

¿Sostenibilidad a cambio de suelo? La huella territorial de la generación de electricidad

Joan LÓPEZ REDONDO

Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat. Departament de Geografia
Universitat Autònoma de Barcelona

RESUMEN: La transición energética hacia fuentes renovables y menos contaminantes comporta notables retos. Uno de los menos considerados habitualmente es el que se deriva de las necesidades de suelo para la ubicación de las nuevas instalaciones de generación. El presente estudio analiza la cuestión a partir del caso de la producción de energía eléctrica en Cataluña, la cual ha experimentado dos grandes transformaciones a lo largo de las últimas décadas. En primer lugar, el incremento de la producción, que prácticamente se ha doblado, de modo que en este momento se generan en Cataluña más de 45.000 GWh al año, el 16% del total español. En segundo lugar, el surgimiento de nuevas formas de generación, principalmente a partir del aprovechamiento de fuentes renovables. Al lado de los innegables beneficios de esta segunda transformación, resulta innegable que su implantación comporta un elevado consumo de suelo. Para analizar este impacto, el presente trabajo identifica y superficializa las instalaciones de generación de electricidad existentes en Cataluña y las compara con las existentes hace veinticinco años. Los resultados muestran como, hasta el momento, la transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables de generación de electricidad ha tendido a localizar las nuevas instalaciones lejos de los principales centros de consumo y ha doblado la superficie de suelo que estos ocupan.

DESCRIPTORES: Electricidad. Energía. Consumo de suelo. Impacto ambiental. Cataluña.

Sustainability in exchange for land? The territorial imprint of the electricity generation

ABSTRACT: The energy transition towards renewable and less pollutant sources involves remarkable challenges. Among them, and usually less considered, is the challenge arising from the need for land for new generating facilities. This study analyses the question based on the case for producing electrical energy in Catalonia, which has undergone two large transformations over the last few decades. Firstly, the increase in production, which has practically doubled so that at present more than 45,000 GWh a year are generated in Catalonia,

Recibido: 11.01.2017; Revisado: 15.02.2017
Correo electrónico: Juan.Lopez@uab.cat

El autor agradece los comentarios y sugerencias realizados por los evaluadores anónimos, que han contribuido a mejorar y enriquecer el manuscrito original.

16% of Spain's total. Secondly, the emergence of new forms of generation, mostly based on the use of renewable sources. Apart from the undeniable benefits of this second transformation, it cannot be denied that its introduction has involved a high use of land. To analyse this impact, the present work identifies and deals briefly with the existing electricity generating facilities in Catalonia and compares them with those in existence twenty-five years ago. Results show how so far the transition towards an energy model based on renewable electricity generation sources has tended to locate new facilities away from the main consumer spending centres and has doubled the area of land that they occupy.

KEYWORDS: Electricity. Energy. Land taken up. Environmental impact. Catalonia.

Tres grandes tendencias caracterizan la transición energética que tiene lugar desde hace unos años en España: la progresiva aplicación de la electricidad a usos que antes utilizaban otras fuentes de energía, la utilización de fuentes renovables en sustitución de recursos fósiles para la obtención de esta electricidad y el acercamiento de los centros de generación a los puntos de consumo con el objetivo de minimizar el impacto de las infraestructuras sobre el territorio. En consonancia con estas tendencias, comunes a todos los sistemas energéticos más desarrollados, las definiciones de los horizontes energéticos deseables subrayan hoy la importancia de las infraestructuras de suministro de energías renovables «hechas a medida de cada comunidad local» (SCHEER, 2009), y utilizan conceptos como

«el bajo consumo, la producción descentralizada, la diversidad de fuentes locales y la capacidad de almacenamiento» (FERNÁNDEZ & GONZÁLEZ, 2014, vol. 2, p. 208).

Asimismo, se propugnan las «micro-redes energéticas» entendidas como

«pequeñas redes autosuficientes, autogestionadas e interconectadas, capaces de abastecer pueblos, barrios o pequeñas ciudades, y que tienen integrados sistemas de generación, almacenamiento, y gestión operativa y económica de la red» (ECOLOGISTAS EN ACCIÓN, 2015, p. 26)

o la «energía comunal» como aquella forma de suministro que articula lejos de las estructuras centralizadas, pero también de los «microsistemas de energía a escala familiar» (PUIG, 2014).

En España, y especialmente en Cataluña, la transición energética se inició hace varios años, si bien se encuentra todavía muy lejos de su culminación y muestra niveles de avance desiguales para cada una de las tres características citadas. Así, en primer lugar, la electricidad, que representaba el 19% del consumo final de energía en España en 1990, pasó a suponer un 25% en 2014. En Cataluña el incremento fue del 22,8% al 27,2% en el mismo período¹.

En segundo lugar, las fuentes primarias de generación de esta electricidad también han cambiado notablemente. Durante el año 2015 se produjeron en España 270.000 Gigavatios hora (GWh) de electricidad. De estos, más de 45.000 GWh se generaron en Cataluña (un 16% del total)², de modo que la producción catalana se sitúa muy por encima de la de países como Irlanda, Hungría o Dinamarca (Ref. web 5), y casi dobla a la generada hace tan solo veinticinco años (26.856 GWh). Ahora bien, las transformaciones de los últimos años no atañen solo al incremento de energía generada, sino también a su origen, es decir, a la fuente primaria utilizada y su tratamiento. Así, en 1990 el 81% de la producción eléctrica en Cataluña era de origen nuclear. Las tres centrales nucleares operativas a finales de aquel año, que habían entrado en ser-

¹ Los datos de consumo para España provienen de los «Balances de energía final (1990-2014)» del INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y EL AHORRO DE LA ENERGÍA (Ref. web 1). Véase al final de la bibliografía la relación de referencias de sitios web). Los datos de Cataluña proceden del «Balanz energètic de Catalunya 1990-2014. Sèrie homogènia» del INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA (Ref. web 2).

² Todos los datos de producción de electricidad de Cataluña en este apartado provienen del INSTITUT CATALÀ DE

L'ENERGIA: *Balanç elèctric 1990-2009 y Balanz d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2015*. (Ref. web 3). Los del total de España, en cambio, provienen de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA: «Estadísticas del sistema eléctrico. Series estadísticas por comunidades autónomas» (Ref. web 4). Cabe advertir que los primeros hacen referencia a la generación bruta, mientras que los segundos a la generación neta.

vicio poco antes, compensaron así el gran déficit eléctrico que históricamente había sufrido Cataluña. Ésta contaba únicamente con unas pocas centrales térmicas de carbón, gasoil o gas para apoyar la producción de la que era la gran fuente de generación desde hacía casi un siglo: la hidráulica. Un cuarto de siglo más tarde la generación de electricidad en Cataluña ha cambiado sustancialmente. Las centrales nucleares y la hidroelectricidad continúan aportando la mayor parte de la producción (dos terceras partes), pero las viejas centrales térmicas convencionales han sido sustituidas por otras de ciclo combinado, mientras que las nuevas instalaciones de aprovechamiento de energías renovables, como los parques eólicos, los huertos y parques solares fotovoltaicos y las instalaciones solares termoeléctricas han proliferado en el territorio. En esto la evolución catalana se diferencia de la del resto de España, donde la persistencia de centrales térmicas de carbón en muchas Comunidades Autónomas (en el noroeste peninsular, pero también en Andalucía), el menor peso de la generación nuclear y un mayor aprovechamiento de las fuentes solar y eólica (el triple que en Cataluña) provoca que el mix energético sea sensiblemente diferente (Ref. web 4).

Ahora bien, este mayor consumo de electricidad y los cambios en los métodos de generación han propiciado la propagación de nuevos artefactos e instalaciones que permiten obtener electricidad de forma más sostenible por lo que respecta a las fuentes primarias utilizadas, pero con un impacto territorial mucho mayor, tanto por lo que se refiere a su ubicación como a la superficie ocupada.

Si se consideran estas pautas de ocupación del suelo como una de las claves para evaluar el impacto y la sostenibilidad de esta transición, resulta necesario conocer con exactitud sus características³. Este es el objetivo del presente trabajo: identificar, clasificar y superficializar

las diversas instalaciones de generación de electricidad existentes en Cataluña en el año 2015 y compararlas con la situación existente en 1990 para valorar el impacto que cada modelo de producción de electricidad ha tenido sobre el consumo de suelo. El artículo también muestra las ratios de producción por hectárea de cada tipo de instalación. Con ello es posible estimar qué superficie total requeriría la culminación de la transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables a partir de los parámetros de consumo, eficiencia y ocupación del suelo actuales⁴.

1. La evolución de las infraestructuras de generación de electricidad en Cataluña y sus impactos sobre el territorio

El proceso de electrificación en Cataluña, aunque relativamente reciente, ha sido enormemente intenso por lo que respecta a la diversidad de fuentes, tecnologías y casuísticas que en él han intervenido. Iniciado en el último cuarto del siglo XIX, las primeras formas de producción se basaron en *pequeñas centrales térmicas, alimentadas principalmente por carbón o gas*, que, condicionadas por la novedad de la tecnología, la estructura empresarial y las limitaciones técnicas del transporte de electricidad con corriente continua y bajo voltaje, producían para ámbitos estrictamente locales⁵.

El rápido crecimiento de la demanda de electricidad, principalmente industrial, permitió una destacada reorganización del sector que, juntamente con la incorporación de la corriente alterna y las mejoras en la red de distribución, crearon las condiciones necesarias para realizar el segundo gran salto en el proceso de electrificación. Así, el surgimiento de diversas empresas con la capacidad económica suficiente para realizar grandes inversiones y la

³ Cabe hacer notar que la electricidad representa menos de una tercera parte del consumo final de energía en Cataluña. En 2014 la mayor parte de este consumo (48,4%) correspondía a productos petrolíferos y más de una quinta parte (20,8%) a gas natural (Ref. web 1). En el conjunto de España la electricidad representa una cuarta parte (24,7%) del consumo total (IDAE: «Balance del consumo de energía final. Avance 2014». Ref. web 4). Aun así, por su importancia presente y, sobretudo, futura, resulta necesario conocer su impacto real sobre el territorio.

⁴ Como es sabido, las instalaciones de generación de electricidad requieren, lógicamente, de una serie de equipamientos e infraestructuras de apoyo que forman parte integral del sistema de suministro. En este trabajo, sin embargo, se analizan únicamente las instalaciones de generación y, solo en el caso de que estén claramente vinculadas a ellas, las estaciones que permiten volcar la electricidad a la red de transporte. De esta manera, las redes de transporte y

distribución, las subestaciones, la mayor parte de las estaciones elevadoras de tensión y, en el caso de los combustibles fósiles, los yacimientos de donde se extrae el recurso, no han sido considerados.

⁵ Resulta imposible citar aquí el gran número de trabajos existentes sobre el proceso de electrificación en Cataluña. Para descripciones sobre los inicios de este proceso resulta obligada, en cualquier caso, la referencia a MALUQUER (1992), BARTOLOMÉ (2007), ALAYO (2007), CAPEL & CASALS (2013) y al conjunto de trabajos reunidos en el volumen 19 de la colección *Barcelona Quaderns d'Història* dedicado a «L'electrificació de Barcelona, 1881-1935»; Para la descripción de la evolución de la cuestión a lo largo del siglo XX, véase SUDRIÀ (1989), CAPEL (1994), URTEAGA (2003) y SALADIÉ (2011). Este último trabajo, y la tesis doctoral del autor (SALADIÉ 2016), contienen asimismo datos relativos a la evolución del proceso de electrificación a principios del siglo XXI.

posibilidad de generar electricidad a notables distancias de los centros de consumo sin experimentar pérdidas excesivas en el transporte permitieron el desarrollo de la hidroelectricidad a gran escala en Cataluña.

La construcción de *embalses* con la finalidad de obtener electricidad se inició en Cataluña, como es sabido, a principios del siglo XX en las comarcas pirenaicas, y se fue extendiendo con fuerte intensidad allá donde las condiciones orográficas eran favorables. Sólo la Guerra Civil y el inmediato período de postguerra detuvieron el hasta entonces imparable proceso de construcción de aprovechamientos hidroeléctricos (CARRERAS & *al.*, 2009; TARRAUBELLA 2012, 2013; MONTANER 1998; VILAR 1929). A partir de la década de 1950 se reemprende la construcción de embalses con producción hidroeléctrica, continuando un proceso que se diferencia del periodo anterior básicamente por la iniciativa de capital público (URTEAGA 2003) y por la realización de embalses cada vez mayores, como los que permitieron el aprovechamiento del tramo final del río Ebro. Esta nueva etapa se prolongó hasta la década de 1970. A partir de entonces, cesa la construcción de nuevos embalses, con la única excepción de Rialb, finalizado el año 2000, que cierra por el momento la epopeya de los aprovechamientos hidroeléctricos iniciada en Cataluña un siglo antes. En el año 2015 la producción hidráulica de electricidad fue, como muestra la FIG. 1, de 4.769,3 GWh, el 10,7% del total de Cataluña y el 14,5% de la producción hidroeléctrica de España⁶.

El mismo empuje económico que permitió reemprender la construcción de embalses en Cataluña a mediados del siglo XX impulsó en paralelo la construcción de *nuevas instalaciones de obtención de electricidad a partir de combustibles fósiles*. A diferencia de las primeras centrales térmicas que empezaron a operar al inicio del proceso de electrificación, las nuevas centrales se basaban en la combustión de derivados del petróleo, y algunas de ellas, más tarde, de gas natural. Únicamente la central de Cercs utilizó el carbón proveniente de las minas vecinas. Estas centrales entraron en funcionamiento a lo largo de las décadas de 1960 y 1970: Badalona I en 1958, Badalona II en 1967, Cercs en 1971, Sant Adrià de Besòs

I en 1973, II en 1974 y III en 1976, y Cubelles en 1979. En el año 1990 su contribución al total de la producción era más bien modesta (8,1%), pero antes de la construcción de las centrales nucleares de Ascó y Vandellòs habían llegado a representar casi la mitad de la producción de Cataluña. A pesar de este elevado nivel de producción, los problemas económicos, de eficiencia o ambientales llevaron a su reconversión (como en el caso de Sant Adrià I y III, que se adaptaron al gas) o a su cierre definitivo. Así, al final del período analizado, 2015, las cinco centrales térmicas convencionales habían cesado su actividad: Badalona I en 1990, Badalona II en 2003, Sant Adrià de Besòs I, II y III en 2011, Cercs en 2011 y Cubelles después de que Endesa anunciase en 2015 el cese definitivo de la actividad y su inmediato desmantelamiento.

En paralelo a la construcción de las centrales térmicas de carbón, petróleo o gas se proyectan un tipo de instalaciones hasta entonces inéditas en Cataluña: las *centrales nucleares*. Así, en 1967 se empieza a construir la Central de Vandellòs I, que entró en funcionamiento en el año 1972. A lo largo de los siguientes años se proyectan tres reactores nucleares más: Ascó I y II, que entraron en funcionamiento en 1984 y 1986 respectivamente, y Vandellòs II, que lo hizo en 1988 (GONZÁLEZ, 2008). Vandellòs I dejó de operar definitivamente en 1990 a causa de un accidente, pero aun así la producción nuclear es desde entonces la principal fuente de electricidad en Cataluña, de manera que en 2015 las tres centrales en funcionamiento produjeron más de 24.000 GWh de electricidad, el 54% del total y el 42,6% de toda la energía nuclear generada en España.

El continuo incremento de la demanda de electricidad, el debilitamiento de la planificación y una política energética que desconfiaba de la capacidad de las fuentes renovables para garantizar el suministro eléctrico en España llevaron, a lo largo de la primera década del siglo XXI, a la construcción de un gran número de centrales térmicas correspondientes a un nuevo tipo de aprovechamiento de los combustibles fósiles: las *centrales de ciclo combinado* (BOLAÑOS, 2013; SIERRA, 2015)⁷. De las seis centrales existentes en la actualidad en Cataluña, Besòs III y IV entraron en funcionamiento en

⁶ Como se ha indicado, todos los datos de producción de electricidad de Cataluña en este apartado provienen del INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA (Ref. web 1), mientras que los porcentajes de cada tecnología de generación sobre el total de España, en cambio, provienen de RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (Ref. web 3), de manera que los primeros hacen

referencia a la generación bruta, mientras que los segundos a la generación neta.

⁷ Como se recordará, la *Ley del Sector Eléctrico* de 1997 (54/1997, de 27 de Noviembre) que liberalizaba el sector, confirió a la planificación eléctrica un carácter puramente indicativo, excepto en el caso de las infraestructuras de transporte.

Fig. 1/ Evolución de la generación de electricidad en Cataluña por tecnología, 1990-2015

Tipo de producción	1990		2015	
	GWh producidos	%	GWh producidos	%
Embalses para producción hidroeléctrica	2.971,60	10,8	4.769,29	10,5
Centrales térmicas de carbón, fuel-gas y gasoil	2.242,30	8,1	0,00	0,0
Centrales ciclos combinados	0,00	0,0	7.098,59	15,7
Centrales nucleares	21.742,90	78,7	24.287,86	53,6
Parques eólicos	0,05	0,0	2.695,75	5,9
Parques y huertos solares fotovoltaicos	0,30	0,0	416,80	0,9
Instalaciones solares termoelectricas	0,00	0,0	88,11	0,2
Otros	670,40	2,4	5.998,84	13,2
TOTAL	27.627,55	100,0	45.355,24	100,0

Fuente: INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA: *Balanç elèctric 1990-2009* y *Balanç d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2015*. (Ref. Web 3)

2002, Tarragona y Tarragona Power en 2003, la Plana del Vent, en Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant, en 2007, y la del Puerto de Barcelona y Besòs V en 2010. Todas ellas continuaban en funcionamiento al final del período analizado, si bien la central de Viesgo en Tarragona recibió la autorización de baja de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia en Diciembre de 2015. Las seis centrales produjeron aquel año un total de 12.410 GWh, un 28% del total de Cataluña y el 23,3% de producción de las centrales de ciclo combinado de España.

Por otro lado, a partir de la década de 1980, en paralelo a la construcción de las centrales nucleares, se empiezan a desarrollar e implantar en Cataluña tecnologías modernas de aprovechamiento de *energías renovables*, principalmente a partir de aerogeneradores y placas fotovoltaicas de producción de electricidad (Ref. web 7). Su implantación en cantidades significativas no tiene lugar, sin embargo, hasta la década de 1990. Así, mientras en 1990 la producción bruta de energía eléctrica de origen solar fue de tan sólo 0,3 GWh, en 2015 llegaba ya a los 504,9 GWh (fotovoltaica y solar termoelectrica); al mismo tiempo, mientras la de origen eólico aportó en 1990 únicamente 0,045 GWh, en 2015 produjo 2.695,7 GWh. En el resto de España otras comunidades autónomas donde, por otra parte, el rechazo social a su implantación por cuestiones ambientales o paisajísticas

fue menor, experimentaron un desarrollo más intenso a lo largo de este período, llegando en el caso de la eólica a participaciones equivalentes una tercera parte del total en comunidades como Castilla la Mancha, Castilla y León y Aragón, y a más de la mitad en Navarra, y en el caso de la solar (fotovoltaica y termoelectrica), a más de una décima parte de la producción en Andalucía y Extremadura. Como resultado, la contribución de Cataluña al total español en estas tecnologías es sensiblemente inferior a la total: el 5,1% de la energía fotovoltaica, el 1,5% de la solar termoelectrica y el 5,4% de la eólica.

En resumen, el proceso de desarrollo de las instalaciones de generación de electricidad en Cataluña ha dado como resultado un mapa dominado en la actualidad por 30 embalses de producción hidroeléctrica (explotados por Endesa Generación), 3 centrales nucleares (Ascó I, de Endesa Generación; Ascó II, de Endesa Generación e Iberdrola Generación; y Vandellòs II, también de Endesa Generación y Iberdrola Generación), 6 centrales de ciclo combinado (la Plana del Vent, de Alpiq Energía España SAU; Besòs III, de Endesa Generación; Besòs IV, de Gas Natural Fenosa; Besòs V, de Endesa Generación; Port de Barcelona, de Gas Natural Fenosa; Tarragona, de Viesgo; y Tarragona Power, de Iberdrola), casi 800 aerogeneradores (agrupados en más de una cuarentena de parques eólicos explotados por una trentena de promotores⁸), un gran número

⁸ Los datos sobre los aerogeneradores en servicio el número de parques en que se agrupan y las empresas que los explotan varían sensiblemente en función de la fuente consultada: *Visor ambiental de parcs eòlics* del DEPARTAMENT DE TERRITORI

I SOSTENIBILITAT de la Generalitat de Catalunya (Ref. web 6), *Llistat de parcs eòlics en funcionament* de EolicCat (Ref. Web 7) o *Mapa Eòlic de Catalunya* de la ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA (Ref. web 8).

ro de parques huertos y solares fotovoltaicos⁹ y una central solar termoeléctrica (Termosolar Borges, de Dominion).

Otras fuentes de generación, con una aportación más modesta al mix eléctrico actual de Cataluña, como son las *centrales de biomasa* o las que utilizan *residuos urbanos*, viven en la actualidad un momento de expansión, producto tanto de su transformación a partir de las constantes mejoras tecnológicas como a su capacidad de combinar los objetivos de producción de electricidad con otros intereses privados y colectivos, como son la gestión de los espacios naturales o el tratamiento de los residuos generados en los núcleos urbanos¹⁰.

Ahora bien, todas las instalaciones de producción de energía eléctrica, cada una con sus características, tienen un impacto mayor o menor sobre el territorio. Este impacto ha sido estudiado tanto a escala internacional (EIA; IEA, 2002; IRENA & CEM, 2014; IRENA, 2016a), como de España (MARGARIT, 2011; DDAA, 2013). En Cataluña la cuestión ha sido abordada a partir de los aspectos ambientales (ECOLOGISTES EN ACCIÓ, 2005; DDAA, 2005; MARTÍN, 2014) así como los relacionados con las actividades, las finanzas, el paisaje o el patrimonio locales (SALADIÉ, 2014; FUNDACIÓ DEL MÓN RURAL, 2008; CASTELL & NEL·LO, 2003; FELIU, 2003; MARGARIT & VERNET, 2006; ZOGRAFOS & SALADIÉ, 2012; SCOT)¹¹.

El tema de la superficie ocupada por estas instalaciones, en cambio, ha sido una variable mucho menos analizada. A pesar de ser identificada como uno de los principales inconvenientes de las instalaciones de generación de electricidad a partir de fuentes renovables, el cálculo del suelo que ocupan a partir de un criterio homogéneo que permita la comparación entre los diversos tipos de instalaciones no ha recibido la misma atención que otros impactos. Una de las razones de la poca atención recibida puede ser, como se explica más adelante, la inexistencia de una única fuente registral o cartográfica que recoja todas las instalaciones existentes. A esta carencia de información de base cabe

añadir la dificultad para establecer un criterio homogéneo de superficialización a partir de la información habitualmente disponible, como son la producción o la potencia instalada. Así, los trabajos existentes a nivel internacional que establecen un coeficiente de producción por superficie (MÜLLER & *al.*, 2011; ANDREWS, & *al.*, 2011; TRAINOR & *al.*, 2016; CHENG & HAMMOND, 2016; FTHENAKIS & KIM, 2009) muestran resultados bastante dispares a causa, principalmente, de las diferencias geográficas entre las áreas analizadas, así como de la diversidad de criterios de delimitación utilizados por cada una de las tipologías de generación. En Cataluña, uno de los pocos trabajos relativos a la superficie utilizada por las infraestructuras de generación de electricidad a partir de un método homogéneo es el realizado por Ramon Sans y Elisa Pulla (SANS & PULLA, 2014), los cuales calculan un factor de uso, superficie y coste por megavatio eléctrico productivo para cinco tecnologías renovables (solar térmica, solar fotovoltaica de un eje, solar fotovoltaica fija, eólica e hidráulica). Se trata, sin embargo, de una aproximación teórica y, como advierten los mismos autores, de valores estimados a partir de tres medias de producción, ya que las grandes diferencias provocadas por la localización geográfica para estos cinco tipos de instalaciones hacen imposible establecer un único valor.

Por estos motivos, la cuantificación del suelo ocupado por las infraestructuras de generación de electricidad en Cataluña obliga a recurrir a las fuentes de información originales para identificar y superficializar cada instalación. Este es, precisamente, el ejercicio que nos hemos propuesto realizar a continuación.

2. Fuentes y tratamiento de los datos

El hecho de no disponer de una base de datos estadística ni cartográfica específica de infraestructuras energéticas en Cataluña ha obligado a recurrir a diversas fuentes para la obtención de los datos de partida. De esta manera, la infor-

⁹ El INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA tenía registradas 2.807 instalaciones en 2010, buena parte de las cuales, sin embargo, correspondía a placas en edificios públicos y privados no consideradas en este trabajo.

¹⁰ Estas otras formas de generación no han sido consideradas en este trabajo tanto por la dificultad de identificar las instalaciones como por la complejidad que comporta la estimación de la superficie real que requieren para realizar la producción. Lo mismo sucede con las múltiples centrales de cogeneración no renovable o el biogás que, si bien

tienen una aportación mayor al total de la producción de Catalunya (5.312 GWh y 211 GWh respectivamente en 2015) son igualmente difíciles de localizar y superficializar individualmente.

¹¹ Entre los años 2003 y 2015 el *Anuari Territorial de Catalunya* de la SOCIETAT CATALANA D'ORDENACIÓ DEL TERRITORI recogió 886 entradas únicas (1.586 si se considera su aparición en más de una edición del *Anuari*) sobre políticas, transformaciones y conflictos territoriales en Cataluña de las cuales 62 estaban relacionadas con la energía.

mación sobre cada recurso primario de energía (hidráulica, eólica, nuclear, etc.) ha sido confeccionada a partir de una o más fuentes que recogen diversas variables con la correspondiente diversidad de tratamiento y presentación.

La FIG. 2 muestra de manera sintética las características y el tratamiento a que ha estado sujeta la información de base para homogeneizarla y adaptarla a los objetivos de la investigación, es decir, su supeficialización.

FIG. 2/ Fuentes y tratamiento de los datos de las instalaciones de generación eléctrica para su supeficialización

Tipo de instalación	Fuentes consultadas	Organismos	Ref. web	Tratamiento
Embalses	Base cartográfica	ACA	Ref. 11	
	<i>Producció d'energia elèctrica a Catalunya</i>	ICAEN	Ref. 12	Selección de los embalses destinados a producción de electricidad
	base cartográfica de <i>Embalses</i>	CHE	Ref. 13	Incorporación de embalses no incluidos en la base de la ACA
	<i>Base Topográfica 25</i>	ICGC	Ref. 14	Recálculo de la superficie y recorte del área en territorio catalán*
Centrales térmicas de carbón y gasoil	<i>Mapa de cubiertas del suelo 4ª edición, 2009 (MCSC2009)</i>	CREAF	Ref. 15	Selección de los polígonos correspondientes a la categoría «Centrales térmicas»
	Base Topográfica 25	ICGC	Ref. 14	Recálculo de la superficie y agrupación en un polígono para las centrales de Sant Adrià I, II y III y Badalona I y II
Centrales nucleares	MCSC2009	CREAF	Ref. 15	Selección de los polígonos correspondientes a la categoría «Centrales nucleares» y delimitación de una envolvente de 50 metros para dar continuidad a las instalaciones**
Centrales de ciclo combinado	MCSC2009	CREAF	Ref. 15	Cálculo de la superficie de la central de la Plana del Vent a partir de polígonos etiquetados 'Central nuclear' en el MCSC2009 y de las centrales Besòs III, Besòs IV y V a partir de polígonos etiquetados como 'Infr. elèctriques'
	<i>Base topogràfica 25</i>	ICGC	Ref. 14	Cálculo de la superficie de la central del Puerto de Barcelona
	<i>Ortofoto de Catalunya 1:1000 vigent, Via WMS</i>	ICGC	Ref. 16	Digitalización manual y cálculo de la superficie de las centrales de Tarragona y Tarragona Power
Aerogeneradores	<i>Visor ambiental de parcs eòlics</i>	TES	Ref. 8	Selección de los 778 aerogeneradores en servicio en Julio de 2013 y delimitación de una franja de 150 metros alrededor de cada aerogenerador***

Fig. 2/ Fuentes y tratamiento de los datos de las instalaciones de generación eléctrica para su supeficialización

Tipo de instalación	Fuentes consultadas	Organismos	Ref. web	Tratamiento
Huertos y parques fotovoltaicos	MCSC2009	CREAF	Ref. 15	Selección de los polígonos correspondientes a la categoría 'Centrales solares' para el cálculo de la superficie de los llamados «parques» y «huertos» fotovoltaicos (descartando las placas fotovoltaicas instaladas en paredes o tejados de edificios destinados a otros usos)
	<i>Balanç elèctric 1990-2009 y Balanç d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2015</i>	ICAEN	Ref. 5	Estimación la superficie ocupada en 2015 a partir de la extrapolación de la potencia bruta instalada en 2009****
Central solar termo-eléctrica	<i>Ortofoto de Catalunya 1:1000 vigent, Via WMS</i>	ICGC	Ref. 16	Digitalización manual y cálculo de la superficie de la central Termosolar Borges, en les Boges Blanques

* En buena parte de las explotaciones hidroeléctricas pirenaicas el agua aprovechada proviene de estanques interconectados entre ellos. En estos casos, sólo se han considerado los embalses principales, directamente conectados a la planta de generación.

** Se han considerado las cuatro centrales existentes en Cataluña, las tres operativas (Ascó I, Ascó II y Vandellòs II) así como Vandellòs I, ya que, a pesar de dejar de operar definitivamente en 1990, el espacio que ocupaba, a diferencia del resto de centrales térmicas, no podrá ser destinado a otros usos durante un período muy largo de tiempo.

*** Se ha delimitado esta envolvente de 150 metros al considerar el diámetro de las torres de los aerogeneradores es notablemente reducido respecto a la superficie funcional ocupada. Los 150 metros corresponden a la altura máxima de las torres de los grandes generadores modernos, 100 metros, más la mitad del diámetro de los rotores, de 90 metros, más 5 metros. Si bien es cierto que esta superficie puede ser destinada a otros usos y/o cubiertas, también lo es el hecho que la generación de electricidad es el uso predominante y el que condiciona buena parte de otros posibles usos. Otros métodos de estimación del área ocupada por los parques eólicos pueden verse, por ejemplo, en DENHOLM & al. (2009). Otras bases cartográficas sobre aerogeneradores en Catalunya pueden encontrarse en las Ref. web 9 y 10.

**** Esta potencia pasó de 167,17 MW en 2009 a 267,05 MW en 2015, es decir, un incremento del 59,75% (Ref. Web 3).

Para facilitar la interpretación de los resultados obtenidos, que se expondrán en el apartado siguiente, las instalaciones se han agrupado en tres grandes categorías, correspondientes tanto a unas tipologías de generación específica como a los momentos históricos en que se implantaron mayoritariamente: los aprovechamientos hidroeléctricos, las centrales térmicas y las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables.

De esta manera, el período de análisis se inicia cuando los aprovechamientos hidroeléctricos de los embalses, las centrales térmicas denominadas «convencionales» (de carbón, gasoil y de gas) y las centrales nucleares se encuentran ya presentes en Cataluña, mientras que las centrales de ciclo combinado y las instalaciones de renovables se desarrollan

mayoritariamente a lo largo del período estudiado.

Existen, como es sabido, otras fuentes primarias que han sido y continúan siendo igualmente utilizadas en Cataluña para la generación de electricidad, desde la biomasa a la incineración de residuos, el biogás o la cogeneración. Ahora bien, se han considerado únicamente los tres grandes modelos citados por un doble motivo. En primer lugar, porque han sido, además de claramente predominantes en términos de producción, las que han tenido un impacto mayor sobre el territorio y el paisaje. En segundo lugar, porque, como se ha dicho, la falta de una base de datos donde se identifique territorialmente otro tipo de instalaciones hace extremadamente compleja su supeficialización¹². De la misma manera, el trabajo no considera, a pesar de su importancia histórica, las primeras ins-

¹² El Registro administrativo de instalaciones de producción eléctrica (Energías renovables, cogeneración y residuos) y el Registro de instalaciones (productores en régimen ordinario) del MINISTERIO DE INDUSTRIA, ENERGÍA Y TURISMO

recogen todas las instalaciones de generación de electricidad clasificadas por tipología de generación, pero su nivel máximo de identificación territorial corresponde al municipio donde se localizan (Ref. web 17).

talaciones de generación a pequeña escala en los centros de las grandes ciudades, principalmente por la dificultad de valorar el impacto sobre unos espacios que, en la mayoría de casos, han sido notablemente alterados, cuando no completamente suprimidos del paisaje urbano actual.

Una vez descrita la metodología empleada para cuantificar el suelo ocupado por las infraestructuras de generación de electricidad, el siguiente apartado muestra los resultados para las instalaciones existentes en la actualidad (2015) y los compara con el suelo ocupado hace veinticinco años (1990).

3. Superficie de las infraestructuras de generación de electricidad en Cataluña

En conjunto, en el año 2015 las instalaciones de generación de electricidad ocupaban un total de 13.223,4 hectáreas, es decir, aproximadamente trece veces la superficie del aeropuerto del Prat, incluyendo todas sus pistas e instalaciones. El dato es todavía más destacable si se tiene en cuenta que tan solo veinticinco años antes la superficie ocupada era de poco más de la mitad, 6.890,7 hectáreas. Ahora bien, la superficie afectada por cada una de las tecnologías de producción es muy diversa.

— Los embalses de producción hidroeléctrica

Como se puede observar en la FIG. 3, los 30 embalses considerados ocupan una superficie total de 8.036 hectáreas, es decir, el 60,8% de la superficie ocupada por el conjunto de infraestructuras de generación de electricidad en Cataluña. Esta extensión, ciertamente elevada en comparación con la contribución de los recursos hidráulicos a la producción total de electricidad (10,5%), queda justificada también por la consideración del resto de usos de los embalses, como son las citadas funciones reguladoras de avenidas y, sobre todo, de reserva de agua de boca, de regadío y para las actividades industriales y de servicios. A lo largo del período analizado sólo se produjo una alteración en la superficie ocupada por los embalses, las 1.474 nuevas hectáreas del embalse de Rialb, inaugurado el año 2000.

¹³ Cabe recordar que sólo se han considerado los 778 aerogeneradores que se encontraban en servicio en 2013 según la base cartográfica del *Mapa d'implantació ambiental de l'energia eòlica* del DEPARTAMENT DE TERRITORI I SOSTENIBILITAT de la Generalitat de Catalunya. Igualmente, tan solo

— Las centrales térmicas de combustibles fósiles

El segundo gran grupo de infraestructuras de generación de electricidad corresponde a las centrales térmicas de combustibles fósiles, las cuales se pueden dividir en tres grandes tipos: las convencionales de carbón, fueloil y gas, las nucleares y los ciclos combinados.

Como se ha explicado, todas las centrales de carbón, fueloil y gasoil existentes en Cataluña al inicio del período analizado (Badalona I y II, Cercs, Sant Adrià de Besòs I, II y III y Cubelles) habían dejado de funcionar en 2015. En el año 1990, sin embargo, llegaron a ocupar una superficie de 54,2 hectáreas, correspondientes mayoritariamente al litoral del Besòs (Sant Adrià de Besòs y Badalona), pero también a otros emplazamientos más alejados de los principales núcleos de consumo, como en el caso de Cercs y Cubelles.

Por lo que se refiere a las centrales nucleares, construidas durante la década de 1980: Ascó I y II y Vandellòs II, la superficie ocupada por las tres actualmente en funcionamiento y también, como se ha explicado, por los terrenos en los que se encuentra el reactor de Vandellòs I, construida unos años antes pero que cesó su actividad en 1990, es de 275 hectáreas.

El tercer tipo de centrales térmicas de combustibles fósiles, los ciclos combinados, ocupan una extensión total de 39 hectáreas.

Así, pues, todas las centrales térmicas de combustibles fósiles operativas en Cataluña en 2015 ocupaban en total una superficie de 314 hectáreas.

— Los parques eólicos, los huertos y parques solares y las instalaciones solares termoeléctricas

Las tecnologías de aprovechamiento de energías renovables, es decir, los parques eólicos, los huertos y parques solares y las instalaciones solares termoeléctricas, ocupaban en 2015 una superficie total de 4.874 hectáreas. La mayor parte corresponde a la producción eólica, con 4.024 hectáreas, mientras que la solar fotovoltaica y la solar termoeléctrica ocupaban 796 hectáreas y 54 hectáreas respectivamente¹³.

se consideran los huertos y parques solares, sin contar las formas de generación de electricidad a partir de placas fotovoltaicas instaladas en paredes o tejados de edificios destinados a otros usos.

Fig. 3/ Superficie ocupada por las infraestructuras de producción de electricidad en Cataluña 1990-2015

Tipología	Instalación	Hectáreas 1990	Hectáreas 2015	Fecha de alta/baja	
Embalses con producción de electricidad	Aiguamoix/Tredòs	6,83	6,83		
	Baserca	41,92	41,92		
	Boadella	347,86	347,86		
	Camarasa	491,21	491,21		
	Canejan/Sant Joan de Toran	1,26	1,26		
	Canelles	691,57	691,57		
	Cavallers	47,03	47,03		
	El Pasteral	30,37	30,37		
	Escales/Pont de Suert	209,95	209,95		
	Espot/Torrassa	40,86	40,86		
	Estany Gento	25,29	25,29		
	Esterrí/Borin	10,54	10,54		
	Flix	272,38	272,38		
	Guiamets	65,48	65,48		
	La Baells	354,91	354,91		
	Lleida	20,58	20,58		
	Montamara/Certasca	61,43	61,43		
	Oliana	422,50	422,50		
	Rialb		1.474,00	2000	
	Riba-roja	324,20	324,20		
	Sallente	29,73	29,73		
	Sant Maurici	22,76	22,76		
	Santa Anna	469,41	469,41		
	Santa Fe	10,07	10,07		
Sau	607,59	607,59			
Susqueda	528,77	528,77			
Talarn	871,89	871,89			
Tavascan					
(Graus y Romedo de Baix)	13,50	13,50			
Terradets	276,73	276,73			
Utxesa/Ser	265,10	265,10			
Centrales térmicas	de carbón, fueloil y gas	Cercs	8,57		2011
		Sant Adrià I, II y III y Badalona I y II	19,11		ddaa
		Cubelles	21,68		2015
	nucleares	Ascó I y Ascó II	155,04	155,04	
		Vandellòs I y Vandellòs II	119,68	119,68	
	de ciclo combinado	Port de Barcelona		11,66	2010
		Besòs III y IV		4,73	2002
		Besòs V			
		(sobre antigua Besòs I y II)	4,86	4,86	2010
		Tarragona (Viesgo)		3,37	2003
Tarragona Power (Iberdrola)		2,80	2003		
Plana del Vent I y II		11,59	2007		
Instalaciones de energías renovables	Parques eólicos		4.023,98	ddaa	
	Huertos y parques fotovoltaicos		795,68	ddaa	
	Termosolar Borges		54,30	2013	
Superficie total ocupada		6.890,67	13.223,43		

Nota: Las fechas de alta o baja de las instalaciones se muestran en color verde y rojo respectivamente, siempre que éstas hayan tenido lugar a lo largo del período estudiado (1990-2015).

Fuente: Elaboración propia a partir de las fuentes citadas para cada tipo de instalación.

Los resultados obtenidos permiten constatar cómo la superficie que ocupa cada tipología de generación presenta importantes diferencias, tanto por comarcas como para el conjunto de Cataluña (FIG. 4). De acuerdo con el momento de máximo desarrollo de cada tipología, se puede observar, además, una cierta sucesión. Así, la ocupación de extensos valles fluviales para aprovechamientos hidroeléctricos que dominó la producción de electricidad durante buena parte del siglo XX, cedió protagonismo a partir de las décadas de 1960 y 1970 a formas de producción menos sostenibles en términos ambientales, pero mucho menos consumidoras de suelo, como eran las centrales térmicas convencionales y las centrales nucleares. La progresiva implantación de instalaciones eólicas y solares a partir de la última década del siglo XX comportará seguramente grandes beneficios desde el punto de vista ambiental, pero ha requerido, otra vez, la afectación de grandes extensiones de suelo para generar electricidad.

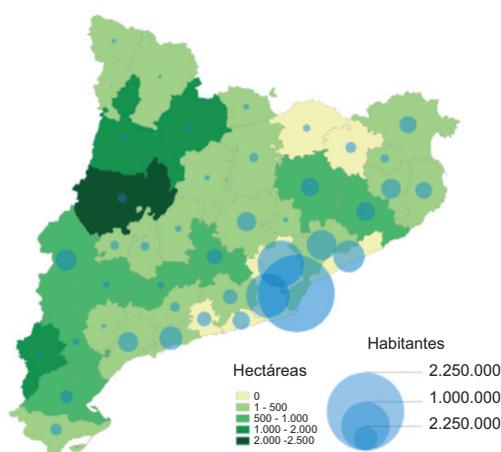


FIG. 4/ Superficie ocupada por las infraestructuras de producción de electricidad en las comarcas catalanas

Fuente: Elaboración propia a partir de Las fuentes citadas en la FIG. 2 y, para la población, de los datos del Institut d'Estadística de Catalunya.

Desde el punto de vista de la ubicación territorial, destaca igualmente la distancia entre los territorios de producción y los de consumo de energía eléctrica. Así, las cinco comarcas que concentran más de la mitad de la superficie destinada a la producción de electricidad (la Ribera d'Ebre, la Terra Alta, l'Alt Urgell, el Pallars Jussà y la Noguera aportan el 51,4% de la superficie) tan sólo consumen el 2,4% del total. De la misma manera, diecinueve comarcas que concentran más de tres cuartas partes del consumo (76,4%) aportan menos de un 1% (0,87%) de la superficie total destinada a la producción de energía eléctrica¹⁴.

4. Superficie ocupada, producción de electricidad y eficiencia territorial de las diversas formas de generación

Los valores de producción de electricidad y ocupación del suelo son, como se ha visto, muy diferentes en función de la tipología de generación. Lo que es igualmente destacable, sin embargo, es que no únicamente las dos magnitudes citadas presentan diferencias significativas para cada tecnología, sino que también la relación entre ambas, es decir, el volumen de producción por unidad de superficie, es igualmente diverso.

Así, la Figura 5 muestra la eficiencia territorial de cada tipología de generación, es decir, las hectáreas que necesita para producir un GWh de electricidad en un año. Lo primero que se puede observar es que las fuentes no renovables requieren mucho menos espacio que las renovables para generar la misma cantidad de electricidad. Así, mientras los ciclos combinados necesitan 64 m² para producir un GWh y las centrales nucleares 113 m², las instalaciones solares termoeléctricas superan la media hectárea (6.425 m²), la producción hidroeléctrica llega a una hectárea y media (14.970 m²) y los parques eólicos casi dos hectáreas (19.031 m²)¹⁵. Esta gran diferencia en las

¹⁴ Los datos de consumo por comarcas corresponden al año 2008 (GURB 2014).

¹⁵ Cabe aclarar que se está ofreciendo un valor medio de la relación entre la superficie y la producción de electricidad de cada tipología de generación en Cataluña entre los años 2013 y 2015, no un valor teórico extrapolable a otros lugares o años. Al hablar de producción de electricidad, el cálculo de este coeficiente depende de la eficiencia de cada tecnología, pero también de factores tan diversos como su intensidad de uso, las características geográficas del lugar que acoge las instalaciones o las variaciones meteorológicas del período analizado. Por este motivo, las estimaciones realizadas en otros trabajos (MÜLLER & *al.*, 2011; ANDREWS & *al.*, 2011;

MCDONALD & FARGIONE, 2016; CHENG & HAMMOND, 2016) muestran valores sensiblemente diferentes en función tanto del criterio de delimitación (especialmente en el caso de la energía eólica) como de los ámbitos territoriales a los que se refieren, de manera que su generalización resulta muy difícil, tal como subrayan diversos autores (FTHENAKIS & KIM, 2009; SANS & PULLA, 2014). Las magnitudes que aquí se ofrecen son, por lo tanto, una media para cada tipología de generación a partir de datos observados de producción y superficie en Cataluña. Como se ha dicho, y para evitar el posible sesgo de resultados a causa de las condiciones de producción de un único año de referencia, se han utilizado los datos correspondientes a los tres últimos años (2013, 2014 y 2015).

FIG. 5/ Hectáreas ocupadas y GWh producidos por las instalaciones de generación de electricidad en Cataluña según tipología, 2013, 2014 y 2015*

Tipo de producción	hectáreas ocupadas	GWh producidos (meda de los tres años)	hectáreas ocupadas para producir un GWh
Embalses para producción hidroeléctrica	8.035,74	5.367,91	4.769,29
Centrales ciclos combinados	39,01	6.071,30	7.098,59
Centrales nucleares	274,72	24.251,69	24.287,86
Parques eólicos	4.023,98	2.984,72	2.695,75
Parques y huertos solares fotovoltaicos	795,68	418,09	416,80
Instalaciones solares termoeléctricas	54,30	84,52	88,11
TOTAL	13.223,43	39.178,23	0,3375

*: Los datos de producción incluyen totes las instalaciones de generación para cada tipología, mientras que las de superficie únicamente recogen las instalaciones descritas en el apartado 3. Esto significa que la generación hidroeléctrica fluyente o la proveniente de paneles fotovoltaicos instalados en tejados o fachadas de edificios, a pesar de ser relativamente reducida, puede presentar una pequeña sobrevaloración respecto a la producción de las instalaciones superficializadas en este trabajo.

Fuente: Superficies: Elaboración propia a partir de las fuentes citadas para cada tipo de instalación; Producción: INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA: *Balanç elèctric 1990-2009* y *Balanç d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2015*

necesidades de suelo para producir electricidad a partir de fuentes renovables y no renovables queda recogida igualmente en la FIG. 6.

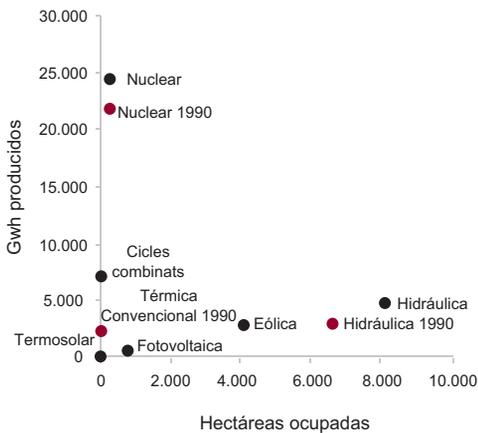


FIG. 6/ Hectáreas ocupadas y GWh producidos por las instalaciones de generación de electricidad en Cataluña según tipología, 1990 y 2015

Fuente: Superficies: Elaboración propia a partir de las fuentes citadas para cada tipo de instalación; Producción: INSTITUT CATALÀ DE L'ENERGIA: *Balanç elèctric 1990-2009* y *Balanç d'energia elèctrica de Catalunya 2010-2015*

En conjunto, pues, las instalaciones de generación de electricidad a partir de combustibles fósiles (incluido el uranio) necesitan, como media, 103 m² para producir un GWh en un año, mientras que las fuentes renovables precisan de 13.976 m² (1,4 hectáreas). Es decir, si se quisiera producir la misma electricidad que se genera actualmente en Cataluña a partir de combustibles fósiles, 30.323 GWh, únicamente a partir de las tres fuentes renovables citadas (eólica, fotovoltaica y solar termoeléctrica) se necesitarían 42.380 hectáreas. En total pues, sumando la hidráulica y la superficie actualmente ocupada por las renovables y restando la que ocupan las centrales de ciclo combinado, la producción eléctrica requeriría 55.251 hectáreas, es decir 4,2 veces las 13.223 hectáreas actuales¹⁶.

Esta afirmación requiere, sin embargo, dos matizaciones importantes. En primer lugar, cabe recordar que a la hora de cuantificar la huella territorial de la producción de cada fuente de energía no se ha considerado la extracción de los materiales y recursos necesarios para su explotación. Esto afecta a todas las formas de producción consideradas, pero es especialmente relevante en el caos de los combustibles fósiles (uranio, gas natural, petróleo, etc.). Es

¹⁶ No se descuenta la superficie ocupada por las centrales nucleares porque se considera que su uso quedará

restringido por un período de tiempo muy prolongado.

tos proceden en su gran mayoría de fuera de Cataluña (y de España) y, de hecho, comportan la afectación de grandes superficies de terreno en otras partes del mundo. No se ha tenido en cuenta, tampoco, la superficie de los ámbitos necesarios para el almacenamiento de los residuos de producción energética que, en algunos casos, como en el nuclear, pueden ser muy relevantes, tanto por la superficie ocupada como, sobre todo, por la exclusión de otros usos durante largos períodos de tiempo.

El segundo matiz que podría introducirse es el de la consideración del transporte de energía, ya que, como se ha dicho, las comarcas que aportan una mayor superficie para la producción de electricidad se encuentran alejadas de los principales centros de consumo. De todas formas, se observan diferencias entre las diversas tecnologías de generación, especialmente en lo que se refiere a las centrales de ciclo combinado que, por sus características, pueden situarse más cerca de las principales áreas de consumo. En cualquier caso, la necesidad de garantizar la seguridad en el suministro energético recomienda la interconexión del máximo número de puntos de producción con el máximo número de puntos de consumo a partir de una red mallada. A la espera de disponer de posibilidades de almacenamiento de electricidad muy superiores a las actuales, la transición hacia un modelo basado en fuentes de generación renovables como la eólica o la solar, más dependientes de las condiciones meteorológicas de cada lugar, obligará a disponer de redes de transporte y distribución tanto o más densas que las actuales.

5. Conclusiones

Desde el punto de vista de la sostenibilidad ambiental, las ventajas de la utilización de fuentes renovables para la producción de electricidad sobre los combustibles fósiles han sido ampliamente identificadas y cuantificadas. Estas ventajas van desde la preservación de unos recursos finitos a la minoración de las emisiones de CO₂ o de múltiples formas de contaminación, tanto aquellas generadas en su consumo como también durante el proceso de obtención, tratamiento y transporte. A estos beneficios ambientales aún cabe añadir otros de carácter económico, no únicamente por lo que respecta a las finanzas locales de los municipios que acogen estas instalaciones, sino también para el conjunto de la economía. Relevantes resultan, asimismo, los beneficios sociales, puesto que las energías renovables representan una alternativa a un sistema energético globalizado

y controlado en gran medida por grandes corporaciones internacionales a menudo alejadas de la realidad social y económica de los territorios en los que operan.

Sin embargo, el análisis realizado en este trabajo ha mostrado como el impacto sobre el territorio de las infraestructuras de generación de electricidad a partir de fuentes renovables es, en términos de consumo de suelo, muy superior al producido por las que utilizan combustibles fósiles (sin considerar, como se ha advertido, los espacios correspondientes a las explotaciones de los recursos primarios y las infraestructuras de transporte necesarias para llevarlos a las plantas de generación). Así, la superficie total ocupada en Cataluña por las instalaciones de generación de electricidad en 2015 era de 13.223,4 hectáreas, el 97,6% de las cuales corresponde a fuentes renovables: embalses para aprovechamientos hidroeléctricos (60,8%), parques eólicos (30,4%), parques y huertos fotovoltaicos (6,0%) y plantas de aprovechamiento solar termoeléctrico (0,4%). Las centrales térmicas que utilizan combustibles fósiles ocupan el 2,4% restante.

La proliferación de instalaciones de energías renovables a lo largo de los últimos veinticinco años, juntamente con la construcción del embalse de Rialb, ha provocado que, en el conjunto de Cataluña, la superficie destinada a alojar infraestructuras de generación de electricidad se haya multiplicado por dos, pasando de las 6.890,7 hectáreas del año 1990 a las citadas 13.223,4 hectáreas de 2015. Como ha sido advertido, estas superficies no pueden ser consideradas en todos los casos exclusivas para el uso energético, ya que tanto los embalses como las áreas ocupadas por parques eólicos o fotovoltaicos permiten, en mayor o menor medida, la convivencia con otros usos, tanto humanos como naturales. Pero el uso principal que caracteriza estos espacios es el de la producción de electricidad.

A partir de las superficies ocupadas por cada tipología de generación, los resultados del trabajo han permitido observar también como en Cataluña la producción de electricidad a partir de fuentes renovables requiere una media de 1,4 hectáreas (14.000 m²) para producir un GWh de electricidad en un año, mientras que para las tecnologías que utilizan combustibles fósiles bastan 103 m². A esto cabe añadir que la extensión no es la única variable a tener en cuenta a la hora de valorar el impacto territorial de estas instalaciones de generación, sino que también lo son la calidad y valores paisajísticos, naturales o agrarios de los espacios que

ocupan, los cuales se pueden ver claramente alterados. Cuando, además, como sucede en la mayoría de instalaciones que generan electricidad a partir de fuentes renovables, el suelo ocupado se encuentra alejado de los grandes núcleos de consumo y disperso sobre el territorio, los impactos son todavía mayores.

La evolución hacia un modelo de generación de electricidad altamente consumidor de suelo no deja de ser hasta cierto punto paradójico. En primer lugar, porque el surgimiento de las centrales térmicas había representado un paso en la dirección contraria, es decir, una tendencia a reducir la dependencia de las grandes superficies requeridas por los embalses para la producción de electricidad por recintos relativamente pequeños y cercanos a los centros de consumo. Y, en segundo lugar, sobre todo, porque el discurso sobre la transición hacia un modelo energético más sostenible debería considerar todas las ventajas ambientales y sociales que hemos citado más arriba, pero también las de unas características de localización y ocupación del espacio muy diferentes a las actuales.

Es cierto que, por lo menos en lo referente a la generación de electricidad, la utilización de fuentes primarias renovables ha ganado peso claramente sobre las fuentes fósiles a lo largo de los últimos veinticinco años. Y es igualmente cierto que se ha avanzado sustancialmente en el desarrollo de pequeñas instalaciones de baja producción o para autoconsumo en muchos lugares. En paralelo, sin embargo, las mismas instalaciones que permiten alcanzar la actual cuota de generación renovable prácticamente han doblado el suelo ocupado y, excepto por una pequeña proporción, han tendido a localizarse en espacios naturales o agrarios, alejados en general de los grandes centros de consumo. En términos de magnitud y velocidad de la ocupación de suelo,

nunca antes la generación de electricidad había tenido un impacto tan grande sobre el territorio como en los últimos veinticinco años.

No ha sido el objetivo de este trabajo cuestionar las ventajas ni la conveniencia del actual proceso de transición a un modelo energético basado en fuentes renovables. Al contrario, es precisamente porque se desea que esta transición sea una realidad por lo que se pretende que considere también su impacto territorial. Y no ha sido tampoco el objetivo determinar si las razones que explican este modelo de ocupación del suelo y su consiguiente impacto territorial son de origen tecnológico o estructural. En el primer caso, los futuros incrementos de eficiencia permitirían liberar el territorio de buena parte de las infraestructuras energéticas que hoy lo ocupan y considerar el actual modelo de localización como una etapa transitoria en el congruente proceso de acercar la producción al consumo. Por el contrario, si fueran de origen estructural, nos hallaríamos ante la paradoja de que incluso en la transición hacia un modelo energético basado en fuentes renovables se tiende a reproducir la estructura empresarial y el sistema de relaciones entre los diversos agentes que conforman el modelo actual. En cualquier caso, cabe recordar que, a pesar de no disponer de las extensiones de terreno existentes en las áreas rurales, los núcleos urbanos y grandes centros de actividad disponen de múltiples áreas para acoger instalaciones energéticas, desde los tejados y fachadas a vacíos urbanos infrautilizados. Las propuestas y compendios de experiencias de su uso para la generación de electricidad son ya abundantes en todo el mundo¹⁷ y señalan seguramente la vía a seguir para conjuntar la transición energética hacia formas de generación de electricidad más renovables con un menor impacto territorial.

6. Bibliografía

ALAYO, JC (2007): *L'electricitat a Catalunya: de 1875 a 1935*. Lleida: Pagès.
 ANDREWS, C. & al. (2011): «Climate Change Policies and Land Use», in Gregory K. INGRAM & Yu-Hung HONG (eds.): *Climate Change and Land Policies*. Cambridge, Massachusetts: Lincoln Institute of Land Policy.

BARTOLOMÉ, I. (2007): «La industria eléctrica en España (1890-1936)», *Estudios de Historia Económica*, nº 50, Banco de España.
 BOLAÑOS, A. (2013): «Mucho gas para tan poca luz», *El País*, 26 de diciembre de 2013.
http://sociedad.elpais.com/sociedad/2013/12/26/actualidad/1388082770_720869.html

¹⁷ Resulta imposible citar aquí las múltiples iniciativas realizadas a nivel internacional. Para una síntesis de las principales lecciones aprendidas véase, por ejemplo, las guías

y propuestas de la INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA, 2009) o de la INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA, 2016b).

- CAPEL, H. (dir.) (1994): *Les tres xemeneies. Implantació industrial, canvi tecnològic i transformació d'un espai urbà barceloní*, (3 vols.). Barcelona: FECSA.
- & V-CASALS (eds.) (2013): *Capitalismo e historia de la electrificación, 1890-1930. Capital, técnica y organización del negocio eléctrico en España y México*. Barcelona: Ediciones del Serbal.
- CARRERAS, JM & al. (2009): *El Pla general d'obres públiques de 1935: Política, infraestructures i territori*. Barcelona: Departament de Política Territorial i Obres Públiques.
- CASTELL, E. & O. NEL·LO (2003): «Els parcs eòlics de les serres de Pàndols i Cavalls. Energia, valors ambientals i memòria històrica», en Oriol NEL·LO (ed.): *Aquí, no! Els conflictes territorials a Catalunya*. Barcelona: Empúries.
- CHENG, V. & G. P. HAMMOND (2016): «Life-cycle energy densities and land-take requirements of various power generators: A UK perspective», *Journal of the Energy Institute*, XXX (2016) 1-13.
- DDAA (2005): «Impacte de les nuclears a Catalunya», *Userda. Revista de pensament ecologista*, núm. 17, II època, desembre de 2005. <http://userda.com/NUMEROSANTERIORES/200512.htm>
- (2013): *Ecovalue. Cuantificación del impacto de las energías renovables en España*. Madrid: Escuela de Organización Industrial. <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20791/ecovalue-cuantificacion-del-impacto-de-las-energias-renovables-en-espana>
- DENHOLM, P. & al. (2009): *Land-Use Requirements of Modern Wind Power Plants in the United States*. National Renewable Energy Laboratory, Technical Report NREL/TP-6A2-45834. <http://www.nrel.gov/docs/fy08osti/42463.pdf>
- ECOLOGISTAS EN ACCIÓN (2015): *Hacia un escenario energético justo y sostenible en 2050*. <http://ecologistasenaccion.org/articulo2050.html>
- ECOLOGISTES EN ACCIÓ (2005): *Els impactes de la central tèrmica de Cercs l'any 2004*. Barcelona. https://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe_cercs_2004.pdf
- ENERGY INFORMATION ADMINISTRATION (EIA) (online): «Electricity and the environment». http://www.eia.gov/energyexplained/?page=electricity_environment
- FELIU, J. (2003): «La línia elèctrica de les Gavarres. Infraestructures energètiques, paisatge i salut», en Oriol NEL·LO (ed.): *Aquí, no! Els conflictes territorials a Catalunya*. Barcelona: Empúries.
- FERNÁNDEZ DURÁN, R. & L. GONZÁLEZ REYES (2014): *En la espiral de la energía*. Madrid: Libros en acción. <http://www.ecologistasenaccion.org/articulo29055.html>
- FTHENAKIS, V. & H. CHUL KIM (2009) «Land use and electricity generation: A life-cycle analysis», *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13 (2009) 1465-1474.
- FUNDACIÓ DEL MÓN RURAL (2008): *La implantació territorial de les energies renovables a Catalunya. El món rural com a generador d'energia*. <http://www.fmr.cat/sites/default/files/adjunts-fons/la-implantacio-territorial-energies-renovables-a-cat.pdf>
- GONZÁLEZ, E. (2008): «El sector nuclear español. Historia, impacto económico y proyección», *Economía industrial*, Núm. 369.
- GRUP D'ESTUDIS SOBRE ENERGIA, TERRITORI I SOCIETAT (GURB) (2014): «Consum d'electricitat als municipis catalans, 2008. Generació, consum i saldo de les comarques catalanes», *Làmines d'Informació del Grup d'Estudis sobre Energia, Territori i Societat*, núm. 6, juliol 2014. <https://gurbuab.com/dades/>
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA) (2002): «Environmental and health impacts of electricity generation». <http://www.ieahydro.org/media/b9067994/A%20Comparison%20of%20the%20Environmental%20Impacts%20of%20Hydropower%20with%20those%20of%20Other%20Generation%20Technologies%20.pdf>
- (IEA) (2009): «Cities, Towns & Renewable Energy Yes In My Front Yard». París. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/cities2009.pdf>
- INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY (IRENA) (2016a): *Renewable energy benefits: Measuring the economics*. IRENA, Abu Dhabi. http://www.irena.org/DocumentDownloads/publications/IRENA_Measuring-the-Economics_2016.pdf
- (IRENA) (2016b): *RenewableEnergyinCities*. IRENA, Abu Dhabi. http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_Renewable_Energy_in_Cities_2016.pdf
- (IRENA) & CLEAN ENERGY MINISTERIAL (CEM) (2014): *The Socio-economic Benefits of Solar and Wind Energy: an econValue report*. IRENA-CEM http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Socioeconomic_benefits_solar_wind.pdf
- MALUQUER, J. (1992): «Los pioneros de la segunda revolución industrial en España: la Sociedad Española de Electricidad (1881-1894)», *Revista de Historia Industrial*, Núm. 2.
- MARGARIT, J. (Coord.) (2011): *Impacto económico de las energías renovables en el sistema productivo español. Estudio técnico PER 2011-2020*. Madrid: Instituto para la diversificación y ahorro de la energía.
- & R. VERNET (2008): «Té sentit escampar arreu del territori parcs eòlics i parcs solars?», en A.FERRAN & C. CASAS (coords.): *La cultura del No. El conflicte ambiental i territorial a Catalunya*. Vic: Eumo Editorial.
- MARTÍN, D. (2014): «Conflictes territorials per la implantació de l'energia eòlica al sud de Catalunya», Greenhub, online. <http://www.greenhub.cat/conflictes-territorials-per-la-implantacio-de-lenergia-eolica-al-sud-de-catalunya/>
- MONTANER, C. (1998): «Mapes topogràfics per als projectes hidroelèctrics a Catalunya (1890-1936)», *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 32, p. 161-174.
- MÜLLER & al. (2011): *Renewable Energy. Policy considerations for deploying renewables*. París: International Energy Agency. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Renew_Policies.pdf

- PUIG, J. (2014): «Energía Comunal: el derecho de las personas a las Energías Renovables», en Cote ROMERO & J.V. BARCIA MAGAZ (eds.): *Alta tensión. Por un nuevo modelo energético sostenible, democrático y ciudadano*. Barcelona: Icaria editorial.
- RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA (2016): *Informe del Sistema Eléctrico Español 2015*.
<http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/informe-anual/informe-del-sistema-electrico-espanol-2015>
- SALADIÉ, S. (2011): «Els conflictes territorials del sistema elèctric a Catalunya», *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, n. 71-72. Barcelona: Societat Catalana de Geografia.
- (2014): *Impacte econòmic de les centrals eòliques en els pressupostos municipals a Catalunya. Estudi comparatiu*. Lleida: Associació de Municipis Eòlics de Catalunya, Ajuntament de La Granadella i Pagès Editors.
- (2016): «Paisatge i conflictes territorials a les comarques meridionals de Catalunya». Tesis doctoral dirigida per el Dr. Josep Oliveras i Samitier. Universitat Rovira i Virgili. Tarragona.
- SANS, R. & E. PULLA (2014): *El col·lapse és evitable. La transició energètica del segle XXI (TE21)*. Barcelona: Ediciones Octaedro, S.L.
- SCHEER, H. (2009): *Autonomía energética. La situación económica, social y tecnológica de la energía renovable*. Barcelona: Icaria.
- SIERRA, J. (coord.) (2015): *Estrategia energética española a medio y largo plazo: mix y mercados. Análisis comparado y propuestas*. Madrid: Club Español de la Energía.
- SOCIETAT CATALANA D'ORDENACIÓ DEL TERRITORI (SCOT) (online): «Base de dades de l'Observatori de projectes i debats territorials de Catalunya».
<http://territori.scot.cat/index.php>
- SUDRIÀ, C. (1989): «L'energia: de l'alliberament hidroelèctric a la dependència petrolera», a DDAA: *Història econòmica de la Catalunya Contemporània*, vol 5, *Segle XX: Població, agricultura i energia*. Barcelona: Enciclopèdia Catalana.
- TARRAUBELLA, X. (Coord.) (2012): «El Pallars il·lumina Catalunya. 1912-2012. Cent anys d'energia hidroelèctrica, cent anys de patrimoni industrial», Catàleg de l'exposició homònima.
- (2013): «Els aprofitaments hidroelèctrics pirinencs i el seu impacte al Pallars». *Barcelona quaderns d'història*, núm. 19.
- TRAINOR & al. (2016): «Energy Sprawl Is the Largest Driver of Land Use Change in United States», *PLoS ONE* 11(9).
<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0162269>
- URTEAGA, L. (2003): «El procés d'electrificació a Catalunya (1881-2000)», en Salvador TARRAGÓ (ed.): *Obres públiques a Catalunya. Passat, present i futur*. Barcelona: Real Academia de Ingeniería.
- VILAR, P. (1929): «La vie industrielle dans la région de Barcelone», *Annales de Géographie*, t. 38, n°214, 1929. pp. 339-365.
http://www.persee.fr/doc/geo_0003-4010_1929_num_38_214_9775
- ZOGRAFOS, C. & S. SALADIÉ (2012): «La ecología política de conflictos sobre energía eólica. Un estudio de caso en Cataluña», *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 2012, vol. 58/1, p. 177-192.

Referencias a sitios web

- Ref. 1: <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/>
- Ref. 2: http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energetic/
- Ref. 3: http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energia/
- Ref. 4: <http://www.ree.es/es/estadisticas-del-sistema-electrico-espanol/series-estadisticas/series-estadisticas-por-comunidades-autonomas>
- Ref. 5: <http://ec.europa.eu/eurostat/web/energy/data/database>
- Ref. 6: <http://sieeweb.idae.es/consumofinal/bal.asp?txt=2014&tipbal=t>
- Ref. 7: <http://eoliccat.net/situacio-eolica/historia-de-leolica/>
- Ref. 8: <http://www.geolocal.cat/geoLocal/visorParcsEolics.jsp>
- Ref. 9: <http://eoliccat.net/situacio-eolica/lIlistat-de-parcs-eolics/>
- Ref. 10: <http://www.aeeolica.org/es/map/cataluna/>
- Ref. 11: http://aca-web.gencat.cat/aca/appmanager/aca/aca_nfpb=true&_pageLabel=P41800277491338804707154
- Ref. 12: http://icaen.gencat.cat/ca/energia/estadistiques/resultats/anuals/produccio_energia/
- Ref. 13: <http://iber.chebro.es/geoportal/>
- Ref. 14: <http://www.icc.cat/vissir3/>

- Ref. 15: <http://www.crea.uab.es/mcsc/descriptiu.htm>
- Ref. 16: http://geoserveis.icc.cat/icc_mapesbase/wms/service?
- Ref. 17: <http://www.minetur.gob.es/energia/electricidad/Paginas/Index.aspx>

Lista de acrónimos

- ACA: Agència Catalana de l'Aigua
- CHE: Confederación Hidrográfica del Ebro
- CEM: Clean Energy Ministerial
- CREAF: Centre de Recerca Ecològica i Aplicacions Forestals
- EIA: Energy Information Administration
- GURB: Grup de Recerca sobre Energia, Territori i Societat (UAB)
- ICAEN: Institut Català de l'Energia
- ICGC: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
- IDAE: Instituto para la Diversificación y el Ahorro de la Energía
- IEA: International Energy Agency
- IRENA: International Renewable Energy Agency
- MCSC2009: Mapa de cubiertas del suelo de Cataluña. 4ª edición, 2009
- TES: Departament de Territori i Sostenibilitat de la Generalitat de Catalunya
- WMS: Web Map Service