a corto plazo. Pero de nuevo se necesitan variaciones excesivas para que su repercusión sea notable, por ejemplo, una disminución de este coste a un tercio de su valor sólo produce un incremento en el potencial total de conexión a red del 5%.

Ilustración 5-53: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al coste del kWh.

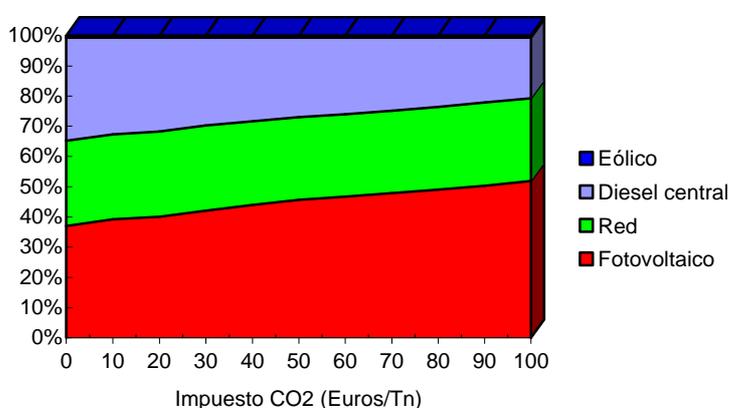


El resultado del **impuesto por emisiones de CO₂** parece contradictorio con las previsiones de mejora sustancial del potencial renovable en caso de considerar los costes externos a través de impuestos ecológicos. Considerando las previsiones de mayor valor para el impuesto por emisiones de CO₂, situadas en el año 2010, el potencial fotovoltaico aumenta en menos del 10%. El valor de este parámetro para el caso de referencia ha sido “0”.

En la evolución del potencial de la **tasa de descuento** se observa una contradicción con la consideración habitual de que valores altos favorecen a los sistemas convencionales respecto a los renovables por sus menores costes de inversión. Esto es cierto para instalaciones

conectadas a la red, mientras que para sistemas aislados, cuando realizamos un análisis detallado se llega a la conclusión que los sistemas convencionales presentan mayores costes totales de inversión que los renovables. En cualquier caso esta influencia es pequeña, alrededor del 5%, afectando en mayor medida a la tecnología diesel central.

Ilustración 5-54: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto al impuesto por emisiones de CO₂.

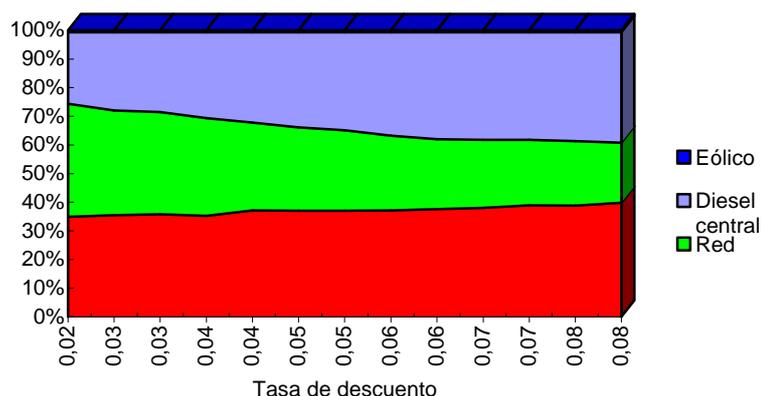


El resultado para el **recurso eólico** contrasta con el obtenido para el recurso solar. En el se observa que las variaciones en el recurso eólico no afectan al reparto de potencial. Sólo variaciones superiores al 10% influyen levemente en la tecnología eólica. Esto es debido a que el área, con potencial eólico competitivo para este tipo de aplicaciones, es pequeña para Lorca. Estando lejos del valor de competitividad el resto del municipio, por lo que variaciones del recurso eólico del 25% no alteran significativamente el resultado.

Por tanto, la conclusión es que, con unas condiciones de distribución de viento como las de Lorca, no es imprescindible conocer

con precisión el potencial eólico en todo el territorio para realizar un estudio de electrificación rural, aunque si es conveniente confirmar el potencial en los puntos competitivos.

Ilustración 5-55: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la tasa de descuento.



Existen otros parámetros como “los días de autonomía de la acumulación fotovoltaica”, “la altura del buje de la turbina eólica” y “la eficiencia de los sistemas eólicos”, que presentan una ausencia total de influencia en el resultado, por los que sus gráficas son similares. Otros como “el coste de inversión de las líneas de MT” o “el coste de inversión en el sistema eólico” afectan muy ligeramente a los resultados, a continuación se incluyen sus diagramas.

Ilustración 5-56: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la variación del recurso eólico.

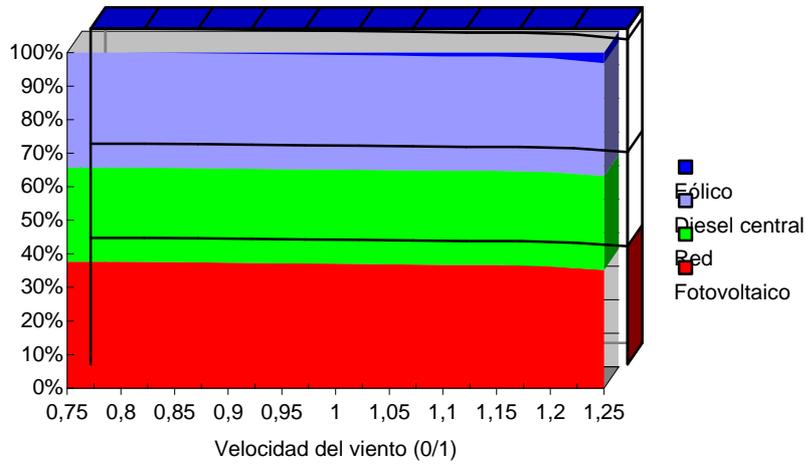


Ilustración 5-57: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la variación del coste de inversión en las líneas de MT.

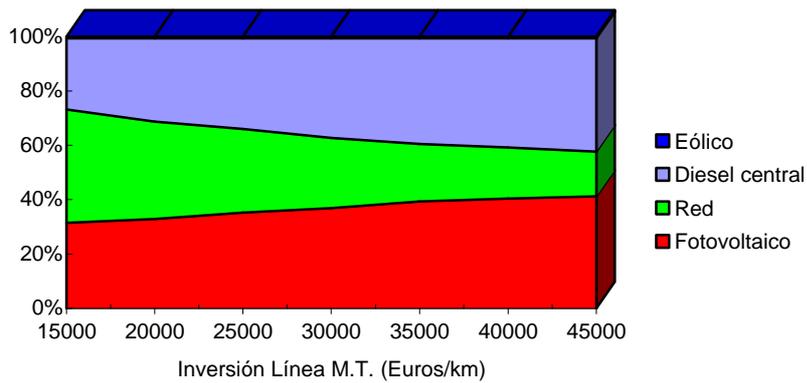
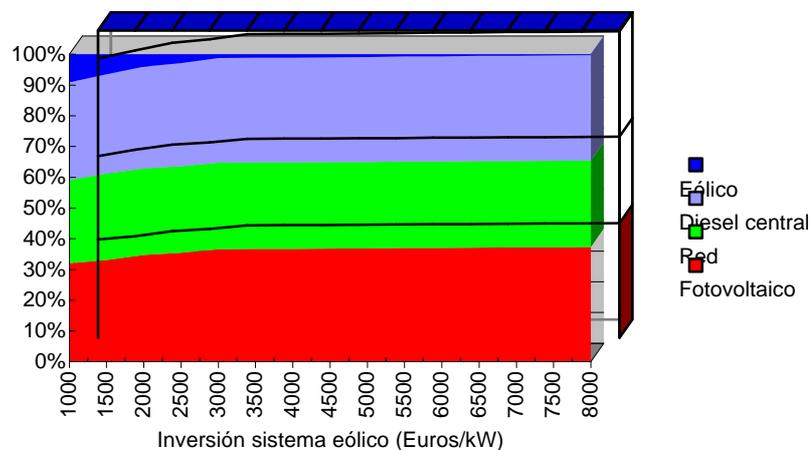


Ilustración 5-57: Diagrama de sensibilidad espacial para Lorca, respecto a la variación del coste de inversión en el sistema eólico.



5.2.3.3. Tercera etapa: Estabilidad del resultado

Para garantizar la estabilidad del resultado, no es suficiente conocer la influencia de cada parámetro por separado, sino que debe determinarse como afectan las variaciones simultáneas de las variables de más influencia. El problema que surge es la manera en que debe plantearse esa variación simultánea. Estos cambios se podrían establecer de forma aleatoria en valor y signo o, por el contrario, según su evolución prevista a corto plazo. Se ha elegido esta segunda posibilidad, que se considera más coherente con la filosofía del análisis y, que en el fondo, es simplemente una variante del análisis de escenarios que permite explotar la potencialidad de los SIGs.

En el caso de Lorca se han contemplado dos escenarios distintos de evolución a corto plazo (ver tabla 5-7).

Una *evolución moderada* es la situación más probable de los parámetros en un período corto de tiempo (1 ó 2 años). Así mismo, esta

evolución se podría corresponder a un error en la estimación de los parámetros, debido a algún condicionante “desconocido” para el investigador en el caso de estudio. El resultado obtenido apenas varía respecto al caso de referencia: aumenta en un 2% el potencial fotovoltaico y en 1,5% el de red; disminuyendo casi un 4% el diesel central. Con los mismos valores, pero aumentando el tiempo de vida del acumulador a 8 años, la tendencia del caso de referencia se mantiene con un incremento espectacular de la presencia fotovoltaica a costa de diesel central.

Tabla 5-7: Escenarios contemplados para evaluar la estabilidad del resultado.

	Evolución Moderada	Evolución Rápida
Demanda	20% mayor	40% mayor
Coste de inversión de sistemas fotovoltaicos	8000 €/kW _p	6000 €/kW _p
Tiempo de vida de la batería	6 años	8 años
Coste del combustible	0,5 €/litro	0,5 €/litro

El escenario de *evolución rápida* se corresponde a una situación de crecimiento económico en la región, lo que se traduce en un incremento importante de la demanda. Además, los costes de inversión fotovoltaica bajan fuertemente debido a una expansión de las tecnologías renovables y el tiempo de vida de la batería aumenta de forma significativa. El coste de combustible se mantiene como en el caso anterior. El resultado en este caso es de una fuerte subida del potencial fotovoltaico, que casi alcanza las tres cuartas partes del potencial regional, como siempre debida a los sistemas diesel centrales que se quedan con apenas un 4%. La conexión a red mantiene un porcentaje cercano al 25%. Este análisis se ha repetido para el caso de que el precio del combustible se mantenga

en 0,4 €/litro, permaneciendo prácticamente inalterado (90 viviendas pasarían de fotovoltaico a diesel central). También se ha analizado el caso anterior pero considerando que los costes de inversión fotovoltaicos sólo bajan a 8000 €/kW_p. El resultado es que, aunque los sistemas fotovoltaicos pierden un 14% para el diesel central, siguen manteniendo una importancia significativa con cerca de la cuarta parte del potencial en el municipio.

En conclusión, según lo indicado en los párrafos anteriores, se puede afirmar que la distribución de potencial de electrificación rural para Lorca, en el llamado “caso de referencia”, presenta una gran estabilidad.

5.2.4. Síntesis del estudio

El empleo de SIG como herramienta soporte para los planes de electrificación rural que incluyan energías renovables presenta muchas ventajas, pero tiene el inconveniente de la falta de control sobre los resultados obtenidos.

Las principales *fuentes de incertidumbre* que generan esa falta de control en los resultados son: el desconocimiento de la demanda, la imprecisión en el valor del factor de capacidad de las distintas tecnologías, la imprecisión en el valor de los parámetros económicos (especialmente la tasa de descuento) y, por último, la imprecisión a la hora de interpretar unos resultados energético-económicos válidos únicamente en un contexto previamente definido.

Tabla 5-8: Conclusiones del estudio: fuentes de incertidumbre y acciones correctoras.

Fuente de incertidumbre	Acción correctora
Demanda	Normalización escenario de consumo
Factor de capacidad	Análisis diferenciado renovables-convencionales
Parámetros económicos	Análisis mercado energético
Extrapolación de contexto	Análisis de sensibilidad espacial

Las *acciones correctoras* desarrolladas para cada uno de estos problemas han sido las siguientes.

Respecto a la incertidumbre en la determinación de la demanda se ha realizado un estudio socioeconómico que permite normalizar un escenario de consumo para estimar la demanda de energía eléctrica en función de las variables socio-económicas de la región. Los sistemas convencionales y renovables de electrificación rural presentan unas características distintivas que dificultan su comparación directa. Para solventar este problema se proponen dos escenarios de consumo distintos uno para viviendas renovables, con un consumo energético racional y eficiente, y otro para viviendas convencionales obtenido a partir de los estudios realizados de la demanda de energía eléctrica en el sector residencial español.

Respecto a la imprecisión en el valor del factor de capacidad en los diferentes sistemas se ha analizado la dependencia de este respecto a las tecnologías renovables, lo cual ha obligado a realizar un estudio del estado del conocimiento de estas tecnologías. El planteamiento ha sido distinto para las tecnologías renovables y convencionales. Para las primeras, se calcula el factor de capacidad a partir de las características del recurso para después obtener la potencia de la instalación. Para las

instalaciones convencionales se determina, en primer lugar, la potencia a instalar por vivienda según las condiciones socioeconómicas de la zona (se supone una potencia por vivienda en función del nivel económico de los habitantes de la misma, evidentemente, existirá una relación directa entre la demanda estimada en el punto anterior y la potencia asignada en éste). A partir de la potencia por vivienda y del número de estas (en el caso de instalaciones centralizadas) se calcula la potencia a instalar considerando un coeficiente (o varios) de dimensionado en función del estado de la tecnología. Conocida la potencia, el factor de capacidad se determina en función del consumo.

Respecto a la imprecisión en los parámetros económicos, se ha realizado un análisis del mercado energético regional que garantiza una coherencia en los valores adjudicados. Para ello, se han estudiado todos los factores que intervienen en la determinación del coste del kWh de cada tipo de instalación, lo cual ha permitido ajustar el valor de las variables consideradas, además de “sacar a la luz” otras variables no incluidas (al menos de forma habitual) en estudios similares, como son: los costes de reconstrucción de un grupo electrógeno, los costes de equipos eficientes en una vivienda electrificada con energías renovables y los costes por derechos de acometida en el caso de existir red de distribución de BT. Este estudio económico también ha permitido considerar variable lo que normalmente se suponía constante, como es el caso del coste de las líneas aéreas de MT en función de la distancia.

Los trabajos realizados en estos tres puntos, junto con otros descritos a lo largo de este documento, han producido un sistema de información geográfica para la electrificación rural con energías renovables con un alto grado de definición y exactitud en las variables y algoritmos empleados.

Por último, se ha desarrollado un *análisis de sensibilidad espacial* que permita determinar los parámetros con mayor influencia en el resultado y en que forma afectan al mismo, a fin de establecer su fiabilidad en función del “grado de sensibilidad espacial” mostrado por el coste del kWh de cada tecnología.

Este método permite aumentar el control sobre los resultados obtenidos y se estructura de la siguiente forma. En primer lugar se determinan, a través de análisis de sensibilidad convencional y diagramas de araña, las variables con mayor peso en el LEC de cada tecnología. A continuación, para todas las variables detectadas se realiza un análisis de sensibilidad espacial que se traduce en un diagrama y en uno o varios mapas. Este análisis espacial produce dos resultados: determina las variables con mayor influencia en el plan de electrificación rural (las variables con mayor influencia para el caso práctico estudiado han resultado ser: la demanda, el tiempo de vida de la acumulación, el coste de inversión del sistema fotovoltaico, el precio del combustible y la radiación solar) y establece en que forma se produce esa influencia, anticipándose así a los efectos que determinadas acciones (subvenciones, incremento de precios...) o incluso, errores en la

estimación de parámetros, pueden producir sobre el resultado. Todo esto se traduce en un control del resultado que determina la estabilidad del mismo y, por tanto, delimita el riesgo de error por parte de los planificadores que utilicen esta herramienta.

Conclusiones

De la investigación desarrollada en la presente tesis doctoral se extraen las siguientes conclusiones:

Respecto del **planteamiento y metodología** seguido en la investigación es necesario destacar las siguientes ideas:

- *La aproximación conceptual ha resultado altamente enriquecedora, aportando una visión global del problema que ha permitido encuadrar más firmemente la visión territorial de la integración y el papel en la misma de los SIG.*
- *La enorme demanda de este tipo de aplicaciones en el mundo de las energías renovables, donde la perspectiva geográfica es infrecuente, y donde, en demasiadas ocasiones, predominan aproximaciones fragmentarias, técnicas o económicas, sobre una visión territorial, social y ambientalmente integradora.*
- *Muchas de las aplicaciones desarrolladas, aunque modestas en su alcance, han sido pioneras y han generado numerosas expectativas de continuidad.*

- *La conexión entre la geografía y la energía resulta imprescindible para realizar una buena aplicación de los SIG en la planificación e integración de energías renovables. Para ello, ha de existir una transferencia entre el acervo metodológico y conceptual de ambas disciplinas.*

Respecto de la **planificación energética** las principales conclusiones que se pueden extraer son:

- *Las energías renovables pueden llegar a suponer el 50% del consumo de energía primaria a mitad del presente siglo, pero para ello, además del esfuerzo político e institucional, es necesario realizar una importantísima apuesta en apoyo de la I+D.*
- *La planificación energética debe estar más integrada en la ordenación del territorio, ayudando a superar el modelo territorial de concentración y proponiendo un nuevo modelo energético más distribuido que facilitará la adecuación de los recursos y de la demanda y que será ambientalmente sostenible.*
- *La planificación energética implica una intervención en el territorio y una interacción con los sistemas social y económico. Desde el punto de vista territorial destacan dos aspectos: el uso y ocupación de suelo (procesos de generación, distribución y transporte de la energía) y la*

explotación de recursos naturales (renovables o no) con sus diferentes impactos. Dado que el suelo ha dejado de ser de uso sectorial, la adecuada planificación evitará conflictos de uso. Además, de la interacción con los sistemas social y económico, se define una tercera variable, los hábitos de consumo y el nivel de vida, que se manifestará tanto en actividades sobre el territorio como en nuevas necesidades con implicaciones territoriales. Por todo ello, la planificación energética ha de estar necesariamente vinculada a la ordenación del territorio.

- *La planificación energética regional tratará de evitar que el desarrollo dependa exclusivamente de factores externos y de minimizar los impactos locales de la planificación energética general. Para ello, promoverá la valorización de los recursos renovables locales, contribuyendo a racionalizar el uso de la energía, promoviendo balances energéticos armónicos, evitando situaciones de extrema dependencia y fomentando la diversificación y el ahorro de energía. La mayor flexibilidad de las FER favorecerá la descentralización y las soluciones locales, fomentando un modelo territorial difuso. Así mismo, este nuevo modelo debe garantizar el mantenimiento del patrimonio cultural y de los recursos naturales y paisajísticos.*

Respecto de la **integración territorial** de las energías renovables las principales conclusiones a las que llega esta tesis doctoral son:

- *La distribución de las fuentes de energía renovables se caracteriza por su baja intensidad, su amplitud y carácter complementario y su coste gratuito. Desde una perspectiva ambiental, son mucho más limpias que las convencionales, con un balance de emisiones atmosféricas nulo o prácticamente inexistente. Desde un punto de vista social y económico, las energías renovables están actuando en muchas ocasiones como motores de empleo y como dinamizadores regionales, ayudando a la generación de un tejido industrial propio. De todos modos, no se puede pensar que el mero hecho de poseer un recurso energético constituye, aisladamente, un factor de desarrollo.*
- *A pesar de las grandes ventajas que presentan las energías renovables, no han conseguido superar totalmente las numerosas barreras que impiden su integración. Entre otras, se pueden señalar las dificultades para penetrar en un mercado dominado por una estructura de producción, consumo y comercialización altamente concentrada, que responde a un modelo territorial impuesto por los países desarrollados; la falta de incorporación de las externalidades en el precio final de la energía; y la ausencia de una adecuada normalización en las pequeñas instalaciones. En*

la superación de estas barreras tienen un papel muy importante las instituciones; aunque hay que considerar que el cumplimiento de los objetivos de penetración en el mercado energético de las autoridades europeas y españolas no es homogéneo y presenta grandes diferencias nacionales y regionales.

- *Además del esfuerzo institucional, es necesario avanzar en la investigación y en la difusión de los conocimientos tecnológicos a la sociedad, fomentando así su aceptación y su demanda. Sin duda alguna esta es una de las principales bazas para superar las barreras de la integración de las energías renovables, ya que permite desarrollar una tecnología más competitiva y mejorar su posición en los aspectos territoriales, ambientales y sociales. Por lo tanto, la investigación no sólo ha de ser tecnológica, sino también geográfica, ambientalista y socioeconómica, incorporando equipos y herramientas multidisciplinares, como pueden ser los SIG.*

Respecto de la **aplicación de los SIG** se aportan las siguientes conclusiones:

- *Los SIG pueden ser utilizados como una herramienta de análisis e investigación geográfica en la planificación de las FER y como un medio de difusión, a través de la cartografía,*

de su distribución espacial y de sus posibilidades de integración en el sistema energético.

- *Los SIG todavía no constituyen una herramienta generalizada en los estudios de este campo pero su potencial es enorme debido a las propias características espaciales de las FER y a la capacidad de los SIG para analizar las complejas relaciones espaciales que caracterizan a la integración de estas fuentes.*

- *La mayoría de las aplicaciones que se han estudiado responden a alguno de estos tres criterios: la evaluación de recursos regionales y locales, la localización de emplazamientos para instalaciones de transformación energética y la evaluación de la competitividad territorial de las FER frente a las fuentes convencionales. En la mayoría de estas aplicaciones predomina una visión técnico-económica frente a una aproximación más geográfica o ambiental. Para conseguir una integración más efectiva, es necesario superar esta dialéctica con un planeamiento integrado que combine el sistema energético, el económico, el social, el ambiental y el territorial.*

Respecto de las conclusiones del análisis de casos:

- *Los SIG se han mostrado como una importante herramienta para resolver dos cuestiones espaciales de relevancia geográfica para las renovables: la caracterización del recurso en cuanto a su tipología, calidad y disponibilidad y, en función de ese recurso, la localización más óptima para los centros de producción de electricidad. Con ello, los SIG facilitan la posibilidad de realizar análisis sencillos, normalmente con tecnología raster, para elaborar mapas de recursos y realizar una primera aproximación a los estudios de localización.*
- *En un nivel de aplicación superior, el uso de estas herramientas de tecnología geográfica ha hecho posible compatibilizar FER distintas, con diferentes tecnologías de explotación y con un comportamiento espacial de los recursos muy distinto. Así mismo, la potencia de cálculo de los SIG permite aplicar un análisis de sensibilidad espacial para modelizar la respuesta territorial de las variables consideradas en cualquier estudio de integración, combinándolas con diferentes escenarios energéticos*
- *El control del proceso en estas aplicaciones se ha podido llevar a cabo combinando la enorme potencia de análisis espacial de los SIG con una metodología rigurosa de*

análisis de las variables y del funcionamiento de la aplicación. De esta forma, se puede comprobar tanto la sensibilidad del coste de la unidad energética producida respecto de las diferentes variables consideradas, como la variabilidad espacial derivada de la alteración de los factores territoriales, y la estabilidad temporal de los resultados del estudio en los diferentes escenarios considerados.

Por último, es necesario destacar aquellos aspectos que pueden ser considerados como temas o cuestiones pendientes y que son los que, en definitiva, aportan las **perspectivas futuras** de investigación.

- *La evaluación y gestión de los recursos de biomasa, apoyando un análisis más dinámico y realista con técnicas propias de la teledetección y, sobre todo, con la aplicación de sensores activos.*

- *El estudio del impacto en el sistema energético de la integración de renovables (especialmente de la energía eólica). En este sentido, se hace imprescindible no sólo la evaluación más eficaz del recurso energético sino también la aportación de la capacidad predictiva sobre el mismo y de la modelización del sistema como un conjunto que incluya de una forma integrada, además de las variables eléctricas, las variables territoriales.*

- *El análisis de los aspectos relacionados con la cogeneración y las relaciones sectoriales (p. ej. sistemas agrarios y energéticos).*
- *El estudio de las posibilidades de aplicación de los SIG a otras manifestaciones energéticas con características propias, como son la producción de calor y el transporte, y que cuentan con una enorme incidencia tanto en los sistemas económico, social y ambiental como en la articulación del territorio.*

Madrid, septiembre de 2002.

Bibliografía

ABARZUA, M. (1985): *Geografía de la energía*. Santiago de Chile, Instituto Geográfico Militar, 174 págs.

AGUADO M.A. y J.C. CÍSCAR (1997). *The socio-economic impact of renewable energy projects in Southern Mediterranean countries: Methodology*. The IPTS report. JRC. Sevilla.

AGUILERA, J. (1995): *Energía solar fotovoltaica en el ámbito de la cooperación al desarrollo. Caso de estudio: el Altiplano Boliviano*. Tesis doctoral. ETSIT, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 1995.

ALEXOPOULOU, S. (1996): "A decision support system for the integration of renewable energy sources into water desalination systems (REDES)", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR, Florencia.

ALONSO-ABELLA et al. (1996): "Present situation in South Africa with respect to implementation of solar home systems", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR, Florencia.

ALVARGONZÁLEZ, R. (1982): *Generación de energía en el medio rural*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid.

AMADOR GUERRA, Julio (1999): "Evaluación del impacto ambiental de parques eólicos" en Curso de Técnico en instalaciones fotovoltaicas y eólicas. UPM, Madrid, pág. 62.

AMADOR GUERRA, Julio (2000): *Análisis de los parámetros técnicos en la aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la integración regional de las energías renovables en la producción descentralizada de electricidad*. Tesis Doctoral. ETSII, Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, 2000.

AMADOR GUERRA, Julio y Javier DOMÍNGUEZ BRAVO, (2000a): *Integración Regional de Energías Renovables*. Informes Técnicos CIEMAT. Nº 948, diciembre, 2000. Ed. CIEMAT. Madrid. pág. 49.

AMADOR GUERRA, Julio y Javier DOMÍNGUEZ BRAVO, (2000b): *Los Sistemas de Información Geográfica en la Integración Regional de Energías Renovables*. Informes Técnicos CIEMAT. Nº 947, diciembre, 2000. Ed. CIEMAT. Madrid. pág. 61.

AMADOR GUERRA, Julio y Javier DOMÍNGUEZ BRAVO, (2001): "Potencial y proyectos de Electrificación Rural con Energías Renovables". Era Solar, Madrid, Nº 101, Enero/febrero 2001, Año XIX, págs. 7 - 12.

ANDERSON y HOLLAND (1996). "Accelerated regional integration of energy systems", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR. Florencia.

ARIZA, F. J. (1994): *Electrificación fotovoltaica versus electrificación convencional. Fragmentación del territorio según viabilidad económica mediante sistemas de información geográfica*. Córdoba. Tesis

Doctoral. ETSI Agrónomos y de Montes, Universidad de Córdoba, Córdoba, 1994.

ARIZA, F.J. et al. (1993): "Apoyo de los sistemas de información geográfica en el uso de la energía solar fotovoltaica". En Actas del II Congreso de la AESIG, Madrid. Págs. 7.

ARIZA, F.J. et al. (1997): "Territorial competitiveness of the stand alone photovoltaic systems versus grid electricity supply. A method and study bases on geographical information systems". Solar Energy, Vol. 61, Nº 2, págs. 107-118. Elsevier Science Ltd. R.U.

ARRIBAS, LUIS M. et al. (2000): *Evaluación del Potencial Eólico en la Base Antártica Española Juan Carlos I*. CIEMAT, Madrid, 51 págs.

BABAN, S.M.J. y T. PARRY (2001): "Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK". Renewable Energy. Vol. 24, nº 1, págs. 59-71. Pergamon Press. Londres.

BEECK, H. (1996). The CERE Network and its Joule II project: "Network of excellence of municipalities and regions for renewable energies development and use", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR. Florencia.

BERMEJO, M. (1997): "Fuentes de enerxia e futuro", Revista galega do ensino, 17, 1997, págs. 111-127.

BERNHEIM, L.G. et al. (1999): "Geographic Information System Modelling of rice straw harvesting and utilisation in California". En Biomass. A growth Opportunity in green energy and value-added products. OVEREND, R.P. y E. CHORNET eds. Proceedings of the Fourth Biomass Conference of the Americas. Elsevier Science, Kidlington, R.U. 1999. 69-74 pág.

BOJA (1995): *Orden de 8 mayo de 1995, por la que se convocan subvenciones a los Ayuntamientos destinadas a la rehabilitación de la vivienda rural en localización aislada. Anexo en páginas 4.564 y 4.565 de Prescripciones técnicas que regirán las ofertas de las empresas instaladoras*. BOJA nº 72, Junta de Andalucía. Sevilla.

BOTTA, G. et al. (1994): "A preliminary evaluation of the wind resources in central and southern Italy". EWEC'94. Grecia. Págs. 223-227.

BOURGES, D. et al. (1996): "A geographical information system for large scale integration of renewable energies into regional energy markets", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR, Florencia.

BOYLE (1996). *Renewable Energy*. EDIFIR. Florencia.

BREGER, D.S. y H. SNYDER (1999): "The use of a GIS model to evaluate the economic potential for biomass in Northampton County, Pennsylvania". En Biomass. A growth Opportunity in green energy and value-added products. OVEREND, R.P. y E. CHORNET eds. Proceedings

of the Fourth Biomass Conference of the Americas. Elsevier Science, Kidlington. 1999. 107-112 pág.

CAÑAS I., C. LAGO, L. GARCÍA, M. RUIZ y F. MASEDA (1998): “Comparative of visual impact on agricultural constructions and windfarms in Spain”, Wind Energy and Landscape, C. Ratto y G. Solari Eds., A.A.Balkema, Rotterdam, Brookfield.

CAPAREDA, S. (1999): “Geographic Information Systems (GIS)-based assessment of rice hull energy resource in the Philippines”. En Biomass. A growth Opportunity in green energy and value-added products. OVEREND, R.P. y E. CHORNET eds. Proceedings of the Fourth Biomass Conference of the Americas. Elsevier Science, Kidlington. 1999. 203-208 pág.

CARRASCO, Juan (1996): “Aspectos medioambientales de la producción y uso de la biomasa”, en La Biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria. Ed. CIEMAT, Madrid, 40 págs.

CARRERAS, Nely (1998): *Guía para la extracción y utilización del gas de vertedero*. Ed. CIEMAT, Madrid, 112 págs.

CIEMAT (1995a): *Energías Renovables*. Comité de Energía y Recursos Naturales del Instituto de Ingeniería de España. Ed. CIEMAT, Madrid, 237 págs.

CIEMAT (1995b): *Principios de Conversión de la Energía Eólica*. Ed. CIEMAT, Madrid.

CIEMAT (1996a): *Curso de producción de electricidad con energías renovables*. Madrid. Documentación interna del curso.

CIEMAT (1996b): *La Biomasa: fuente de energía y productos para la agricultura y la industria*. Ed. CIEMAT, Madrid.

CIEMAT (1996c): *Fundamentos, dimensionado y aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica*. Ed. CIEMAT, Madrid.

CIEMAT (1997): *Mercado de producción de electricidad solar térmica con tecnología de torre. Aplicación a España. Informe de proyecto*. INABENSA. 164 pág.

CLARKE, J. A. et al. (1996). "Integration of renewable energies in European Regions", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR. Florencia.

CLARKE, J. A. y A. D. GRANT (1996). "Planning support tools for the integration of renewable energy at the regional level". WREC, 1996.

CNSE (1998): *Informe de la propuesta de Real Decreto sobre producción de energía por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración*. Ref.: I 029/98. Comisión Nacional del Sistema Eléctrico. Madrid. 71 págs.

COM (1996): *Energía para el futuro: Fuentes de Energías Renovables. Libro Verde para una estrategia comunitaria*. Oficina de

Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Bruselas. Ref. [COM(96) 576 final]. 59 págs.

COM (1997): *Energía para el futuro: Fuentes de Energías Renovables. Libro Blanco para una estrategia y un plan acción comunitarios*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Bruselas. [Ref. COM(97) 599 final]. 58 págs.

COM (1997): *Energy Technology. The next steps*. Summary findings for the Atlas project. 155 págs.

COM (1998): *Report on community policies and spatial planning*. 49 págs.

COM (2000): *Libro verde. Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas, Luxemburgo. Ref. [COM(2000) 769 final]. 109 págs.

COM (2001): *Política energética. Introducción*. [en línea]. Comunidades Europeas, 17 de abril de 2001. Disponible en: <http://europa.eu.int/scadplus/leg/es/lvb/l27001.htm> [Consulta: 3 agosto 2001].

COM. DG XVII (1994). *Prospects for renewable energy in the European community and eastern Europe up to 2010*. Annex 3. The European Renewable Study, ALTENER programme. Oficina de Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas. Bruselas.

COM. DG XVII (1996): *La energía en Europa hasta el 2020*. Luxemburgo: Oficina de publicaciones oficiales de las Comunidades Europeas.

COMUNIDAD DE MADRID (1987): *Posibilidades de las energías renovables en el territorio de la Comunidad de Madrid*. Comunidad de Madrid. Madrid.

CONSEJO DE LA UNIÓN EUROPEA (2001). *Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad*. DOCE L 283 de 27 de octubre de 2001, 33-40.

Corrección de errores del RD 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración. BOE núm. 43, 19/2/99.

CORTIÑAS, G. (1988). "Tools for energy planning" en AAVV, Regional energy planning in the European communities. Actas. Comisión de Comunidades Europeas. Madrid: CIEMAT.

CURRAN, D. (1973): *Géographie mondiale de l'énergie*. Paris, Masson, 254 págs.

CHAPMAN, J.D. (1989): *Geography and energy: commercial energy systems and national policies*. Longman Scientific and Technical, 260 págs.

DEZERT, B. (1973): *Géographie générale et régionale de l'énergie dans le monde*. Paris, Centre de documentation universitaire, 227 págs.

DIAKOULAKI, D. et al (1996). "Implementing large scale integration of Renewables a pilot study for operational plans and policies (REPLAN)", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR. Florencia.

DÍAZ, R. (1989). *Localización y desarrollo territorial: Estudio de interdependencias*. Tesis doctoral. ETSII, Universidad Politécnica de Madrid.

DÍAS ÁLVAREZ, J.R. y J.J. CAPEL (1980): *Geografía de la energía solar en el espacio almeriense*. Almería, Dip. Prov. y Caja Rural Provincial, 211 págs.

Diccionario de geografía urbana, urbanismo y ordenación del territorio. Grupo Aduar, Florencio Zoido Naranjo. et al. Ariel, 2000, Barcelona. p.406

"Documentation – Presentation of scientific and technical reports".
En: *International Estándar*. ISO 5966-1982 (E): págs. 648-666.

DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier (1996): "Evaluación de emplazamientos potenciales para sistemas de producción descentralizada de electricidad con energías renovables" en Modelos y Sistemas de Información en Geografía". Grupo de Métodos Cuantitativos, AGE. Vitoria, pág. 211 a 217.

DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier (2000): *Breve Introducción a la Cartografía y a los Sistemas de Información Geográfica (SIG)*. Informes Técnicos CIEMAT. Nº 943, octubre, 2000. Ed. CIEMAT. Madrid. pág. 38.

DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier et al (1998): "Sistemas de Información Geográfica, energía y medio ambiente: aplicación en el CIEMAT", en Tecnología Geográfica para el siglo XXI. Grupo de Métodos Cuantitativos, AGE. Barcelona, pág. 264-273.

DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier et al. (1996): "Wind Resources Assessment and Wind Farm Site Selection using Geographic Information Systems". 1996 European Union Wind Energy Conference. págs. 568 a 570. Göteborg, Suecia.

DOMÍNGUEZ BRAVO, Javier y Julio AMADOR (2000): "Integrating Renewable Energies into Local Level. Influence of the Socio-Economical and Technical Parameters in the Spatial Distribution of Decentralised Electricity Production", en 3rd AGILE Conference on Geographic Information Science. Helsinki/Espoo, Finland, May 25th - 27th, 2000. Págs. 60 - 61.

DOMINGUEZ BRAVO, Javier y M^a Jesús MARCOS (2000) : "GIS applied to evaluate Biomass power in Andalucía (Spain)" [en línea].

Cybergeo. European Journal of Geography. Nº 142. ISSN. 1278-3366.

(15/11/2000; 14 p.)

<http://www.cybergeo.presse.fr/paysenvi/doming/biomasa.htm>

DOZO, S. (1985): *Geografía de la energía*. Buenos Aires, SENOC, 254 págs.

ECO, Umberto (1989): *Como se hace una tesis. Técnicas y procedimientos de investigación, estudio y escritura*. Ed. Gedisa, México, 267 págs.

ECOTEC (1994): *The impact of large-scale research and development (R&D) investment on renewable energy in the EU*. The European Parliament, Directorate General for Research. Bruselas.

ELLIOT, D. et al. (1999): "Wind Resource Mapping of the State of Vermont", en Windpower'99, Burlington, Vermont, EEUU.

ELSER, M. (1996). "Economical considerations for renewable energy technologies". Fifth international summer school, Solar energy, proceedings, julio – agosto, 96. Universität Klagenfurt. Klagenfurt (Austria).

Energía, "Normalización. Terminología". Madrid, Especial Energía Eólica 2000, págs. 111-119.

Energías Renovables, “Energías Eólicas Europeas, un monumento al viento. nº9, julio-agosto 2002, págs. 18-21.

ESCUADERO, J. (1998). “Escenarios energéticos mundiales”. Energía, nº 4, julio/agosto 1998, Alcion S.A. Madrid.

ESDP. European Spatial Development Perspective. Towards Balanced and Sustainable Development of the Territory of the European Union. Comisión Europea, Luxemburgo, 1999. 87 pág.

ESRI (1991): *Cell-based Modeling with GRID?* . Ed. ESRI, Redlands, EEUU.

EUREC AGENCY (1996). *The Future for Renewable Energy, Prospects and Directions.* James & James Ltd. Londres.

European Energy to 2020. A scenario approach [en línea]. Dirección General de Energía (DG XVII). Comisión Europea. Editor: Christos Papoutsis. http://europa.eu.int/comm/energy/en/etf_2_en.html
249 Kb. Pdf. [Consulta: 27 de marzo de 2001]

EYRAS, J.R. (1996): *Estandarización de sistemas fotovoltaicos autónomos.* Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

FABRA UTRAY, Jorge. “Esto es un disparate” [en línea]. El país digital. 17 de abril de 2001. [Consulta: 17 de abril de 2001].

FEDERANE (coord.) (1996): *A geographical information system for large scale integration of renewable energies into regional energy*

markets. Second Interim Report – January, 1996. Contract RENA-CT94-0051. Comisión de las Comunidades Europeas, DG XII-APAS. Bruselas.

FERRÁNDEZ, A., J. SARRAMONA y L. TARÍN (1998): *Tecnología didáctica*. Grupo Editorial CEAC, S. A. , Barcelona, 350 págs.

FORATOM (1997): *El cambio climático, el desarrollo sostenible y la energía nuclear*. Foro de la Industria Nuclear Española. Madrid.

FORO NUCLEAR (1998): “Conclusiones y recomendaciones del Congreso del Consejo Mundial de la Energía”. Foro Nuclear, 1/XI/1989, nº 391, Foro de la Industria Nuclear Española, Madrid.

FORO NUCLEAR (2001): *Energía 2001*. Foro de la Industria Nuclear Española, Madrid, 269 pp.

FOX, D. (1981): *El proceso de investigación en educación*. ENUSA, Pamplona.

GALLEGO, A. (1987): *Ser doctor. Como redactar una tesis doctoral*. FUE, Madrid.

GARCÍA CASALS, Xavier (1995): *Las Energías Renovables: su papel en la Cooperación y en la elaboración de un Modelo de Desarrollo Sostenible*. ICAI, Ingenieros Sin Fronteras, Madrid, 1995. (Documento interno).

GARCIA, J.M. y J. IRANZO (1989). *La energía en la economía mundial y en España*. AC, Madrid.

GARCÍA-VERDUGO, J. (1999): "Geopolítica de la energía en el Mediterráneo", Meridiano CERJ, 1999, agosto, nº 28, págs. 9-14.

GARRIDO, A. et al. (1994): "Aplicaciones de los sistemas de información geográfica para la implantación de energías renovables en entornos urbanos", Mapping, nº 19, Madrid. págs. 76-81.

GEORGE, P. (1952): *Geografía de la energía*. Barcelona, Omega, 424 págs.

GIL, V. (1988). "Mathematical models", en AAVV, Regional energy planning in the European communities. Actas. Comisión de Comunidades Europeas. CIEMAT. Madrid.

Global Scenarios 1995 - 2020 [en línea]. Royal Dutch/Shell Group.
<http://www.shell.com/library/publication/1,5833,,00.html?type=publication&siteid=1160&article=51232&archive=1&year=1995&moduleid=1136> size 444 Kb in pdf format. [Consulta: 23 de marzo de 2001]

Global Scenarios 1998 - 2020 [en línea]. Royal Dutch/Shell Group.
<http://www.shell.com/library/publication/1,5833,,00.html?type=publication&siteid=1160&article=51234&archive=1&year=1998&moduleid=1136> size 826 Kb in pdf format. [Consulta: 23 de marzo de 2001]

GÓMEZ ESPÍN, J.M. (1998): "Primer parque de energía eólica de la región de Murcia", Papeles de Geografía, 28, 1998, págs. 171-172.

GÓMEZ OREA, Domingo (1992): *Planificación y gestión ambiental*. CEPADE. UPM. Madrid.

GONZÁLEZ PAZ, J. (1983). "Planificación energética versus planificación territorial", en Estudios Territoriales, nº 9, pág. 113 -133. MOPU. Madrid.

GORDON, B. (2001): "Wind, energy, landscape: reconciling nature and technology", Philosophy and Geography, vol. 4, nº 2, agosto, 2001, págs. 169-184.

GRAHAM, R.L., B.C. ENGLISH y CH.E. NOON (2000): "A Geographic Information System-based modelling system for evaluating the cost delivered energy crop feedstock", Biomass and Bioenergy, Vol. 18, págs. 309-329. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

GURGUÍ, A. y J. ALARIO (1983). "Bases para una política de ordenación territorial con ahorro de energía", Estudios Territoriales, nº 9, pág. 135 -159. MOPU. Madrid.

HIDENBRAND SCHEID, Andreas (1996): *Política de ordenación del territorio en Europa*. Consejería de Obras Públicas y Transportes, Sevilla. 541 p.

HILGER, A. (1988). *Applications of photovoltaic*. R. Hill. Newcastle.

HILLRING, B. y R. KRIEG (1998): “Wind energy potential in Southern Sweden-Example of planning methodology”, Renewable Energy, Vol. 13, nº 4, págs. 471-479. Elsevier Science, Ltd. Reino Unido.

IBERINCO (1998): *Oportunidades para la producción de energía a partir de biomasa en La Rioja (España) y La Toscana (Italia)*. ALTENER pilot projects 1998 – contract nº XVII/4, 1030/Z/98-214. Págs. 14.

IDAE (1996): *Energía solar fotovoltaica*. Ministerio de Industria, comercio y turismo, Madrid.

IDAE (1999): *Plan de Fomento de las Energías Renovables en España*. IDAE, Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, 271 págs.

IDAE (2000a): *Eficiencia energética y empleo. El impacto sobre el empleo de las actuaciones en eficiencia energética en España y la Unión Europea*. IDAE. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, págs. 95.

IDAE (2000b): *Impactos ambientales de la Producción Eléctrica. Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica*. IDAE. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, págs. 80.

IDAE (2001): *Boletín IDAE: eficiencia energética y energías renovables (nº3)*. IDAE. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, págs. 135.

IDAE (2002): *Boletín IDAE: eficiencia energética y energías renovables (nº4)*. IDAE. Ministerio de Ciencia y Tecnología, Madrid, págs. 171.

IEA (1997). IEA / OECD *Electricity Statistics*. International Energy Agency. París.

IEA (1998a): *Benign Energy? The Environmental Implications of Renewables* [En línea] <http://www.iea.org/pubs/studies/files/benign/index.htm> [Consulta: 23 de julio de 2001].

IEA (1998b). *Key Issues in Developing Renewables*. International Energy Agency. París.

JARABO FRIEDERICH, Francisco et al. (1988): *El Libro de las Energías Renovables*. Ed. SAPT, Madrid, 261 págs.

JOHANSSON, T. et al. (1993): *Renewable energy, sources for fuels and electricity*. Island Press. Washington.

JUNTA DE ANDALUCÍA (1990): *Especificaciones técnicas de diseño y montaje de instalaciones solares para producción de agua caliente*. Junta de Andalucía. Sevilla.

KRISTOFERSON, L.A. y V. BOKALDERS (1991): *Renewable energy technologies*. Intermediate technology. Londres.

LAGO, Carmen (1995): “Aspectos medioambientales”, en Principios de Conversión de la Energía Eólica. Ed. CIEMAT, Madrid.

LAGO, Carmen, A. PRADES, E. SORIA y A. DIAZ (1993): “Study of environmental aspects of the wind parks in Spain”. European Community Wind Energy Conference, Ed. H. S. Stephens & Associates, págs. 6-9.

LERAT, S. (1978): *Géographie de l'électricité*. Paris, Doin, 282 págs.

LEVICK, R. (2001): “Dispuestos a pagar más por las energías ecológicas”. Era Solar, Madrid, nº 101, pág. 64.

Ley 54/1997, de 27 de noviembre, del Sector Eléctrico. BOE nº 258, 28/11/97.

LÓPEZ BERMÚDEZ, F. Et al (1986): *Geografía de la Región de la Región de Murcia*. KRETÉS Editora, S.A., Barcelona, 283 págs.

LORENZO Eduardo (1997): “Photovoltaic Rural Electrification”, 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Barcelona, 30 junio-4 julio. Ed. WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

LORENZO Eduardo et al. (1997): “Universal technical standards for solar home systems”. 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Volumen I. Barcelona, 30 junio-4 julio. Ed. WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

LORENZO, Eduardo (1994): *Electricidad solar fotovoltaica*. Progensa, Sevilla.

LUNDSAGER, P. (1996): "Integration of renewable energy into local and regional power supply", WREC, 1996. pág. 117-122.

LLOBET, Salvador (1958): "La energía eléctrica en España", Estudios Geográficos, nº 71, Madrid, pág. 221 – 240.

MAHMMUD, F. et al (1996): "A GIS tool for the economic assessment of renewable technologies", European Wind Energy Association Conference and Exhibition, 1996, Exeter (UK), 25-27 de septiembre, pág. 191-196. Mechanical Engineering Publications Ltd. . Bury St Edmunds (UK).

MANNERS, G. (1971): *The geography of energy*. Londres, Hutchinson, 222 págs.

MARDONES, I. (2002). "España construye las mayores centrales de energía del mundo alimentadas por el Sol", El país. 4 de agosto de 2002.

MARNAY, CH. et al. (1997): *Estimating the Environmental and economic effects of widespread residential PV adoption using GIS and NEMS*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, EEUU. Report, LBNL-41030; UC-1321, págs. 23.

MARTÍNEZ-ASENJO, Beatriz y Andrew U. FRANK (2001): "The Transformation of NMAs from Government Departments to Independent Organisations: An Economic Overview" en GI in Europe: Integrative, Interoperable, Interactive. Proceedings of 4th AGILE Conference on

Geographic Information Science. Brno, Czech Republic. April 19th - 21st, 2001. pág. 509 - 522.

MATTHIES, H. (1993): *Study of offshore wind energy in the EC*. Informe CEC JOULE Contract JOUR-0072, Germanicher Lloyd, Hamburgo.

MATTHIES, H. et al. (1994): "An assessment of the offshore wind potential in the EC". EWEC'94, Grecia. Págs. 111-115.

MAYER, D. et al (1998): "Sustainable development of areas: decentralized electrification", Applied Solar Energy, Vol. 34, No. 3, 1998, pág. 10-18. Allerton Press Inc. WIP y H. S. Stephens & Associates. Danvers, MA, EEUU.

MENÉNDEZ PÉREZ, Emilio (1996): "El reto de las energías renovables. Una cuestión ambiental y social", en CIEMAT: Curso de producción de electricidad con energías renovables. Madrid.

MENÉNDEZ PÉREZ, Emilio (2001): *Energías renovables, sustentabilidad y creación de empleo*. Ed. Catarata, Madrid. 270 págs.

MITCHELL, C.P. (2000): "Development of decision support systems for bioenergy applications", Biomass and Bioenergy, Vol. 18, págs. 265-278. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

MOLINA IBÁÑEZ, Mercedes (1980): *La producción de energía eléctrica en Aragón*. Inst. Fernando el Católico, Zaragoza, 188 págs.

MOLINA IBÁÑEZ, Mercedes (1989): *Fuentes de Energía y materias primas minerales en España*. Ed. Síntesis, Madrid, 136 págs.

MOLINA IBÁÑEZ, Mercedes y Elena CHICHARRO (1990): *Fuentes de Energía y materias primas*. Ed. Síntesis, Madrid, 136 págs.

MONTEIRO, C. et al (1997): "Probabilities and fuzzy sets in the market evaluation of renewable energies: the SOLARGIS experience", PMAPS'97: Probabilistic methods applied to power systems. GUTWIN, T.B. (ed.), International Conference on probabilistic methods applied to power systems, Vancouver (Canada), 21-25 sep. 1997, págs. 294-254 (600 p.).

MONTEIRO, C. et al (1998): "Evaluation of electrification alternatives in developing countries - the Solargis too" I, MELECON'98, 9th Mediterranean Electrotechnical Conference, IEEE, 1998, 2 vo. pág. 1037-1041. IEEE. New York.

MONTERO, M. (1991). "Sociedades rurales e innovación tecnológica: Reflexiones preliminares". Política y Sociedad, nº 9, 1991 Universidad Complutense de Madrid. Madrid.

MOODY-STUART, M. (1998). "Los suministros de energía en el siglo XXI". Ingeniería Química, septiembre 1998, Alcion S.A. Madrid.

MUSELLI, M. et al. (1997): "A geographical information system for the integration of stand-alone PV systems in remote areas". En 14th.

European Photovoltaic Solar Energy conference, Barcelona. Págs. 2589-2592. Editado por WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

MUSELLI, M. et al. (1999): "Computer-aided analysis of the integration of renewable-energy systems in remote areas using a geographical-information system", Applied Energy, 1999, 63(3), págs. 141-160. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

MUSELLI, M.A. (1997): *Électrification de sites isolés. Dimensionnement de systèmes hybrides à sources renouvelables d'énergie*. Tesis doctoral. Université de Corse Pascal Paoli, Córcega (Francia).

NAVARRO, J. et al. (2000): "Wind Resources Map of the Madrid Region (Spain)". En Wind Power for the 21st Century. EWEC. 2000. Kassel. Alemania.

NEIRAC, F. et al. (1997): "SOLARGIS project: Integration of renewable energies for decentralised electricity production in regions of EU and developing countries". En 14th. European Photovoltaic Solar Energy conference, Barcelona. Págs. 458-451. Editado por: WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

NOON, CH. y M.J. DALY (1996): "GIS-based biomass resource assessment whit BRAVO", Biomass and Bioenergy, Vol. 10, nº 2-3, págs. 101-109. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

PARDO, M. (2001): "Energía y sociedad: la transición energética hacia las energías renovables", Sistema. Revista de Ciencias Sociales, 2001, junio, nº 162-163, págs. 173-188.

PARDO ABAD, Carlos (1993): *Las fuentes de energía*. Síntesis, Madrid, 255 págs.

PAUNERO AMIGO, X. (1998): "Planeamiento postproductivo y alternativas de desarrollo rural en América Latina. Políticas de microcuencas, protección medioambiental y aprovechamientos hídricos. La cuenca del río Potiribu, en la región noroeste del estado de Río Grande do Sul, Brasil", IX Coloquio de Geografía Rural, Vitoria, 1998, págs. 165-172.

PETIT, C. (1995): "Winds of change. GIS helps site wind farms in France". GIS Europe, Julio 1995. Godmanchester (Huntingdon): GeoTec Media. Págs. XVII-XVIII.

PHILLIPS, E.M. y D.S. PUGH (2001): *Como obtener un doctorado. Manual para estudiantes y tutores*. Gedisa, Barcelona.

PRADES, Ana (1997): *Energía, tecnología y sociedad*. Ed. de la Torre, Madrid, 231 págs.

PRADES, Ana y Carmen LAGO (2001): *Aspectos medioambientales y percepción social de la energía eólica*. Conferencia en la Universidad de Córdoba.

Principios Directores para el Desarrollo Territorial Sostenible del Continente Europeo. Conferencia Europea de Ministros responsables de ordenación del territorio (CEMAT). Hannover, 7 y 8 septiembre 2000. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 42 p.

RAHMANI, M. et al. (1999): "Optimal locations for biomass conversion facilities in Florida: Geographic Information System application". En Biomass. A growth Opportunity in green energy and value-added products. OVEREND, R.P. y E. CHORNET eds. Proceedings of the Fourth Biomass Conference of the Americas. Elsevier Science, Kidlington. 1999. 91-97 pág.

RAMÍREZ, Lourdes (2000): *Radiación solar a partir de imágenes de satélite. Aplicación al dimensionado de instalaciones solares de fotocátalisis*. Ed. CIEMAT, Madrid, 264 pág.

RAMÍREZ, Lourdes et al. (1999): *Evaluación de los recursos de energías renovables en la Región de Murcia*. CIEMAT, Madrid, 180 págs.

RAMÍREZ, Lourdes et al. (2000): *Addressing Social & Institutional Barriers for Wind Energy Installations*. CIEMAT, Madrid, 118 págs.

RD 1663/2000, de 29 de septiembre, sobre conexión de instalaciones fotovoltaicas a la red de baja tensión. BOE, 30/9/00.

RD 1995/2000, de 1 de diciembre, por el que se regulan las actividades de transporte, distribución, comercialización, suministro y

procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica. BOE, 27/12/00.

RD 2366/1994, de 9 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones hidráulicas de cogeneración, y otras abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables. BOE núm. 313, 31/12/94.

RD 2818/1998, de 23 de diciembre, sobre producción de energía eléctrica por instalaciones abastecidas por recursos o fuentes de energías renovables, residuos y cogeneración. BOE núm. 312, 30/12/98, 44077-44090.

RDL 6/2000, de 23 de junio, de medidas urgentes de intensificación de la competencia en mercados de bienes y servicios. BOE núm, 151, 24/6/2000.

REE (1998): *Proyecto INDEL. Atlas de la demanda eléctrica española.* REE, Madrid, 169 págs.

Report on community policies and spatial planning (working document of the Commission services). [en línea]. Dirección General de Política Regional. Comisión Europea. 1998.
http://www.inforegio.cec.eu.int/wbdoc/docoffic/official/reports/sdec4_en.htm
[m](#) 160 Kb. Pdf. [Consulta: 16 de enero de 2002]

RIALHE, A. (1996): “Epure project : Economical potential use of renewable energy”, en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR, Florencia.

ROMERO, M., M.J. MARCOS, J. DOMÍNGUEZ et al. (2002): *Central Eléctrica Mixta Solar-Biomasa*. CIEMAT, Madrid, 187 págs.

ROZAKIS, S. et al. (1997): “Evaluation of an integrated renewable energy system for electricity generation in rural area”, Energy Policy, Vol. 25, nº 3, pág. 337-347, 1997. Elsevier Science Ltd. UK.

RUBIA, Carlo (2001): *El futuro de la energía*. Conferencia impartida en el CIEMAT, Madrid, 23/11/2001.

RENSEN, B. y P. MEIBOM (1999): “GIS tools for renewable energy modelling”, en Renewable Energy, Vol. 16, pág. 1262-1267. Pergamon Press. Londres.

SÁEZ, Rosa et al. (1999): *Costes y beneficios externos de la energía. Metodologías, resultados e influencia sobre la competitividad de las energías renovables*. Informes Técnicos CIEMAT, nº 849. CIEMAT, Madrid, 34 pág.

SÁEZ, Rosa (1995): “Externalidades de energías renovables”, en Curso de producción de electricidad con energías renovables. Madrid, 25 págs.

SAIZ, A. (1988). "Operation research and energy planning", en AAVV, Regional energy planning in the European communities. Actas. Comisión de Comunidades Europeas. CIEMAT. Madrid.

SÁNCHEZ SUDÓN, Fernando et al. (1999): *Estudio de Prospectiva sobre Energías Renovables*. CIEMAT-OPTI. Madrid, mayo de 1999. 302 págs.

SANTISIRISOMBOON, J. et al. (2001): "Impacts of Biomass power generation and CO₂ taxation on electricity generation expansion planning and environmental emissions". Energy Policy, nº 29, págs. 975-985. Elsevier Science Ltd. R.U.

SÁNZ ANGULO, Lucio y Javier DOMÍNGUEZ BRAVO (1995): "Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica a la Planificación de Impactos Ambientales en Líneas Aéreas de Alta Tensión" en Actas del IV Congreso Español de Sistemas de Información Geográfica . 2ª ed. AESIG. Barcelona, septiembre de 1995. págs. 243 a 251.

SÁNZ GARCÍA, J.M. (1972): "Desequilibrio en la geografía energética española: escasez en las fuentes de producción y auge en el mercado de consumo", Geographica, nº4, octubre-diciembre, 1972.

Shell Report 2000 - How do we stand? [en línea]. <http://www.shell.com/shellreport-en/0,6268,,00.html> size 13.660 kb in pdf format [Consulta: 22 de marzo de 2001].

SIERRA, R. (1996): *Tesis doctorales y trabajos de investigación científica*. Paraninfo, Madrid.

SOLARGIS TEAM (1994): *First Progress Report*. June-November, 1994.

SOLARGIS TEAM (1996): *Solargis handbook*. Comisión Europea. Dirección General XII. Bruselas.

STÖHR, M. (1996): "PV for the world's villages", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR, Florencia.

SUHARTA, Herliyani et al. (1999): "The social acceptability of solar cooking in Indonesia". Renewable energy, nº 16, págs. 1151-1154.

TASTIS, A. et al. (1996): "The integration of renewable energy into Europe's energy supply infrastructure", en Renewable Energy Development European Conference and APAS-RENA Contractors Meeting. EDIFIR. Florencia.

TWIDELL, J. y T. WEIR (1985): *Renewable energy resources*. SPON. 439 págs.

UNESA (1996): *El sector eléctrico español y el medio ambiente*. Unesa, Madrid, 105 pág.

UNESA (1998): *Centrales Eléctricas*. Unesa, Madrid, 71 pág.

UNESA (2001): *Memoria Estadística Eléctrica 2000*. Unesa, Madrid, 159 pág.

UPM (1999): *Curso de técnico en instalaciones fotovoltaicas y eólicas*. EUITI, UPM, Madrid.

URBINA, V. (1983): *Influencia de las fuentes alternativas de energía en la ordenación del territorio de la comarca de Sanabria, Zamora*. Tesis doctoral. ETSIA, Universidad Politécnica de Madrid.

URIBE, B. (1998): "Sistemas económico y energético y amenaza de cambio climático", Cuadernos de ciencias económicas y empresariales, 1998, enero-junio, págs. 55-72.

VALLVÈ, X. y J. SERRASOLSES (1997): "PV stand alone competing successfully with grid extension in rural electrification: A success story in southern Europe", 14th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Volumen I. Barcelona, 30 junio-4 julio. Editado por WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

VANDENBERGH, M. et al. (1997): "Integration of renewable energies for rural electrification in a Tunisian region". En 14th. European Photovoltaic Solar Energy conference, Barcelona. Págs. 2530-2533. Editado por WIP y H. S. Stephens & Associates. Munich.

VANDERBERGH, M. (1997): *Energie solaire et production d'électricité. Un outil d'analyse technologique, économique et géographique du potentiel des filières photovoltaïques et*

thermiques. Tesis doctoral. Ecole nationale superieure des mines de Paris. Paris, 1997.

VARELA, Manuel (1999): *El mercado eólico español. Balance y perspectivas*. CIEMAT, Madrid, 30 págs.

VARELA, Manuel et al. (2001): "Large-scale economic integration of electricity from short-rotation woody crops", Solar Energy, Vol. 70, Nº 2, págs. 95-107. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

Vocabulario Científico y Técnico, Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1983. 503 págs.

VOIVONTAS, D. et al. (1998): "Evaluation of renewable energy potential using a GIS decision support system", Renewable Energy, Vol. 13, nº 3, pág. 333-344. Pergamon Press. Londres.

VOIVONTAS, D. et al. (2001): "Assessment of biomass potential for power production: a GIS based method", Biomass and Bioenergy, Vol. 20, págs. 101-112. Elsevier Science Ltd. Reino Unido.

WEC (1995): *Energy Demand, Life Style Changes & Technology Development*. World Energy Council, Londres, UK. 1995.

WEC (2001a) *Energy for Tomorrow's World - Acting Now!* [en línea]. World Energy Council 1999-2001. London, UK.
<http://212.125.77.15/wec->

geis/etwan/open.plx?file=etwan/annex_2_chap1.htm, size 19.5K

[Consulta: 19 de febrero de 2001].

WEC (2001b) *Global Energy Scenarios to 2050 and Beyond* [en línea] [http://212.125.77.15/wec-](http://212.125.77.15/wec-geis/members_only/registered/open.plx?file=edc/default/scenario.htm)

[geis/members_only/registered/open.plx?file=edc/default/scenario.htm](http://212.125.77.15/wec-geis/members_only/registered/open.plx?file=edc/default/scenario.htm),

size 32.5K [Consulta: 20 de febrero de 2001]

WENDELL, L.L. et al. (1993): "Applicability of digital terrain analyses to wind energy prospecting and siting", *Windpower*, 93 Conference, Julio 12-16, 1993. DOE, OSTI (Office of Scientific and Technical Information), San Francisco, EEUU.

World Energy Outlook 2000 Edition. IEA/OECD Paris, 2000.

ZEGERS P. (2001): *The role of fuel cells in a sustainable energy supply*. European Commission, DG RTD. Transparencias en formato ppt de la conferencia impartida el 22/6/2001 en el CIEMAT. 40 pág.

ANEXO A: Acrónimos

ACS	Agua Caliente Sanitaria
AEBIOM	Asociación Europea para la Biomasa
AEIF	Asociación Europea de la Industria Fotovoltaica
AIE	Agencia Internacional de la Energía (ver IEA)
APPA	Asociación de Pequeños Productores y Autogeneradores
ASENSA	Asociación Nacional de la Energía Solar y Alternativas
ASIF	Asociación de la Industria Fotovoltaica
AT	Alta Tensión
ATYCA	Iniciativa de Apoyo a la Tecnología, la Seguridad y la Calidad Industrial
BAU	<i>Business as Usual</i> . Escenario energético basado en el mercado sin intervención del Estado
BCN	Base Cartográfica Nacional
BOE	Boletín Oficial del Estado
BOJA	Boletín Oficial de la Junta de Andalucía
BRAVO	Biomass Resource Assessment Version One
BT	Baja tensión

BUC	Biblioteca de la Universidad Complutense
CDTI	Centro para el Desarrollo Técnico Industrial
CE	Comisión Europea
CENER	Centro Nacional de Energías Renovables
CENTER	Centro de Nuevas Tecnologías Energéticas
CEYDE	Centro de Documentación Europea (UPM)
CH	Central Hidroeléctrica
CIEMAT	Centro de Investigaciones Energéticas, Tecnológicas y Medioambientales (Ministerio de Ciencia y Tecnología)
CINDOC	Centro de Información y Documentación Científica (CSIC)
CNSE	Comisión Nacional del Sistema Eléctrico
COM	Comunicación de la Comisión Europea
COV	Compuestos Orgánicos Volátiles
CSIC	Consejo Superior de Investigaciones Científicas
CT	Centro de Transformación
CTC	Costes de Transición a la Competencia

DCS	Sistema de Colectores Distribuidos
DOCE	Diario Oficial de la Comunidad Europea
DOE	Department of Energy (EEUU)
DSS	Decision Suport System. Sistema de ayuda para la toma de decisiones
ESDP	European Spatial Development Perspective (Ver ETE)
ESFV	Energía Solar Fotovoltaica
ESRI	Environmental Systems Research Institute
EVE	Ente Vasco de la energía
ETE	Estrategia Territorial Europea
EWEA	European Wind Energy Agency
FACE	Fondos de Amortización a los Costes de Electrificación
FAD	Fondos de Ayuda al Desarrollo
FEDER	Fondo Europeo para el Desarrollo Regional
FEDERANE	Federación Europea de Agencias Regionales de la energía y el medioambiente
FEOGA	Fondo Europeo de Orientación y Garantía Agraria

FER	Fuentes de Energía Renovables (En inglés, RES)
FSE	Fondo Social Europeo
FV	Fotovoltaica (También se utiliza PV)
ICC	Institut Cartographic de Catalunya
ICAEN	Instituto Catalán de la Energía
IDAE	Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía
IEA	International Energy Agency
IER	Instituto de Energías Renovables (en la actualidad DER-CIEMAT)
IES	Instituto de Energía Solar (UPM)
ITER	Instituto Tecnológico y de Energías Renovables (Cabildo Insular de Tenerife)
LEC	Levelized Electric Cost (Coste equivalente de electrificación o Coste Global de Producción)
MDE	Modelo digital de elevaciones
MDT	Modelo digital del terreno (Véase MDE)
MT	Media Tensión
NIMBY	Not In My Back-Yard

OCDE	Organización para la Cooperación y el Desarrollo
OCYT	Oficina de Ciencia y Tecnología
OPTI	Observatorio de Prospectiva Tecnológica Industrial
PAC	Política Agraria Común
PAEE	Plan de Ahorro y Eficiencia Energética
PASCER	Programa de Ahorro, Sustitución y Energía Renovable (Junta de Castilla y León)
PCI	Poder Calorífico Inferior
PDR	Plan de Desarrollo Regional
PERCAN	Plan de Energías Renovables de Canarias
PIB	Producto Interior Bruto
PITER	Programa de Innovación Tecnológica de Energías Renovables
PITMA	Plan de Innovación Tecnológica Medioambiental
PM	Programa Marco
PROCASOL	Programa de Promoción de las Instalaciones Solares de Canarias
PROSOL	Programa de Promoción Solar de Andalucía

PV	Photovoltaic (Véase FV)
PVD	Países en Vías de Desarrollo
RD	Real Decreto
REE	Red Eléctrica Española
REGIS	Renewable Energy Geographical Information System
RES	Renewable Energy Sources (ver FER)
RIS?	Vease WasP.
RITE	Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios
RSU	Residuos Sólidos Urbanos
SAVE	Specific Action for Vigorous Energy Efficiency
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIGALE	Sistema de Información Geográfica y Análisis Medioambiental (Francia)
TEIDE	Programa Tecnológico de Investigación y Desarrollo Energéticos
TERES	The European Renewable Energy Study
TEN	Transeuropean Energy Network

TIR	Tasa Interna de Retorno
UE	Unión Europea
UNESA	Unidad Eléctrica, S.A.
UPM	Universidad Politécnica de Madrid
VALOREN	Valorización de Recursos Endógenos
WAsP	Wind Analysis and Application Program. Desarrollado por RIS? (Dinamarca).
WEC	World Energy Council (Consejo Internacional de la Energía)
WEO	World Energy Outlook (Proyecciones de la IEA)

ANEXO B: Definiciones y conceptos

Alta Tensión	Nivel de tensión, entre 66 y 440 ³²⁷ kV., son las destinadas, correspondiente a las líneas eléctricas utilizadas para el transporte de energía.
Baja tensión	Nivel de tensión, de menos de 1 kV, correspondiente a las líneas eléctricas de distribución en BT e interiores.
Centro Transformación	Lugar donde se alojan los transformadores necesarios para pasar la energía eléctrica de media a baja tensión.
Eficiencia energética	Véase rendimiento.
Energía	Capacidad de realizar un trabajo. Es el producto de la potencia (J) por unidad de tiempo. La energía se puede presentar en forma mecánica (potencial y cinética), térmica, química, eléctrica, electromagnética y nuclear.
- mecánica	Conjunto de la energía cinética y potencial de un cuerpo.

³²⁷ Esta es la mayor tensión de red instalada en nuestro país.

- **eléctrica** energía asociada a un flujo de cargas eléctricas o a su acumulación.
- **electromagnética** energía asociada a la propagación de la radiación electromagnética.
- **química** resultado de la interacción de electrones de dos o más átomos, que se combinan para producir compuestos químicos más estables.
- **nuclear** energía que se desprende las reacciones entre núcleos o partículas atómicas.
- **primaria** energía conseguida por la utilización directa de los recursos suministrados por la naturaleza. (Molina, 80:13).
- **secundaria** energía primaria transformada. (Molina, 80:13).
- **térmica,** energía producida por el movimiento de los átomos o moléculas constituyentes de la materia.
- **útil** “Energía de que dispone el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios aparatos”. Energía (2000) Normalización. Terminología.

Entalpía	“Magnitud termodinámica utilizada para calcular la energía de un sistema, que ha sido modificada a consecución de un proceso o de una reacción. Es igual a la suma de la energía interna más el producto del volumen por la presión externa. $H = U + pV$ ”. Energía (2000) Normalización. Terminología.
Intensidad energética	Demanda de energía primaria por unidad de PIB real.
Media tensión	Nivel de tensión, entre 1 y 66 kV., utilizado para las líneas de distribución eléctrica.
Potencia	Relación entre el trabajo y el tiempo. La unidad es el vatio (W). $W = J/s$
Rendimiento o eficiencia	“Relación entre la cantidad de energía útil a la salida de un sistema y la cantidad de energía suministrada a la entrada”. Energía (2000) Normalización. Terminología.
Tensión	Diferencia de potencial eléctrico entre dos bornes necesaria para que circule una corriente eléctrica.

Trabajo

Producto de la fuerza por el espacio recorrido por el cuerpo en su desplazamiento. Su unidad es el julio (J).

ANEXO C: Unidades de medida

Tabla C-0-1: Múltiplos y submúltiplos del sistema internacional de unidades

FACTOR	PREFIJO	SIMBOLO
10^{18}	exa	E
10^{15}	peta	P
10^{12}	tera	T
10^9	giga	G
10^6	mega	M
10^3	kilo	k
10^2	hecto	h
10^1	deca	da
10^{-1}	deci	d
10^{-2}	centi	c
10^{-3}	mili	m
10^{-6}	micro	?
10^{-9}	nano	n
10^{-12}	pico	p
10^{-15}	femto	f
10^{-18}	atto	a

Tabla C-0-2: Unidades de energía

Unidad	Equivalencia	Observaciones
Julio (J)	$2,778 \times 10^{-7}$ kWh $2,389 \times 10^{-4}$ kcal	Unidad del Sistema Internacional
kilocaloría (kcal)	$1,16 \times 10^{-3}$ kWh 4186,8J	Cantidad de calor. Se suele usar la kcal en lugar de la caloría.
kilovatio hora (kWh)	$3,6 \cdot 10^6$ J	Energía eléctrica
Termia	1000kcal 1,163 kWh	Unidad habitual en el gas natural
Toneladas equivalentes de petróleo (TEP)	10^7 kcal	Utilizada en los balances de la AIE
Toneladas equivalentes de carbón (TEC)	$7 \cdot 10^6$ kcal 0,7 tep	
British thermal unit (Btu)	1,0558kJ	Unidad anglosajona
Barriles de petróleo (bbl)	0,146TEP 158,98 l	
Metro cúbico (m ³)	$10^3 \text{ m}^3 = 0,9\text{TEP}$	Gas natural

Tabla C-0-3: Unidades de potencia

Unidad	Equivalencia	Observaciones
kilovatio (kW)	10 ³ J/s 860 kcal/h	Se suelen utilizar también el vatio térmico (W _t), pico (W _p) y eléctrico (W _e).
Kilocaloría/hora (kcal/h)	1,16 W	

Tabla C-0-4: Otras unidades

Magnitud	Unidad	Símbolo
Trabajo	Julio	J
Tensión eléctrica	Voltio	V
Intensidad eléctrica	Amperio	A
Resistencia eléctrica	Ohmio	?

Tabla C-0-5: Factores de conversión

Energía	Factor
Energía final	0,086 tep/MWh
Energía primaria s/origen:	
- Hidráulico	0,086
- Eólico	0,086
- Fotovoltaico	0,086
- Biomasa	0,378
- Biogás	0,275
- RSU	0,346
- Solar termoeléctrico	0,393
Producción por m2 de colector solar plano	0,0675 tep/año

Fuente: IDAE, 1999.

Tabla C-0-6: Horas medias equivalentes de funcionamiento al año para generación eléctrica.

Generación eléctrica	h/a
Centrales hidroeléctricas < 10 MW	3100
Centrales hidroeléctricas 10 - 50 MW	2000
Centrales hidroeléctricas > 50 MW	1850
Parques eólicos	2400
Instalaciones fotovoltaica	1700
Plantas de generación eléctrica con biomasa y RSU	7500
Plantas de generación eléctrica con biogás	7000

Fuente: IDAE, 1999.

Tabla C-0-7: Factores de emisiones de CO₂ considerados por el "Plan de Fomento de las Energías Renovables" para la generación de electricidad.

Generación eléctrica	t CO ₂ /GWh
Carbón nacional ³²⁸	977
Gas Natural en ciclo combinado ³²⁹	394
Generación con renovables:	
- Hidráulica	0
- Eólica	0
- Fotovoltaica	0
- Biomasa	Neutro
- Biogás	Neutro
- RSU ³³⁰	243
- Solar termoeléctrico	0

Fuente: IDAE, 1999.

³²⁸ Rendimiento de la central del 35,5%.

³²⁹ Rendimiento de la central del 51%.

³³⁰ Rendimiento de la central del 24,88%.

ANEXO D: Fuentes de información en internet

Organismos Web	Palabras claves/descripción
ASES - American Solar Energy Society Boulder http://www.ases.org/index.html	Energía solar, paneles fotovoltaicos, células fotoeléctricas, series de datos.
AWEA - American Wind Energy Association, Washington DC http://www.awea.org/	Energía eólica, túneles eólicos, tecnología, información técnica
Centre for Photovoltaic Devices and Systems http://www.pv.unsw.edu.au	Producción de energía, energía solar, células fotovoltaicas
CIEMAT - Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas. España http://www.ciemat.es/index.html PSA – Plataforma Solar de Almería http://www.psa.es/	Energía, energías renovables, tecnología nuclear, energía nuclear, base de datos, proyectos, servicios técnicos, instalaciones, formación
CNE - Comisión Nacional de Energía, España http://www.cne.es	Ente regulador de los sistemas energéticos en España
Comisión Europea (UE) http://www.europa.eu.int/ Comisión Europea. Medio Ambiente http://www.europa.eu.int/pol/env/index_es.htm	Información, Europa, Diario Oficial, documentos U.E., publicaciones Política medioambiental comunitaria, servicio de información, iniciativas legislativas, ayudas
Consejo Mundial de la Energía (WEC) http://www.worldenergy.org/wec-geis/	Información mundial, anuario, proyecciones
CORDIS http://www.cordis.lu/	Servicio de información, investigación y desarrollo, I+D de la UE, energía nuclear, Bases de datos y servicios web

<i>CREST -The Center for Renewable Energy and Sustainable Technology</i> http://www.crest.org/	<i>Energías renovables, información, enlaces, eficiencia energética, desarrollo sostenible</i>
<i>CSIC - Consejo Superior de Investigaciones Científicas, España</i> http://www.csic.es/	<i>Centro investigación, energía, energía nuclear, física nuclear</i>
<i>Department of Agriculture, Fisheries & Forestry - Australia</i> http://www.affa.gov.au/	<i>Servicio de información, producción energía, combustibles fósiles, recursos minerales, energías renovables,</i>
<i>Department of Energy, USA</i> http://www.energy.gov/	<i>Organismo estatal de energía</i>
<i>Department of Industry, Science and Resources-Australia</i> http://www.disr.gov.au/	<i>Servicio de información, energía, combustibles fósiles, recursos minerales, petróleo, gas natural, energías renovables, uranio, informe anual</i>
<i>EIS - Europe Information Service</i> http://www.eis.be/	<i>Servicio de información europeo</i>
<i>Energy research Centre of the Netherlands</i> http://www.ecn.nl/	<i>Energía nuclear, información pública, Combustibles fósiles, células de combustible</i>
<i>EREN - Energy Efficiency an Renewable Energy Network. US.DOE</i> http://www.eren.doe.gov/	<i>Energías renovables, información a la industria, transferencia de tecnología</i>
<i>FORATOM - European Atomic Energy Forum</i> http://www.foratom.org/	<i>Foro Internacional, energía nuclear, compañías, asociados, intercambio de información, divulgación, información</i>

<p><i>FORO NUCLEAR. Foro de la Industria Nuclear Española, España</i></p> <p><i>http://www.foronuclear.org/</i></p>	<p><i>Divulgación, información, cursos, centrales nucleares, socios, enlaces</i></p>
<p><i>IDAE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía</i></p> <p><i>http://www.idae.es/pages/default.asp</i></p>	<p><i>Investigación, energía, diversificación, seminarios, productos, programa PYMES</i></p>
<p><i>IEA – CR (International Energy Agency - Coal Research)</i></p> <p><i>http://www.iea-coal.org.uk/</i></p>	<p><i>Programas de demostración, servicios de información, bases de datos, energías renovables</i></p>
<p><i>IEA - International Energy Agency</i></p> <p><i>http://www.iea.org/</i></p> <p><i>IEA – HPC (International Energy Agency - Heat Pump Center)</i></p> <p><i>http://www.heatpumpcentre.org/</i></p>	<p><i>Energía, servicio de información, publicaciones, datos estadísticos, cambio climático, conservación de la energía, trabajos de fluidos, energía</i></p>
<p><i>IEA - SolarPACES (International Energy Agency, program for Solar Thermal Power and Chemical Energy Systems, Wilfried Grasse, Gifhorn-Winkel), Germany</i></p> <p><i>http://www.solarpaces.org/</i></p>	<p><i>Programas de demostración, energía solar, conversión de energía, sistemas de acumulación, bibliografía, equipamiento solar, financiación</i></p>
<p><i>IGA - International Geothermal Association, secretariat</i></p> <p><i>Institute of Geological and Nuclear Sciences, Wairakei Research Centre, Taupo, New Zealand</i></p> <p><i>http://www.demon.co.uk/geosci/igahome.html</i></p>	<p><i>Calor geotérmico, energía geotérmica, investigación, información por países</i></p>
<p><i>Instituto de Estadística de Andalucía</i></p> <p><i>http://www.iea.junta-andalucia.es/sima/</i></p>	<p><i>Información estadística regional, Andalucía, Censo agrario.</i></p>

<i>Investigating Wind Energy, The Franklin Institute Science Museum, USA http://sln.fi.edu/tfi/units/energy/windguide.html</i>	<i>Investigación, energía eólica, formación del viento</i>
<i>ISES - The International Solar Energy Society, Germany http://www.ises.org/</i>	<i>Energía solar, investigación, energías renovables, proyectos</i>
<i>Ministerio de Ciencia y Tecnología. España http://www.mcyt.es/</i>	<i>Organismo Estatal</i>
<i>Ministerio de Medio Ambiente, España http://www.mma.es/</i>	<i>Organismo Estatal</i>
<i>Naciones Unidas http://www.unfccc.de</i>	<i>Información sobre las Cumbres de Cambio Climático</i>

<i>Empresas Web</i>	<i>Palabras clave/descripción</i>
<i>CENSOLAR - Centro de Estudios de la Energía Solar, España</i> http://www.censolar.es/	<i>Energía solar, enseñanza y formación, cursos a distancia, difusión, asesoría, ayudas, becas</i>
<i>Clean Energy</i> http://www.cleanenergy.de/	<i>Directorio de empresas, energías limpias; energía solar, energía renovable, energía eólica, energía hidroeléctrica, enlaces, células fotovoltaicas</i>
<i>Electra de Viesgo, S.A., España</i> http://www.viesgo.es/	<i>Producción energía, electricidad</i>
<i>ENDESA - Grupo, España</i> http://www.endesa.es/	<i>Producción de energía eléctrica, energía nuclear, telecomunicaciones, nuevas tecnologías</i>
<i>Hidroeléctrica del Cantábrico, España</i> http://www.h-c.es	<i>Producción de energía eléctrica</i>
<i>IBERDROLA - Grupo, España</i> http://www.iberdrola.es/	<i>Producción de energía eléctrica, distribución, información, energía nuclear, operador global de servicios</i>
<i>JMI - Jade Mountain Inc.</i> http://www.jademountain.com/	<i>Energía solar, producción hidroeléctrica, energías renovables, conservación energía, eficiencia energética, estudios</i>
<i>REE - Red Eléctrica de España. España</i> http://www.ree.es/	<i>Transporte de energía, energía eléctrica</i>
<i>REPSOL YPF</i> http://www.repsol-ypf.com/	<i>Industria del petróleo, química, gasística, exploración, producción, refino, distribución y marketing, química y gas natural y electricidad</i>

<i>Rt66.COM (Route 66), Engineering International, Inc.</i> http://www.rt66.com/rbalm/	<i>Ingeniería energética, servicio de información, energía solar, información de productos</i>
<i>SENER, Ingeniería y Sistemas, S.A., España</i> http://www.sener.es/	<i>Ingeniería energética, planificación energética, sistemas de energía, control, garantía de calidad, transporte y almacenamiento de combustible, centrales de generación de energía; Ciclo combinado, Cogeneración, Térmica, Nuclear, Solar</i>
<i>Shell - Royal Dutch / Shell Group of Companies</i> http://www.shell.com/	<i>Plataformas petrolíferas, extracción de petróleo, publicaciones, información, divulgación</i>
<i>The Solar Energy Network</i> http://www.solarenergy.net/	<i>Energía solar, información, servicios, energía renovable</i>
<i>TotalFinaElf</i> http://www.totalfinaelf.com/ho/fr/index.htm	<i>Industria del petróleo, explotación, comercio internacional, productos derivados del petróleo</i>
<i>UFISA. Unión Fenosa Ingeniería. España</i> http://www.ufisa.es/	<i>Ingeniería energética, proyectos</i>
<i>UNESA – Asociación Española de la Industria Eléctrica.</i> http://www.unesa.es	<i>Empresas eléctricas.</i>
<i>Unión FENOSA - GRUPO, España</i> http://www.uef.es/	<i>Producción de energía, electricidad, centrales nucleares, multiservicios, telecomunicaciones, distribución</i>

Laboratorios y Universidades Web	Palabras claves/descripción
INESC - Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores http://www.inesc.pt/	Centro de Investigación, Portugal.
CEES - Center for Energy and Environmental Studies, Princeton University http://www.princeton.edu/	Energía, medio ambiente
CENERG - Centre d'Energétique, Ecoles des Mines de Paris http://www-cenerg.cma.fr/	Energía, sistemas de energía, energías renovables
CERN - European Laboratory for Particle Physics, Switzerland – European Organization for Nuclear Research http://www.cern.ch/	Laboratorio, investigación, energía nuclear
ECE - Energy, Conservation and Efficiency, University of Florida http://www.che.ufl.edu/WWW-CHE/topics/energy.html	Conversión de energía, eficiencia energética, ingeniería química, energías renovables, combustibles fósiles, procesos de control, librería virtual
EMP - Ecoles des Mines de Paris http://www.ensmp.fr/Eng/Intro/pageaccueil.html	Energía, innovaciones
GAP - Groupe de Physique Appliquée - Energie (Group for Applied Physics - Energy), Université de Genève http://www.unige.ch/cuepe/meteo/	Energía solar, investigación, arquitectura solar, edificaciones, aerosoles

<p><i>GENI - Global Energy Network Institute</i></p> <p>http://www.geni.org/</p>	<p><i>Energía, energía renovable, modelos de energía, aspectos globales de simuladores</i></p>
<p><i>ITER Canadá</i></p> <p>http://www.itercanada.com</p>	<p><i>Proyecto de fusión, fuentes de energía</i></p>
<p><i>JCEM - Joint Center for Energy Management, University of Colorado and Colorado State University</i></p> <p>http://bechtel.colorado.edu/</p>	<p><i>Recursos de energías renovables, eficiencia energética, conservación de la energía, asesoramiento energético, formación, meteorología</i></p>
<p><i>LBL-EED (Energy and Environment Division - Lawrence Berkeley Laboratory)</i></p> <p>http://eande.lbl.gov/EE.html</p>	<p><i>Eficiencia energética, conservación energía, electroquímica, análisis, baterías eléctricas, combustibles sintéticos</i></p>
<p><i>LESO-PB (Laboratoire d'Energie Solaire et Physique du Bâtiment or Solar Energy and Building Physics Laboratory), Ecole Polytechnique Federale de Lausanne</i></p> <p>http://lesowww.epfl.ch/</p>	<p><i>Energía solar, conservación de la energía, eficiencia energética, arquitectura solar, recursos de energía renovable, calidad del aire</i></p>
<p><i>MIT - Massachusetts Institute of Technology</i></p> <p>http://web.mit.edu/</p>	<p><i>Investigación, energía nuclear, reacciones termonucleares, fusión nuclear, ingeniería nuclear, física nuclear y formación</i></p>
<p><i>ORNL - Oak Ridge National Laboratory, Review, US Department of Energy (US-DOE)</i></p> <p>http://www.ornl.gov/ORNLReview/</p>	<p><i>Energía, energía nuclear, materiales, combustibles fósiles</i></p>

<i>Ris? National Laboratory, Roskilde</i> http://www.risoe.dk/	<i>Energía, medio ambiente, materiales, consumo energético, impacto ambiental, potencia eólica, mecánica de fluidos, protección contra la radiación, reactores, física del estado sólido, sistemas de análisis, meteorología</i>
<i>TERI - TATA Energy Research Institute</i> http://www.teriin.org/	<i>Energía, información y servicios, energía renovable, energía solar, biomasa, biotecnología, estadísticas, contaminación</i>
<i>TXSES - Texas Solar Energy Society, University of Texas</i> http://www.txses.org/	<i>Energía solar, conservación de la energía</i>

<i>Publicaciones y medios Web</i>	<i>Palabras clave / descripción</i>
<i>Biomass and Bioenergy</i> http://www.elsevier.com/locate/issn/09619534	<i>Revista científico-técnica, biomasa</i>
<i>Business Publishers, Inc</i> http://www.bpinews.com/enviro/pages/mwn.htm	<i>Publicaciones medioambientales</i>
<i>Editorial Alción, España</i> http://www.alcion.es/	<i>Publicaciones técnicas</i>
<i>Energy</i> http://www.elsevier.com/locate/issn/03605442	<i>Revista científico-técnica, energía, política energética, planificación energética</i>
<i>Energías Renovables</i> http://www.energias-renovables.com	<i>Revista de divulgación sobre energías renovables. En español.</i>
<i>Energy Information on Internet . Netherlands Energy Research Foundation (ECN), Netherlands</i> http://www.ecn.nl/eii/main.html	<i>Energía, información, enlaces</i>
<i>Energy Policy</i> http://www.elsevier.com/locate/issn/03014215	<i>Revista científico-técnica, política energética, planificación energética</i>
<i>ENN - Environmental News Network</i> http://www.enn.com	<i>Publicación educativa sobre aspectos medioambientales. Recoge diversas publicaciones en Internet</i>
<i>Era solar</i> http://www.erasolar.es/	<i>Revista científico-técnica, energías renovables, España</i>
<i>FIZ Karlsruhe and STN International</i> http://www.fiz-karlsruhe.de/	<i>Información energética, bases de datos de ciencia y tecnología</i>
<i>FORO NUCLEAR. Foro de la Industria Nuclear Española</i> http://www.foronuclear.org/	<i>Divulgación, información, enlaces</i> <i>Boletín Informativo (FLASH)</i> <i>Prontuario ENERGÍA 2001</i>

<p><i>FT-EP Financial Times Energy Publishing</i></p> <p>http://www.ftenergy.com/</p>	<p><i>Servicio de información, energía, combustibles fósiles, gas natural, energía nuclear, petróleo</i></p>
<p><i>GRIDWATCH. COM</i></p> <p>http://www.gridwatch.com/</p>	<p><i>Directorio global de energía, enlaces, energía, producción de energía, ingenierías, equipos, suministradores</i></p>
<p><i>IAEA - Daily Press Review</i></p> <p>http://www.iaea.or.at/</p> <p><i>IAEA - Publication Center</i></p> <p>http://www.iaea.or.at/worldatom/</p>	<p><i>Energía, información, información periódica</i></p>
<p><i>IBC Global Conferences Ltd.</i></p> <p>http://www.ibcglobal.com</p>	<p><i>Contiene base de datos donde aparecen conferencias sobre energía y seguridad</i></p>
<p><i>Nedbook, Amsterdam, Netherlands</i></p> <p>http://www.nedbook.nl/</p>	<p><i>Servicio de información, energía, documentación</i></p>
<p><i>Online Bookshop - OECD</i></p> <p>http://electrade.gfi.fr/cgi-bin/OECDBookShop.storefront</p>	<p><i>Publicaciones, catálogo, energía, venta on-line</i></p>
<p><i>PEN - Philadelphia's Energy Network , ECA- Energy Coordinating Agency</i></p> <p>http://www.libertynet.com/rol/default.asp</p>	<p><i>Consumo de energía, conservación de la energía, servicio de información</i></p>
<p><i>Platts Global Energy</i></p> <p>http://www.platts.com/index.html</p>	<p><i>Publicación electrónica, energía</i></p>
<p><i>Progress in Photovoltaics: Research and Applications</i></p>	<p><i>Revista científico-técnica, fotovoltaica</i></p>

http://www.interscience.wiley.com/jpages/1062-7995/	
<i>Refocus: The international renewable energy magazine</i> http://www.re-focus.net/	<i>Revista científico-técnica, energías renovables</i>
<i>Renewable energy</i> http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/9/6/9/index.htm	<i>Revista científico-técnica, energías renovables, planificación energética</i>
<i>SEG - IIEC The Sustainable Energy Guide, International Resources for Energy Efficiency and Renewable Energy)</i> http://www.solstice.crest.org/efficiency/iiec-seguide/	<i>Directorio, enlaces, eficiencia energética, recursos de energía renovable, financiación de iniciativas, programas de asesoramiento, servicio de información, control energético</i>
<i>Solar Energy</i> http://www.elsevier.nl/inca/publications/store/3/2/9/index.htm	<i>Revista científico-técnica, energía solar</i>
<i>Stichting Centrum voor Bibliotheekautomatisering (Pica or Dutch Centre for Library Automation), Leiden, Netherlands</i> http://www.pica.nl/ne/	<i>Energía, catálogos, servicios de información, bibliografía</i>
<i>Wind Energy</i> http://www.interscience.wiley.com/jpages/1095-4244/	<i>Revista científico-técnica, energía eólica</i>
<i>WISE / NIRS – World Information Service on Energy & Nuclear Information and Resource Service</i> http://www.antenna.nl/wise/	<i>Servicio mundial de información sobre energía, energía nuclear, radioactividad, radiaciones.</i>