



CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la
Universidad Tecnológica Indoamérica

ISSN: 1390-9592

ISSN: 1390-681X

cienciamerica@uti.edu.ec

Universidad Tecnológica Indoamérica

Ecuador

Riba Sanmartí, Genís; Riba Romeva, Carles
TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LAS GRANDES CIUDADES
CienciAmérica: Revista de Divulgación Científica de la Universidad Tecnológica
Indoamérica, vol. 11, núm. 2, <https://doi.org/10.33210/ca.v11i2.392>, 2022, Julio-Diciembre
Universidad Tecnológica Indoamérica
Ecuador

- ▶ Número completo
- ▶ Más información del artículo
- ▶ Página de la revista en redalyc.org



TRANSICIÓN ENERGÉTICA Y LA SOSTENIBILIDAD DE LAS GRANDES CIUDADES

Energy transition and the sustainability of big cities
Transição energética e a sustentabilidade das grandes cidades

Genís Riba Sanmartí¹  & Carles Riba Romeva² 

¹ Centro de Diseño de Equipos Industriales, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. genis.riba@upc.edu

² Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. carles.riba@upc.edu

Fecha de recepción: 30 de junio de 2022.

Fecha de aceptación: 06 de septiembre de 2022.

RESUMEN

Uno de los principales retos del futuro sistema energético renovable consistirá en dar una solución adecuada al impacto territorial que comportará el proveimiento de energía a las grandes ciudades. **INTRODUCCIÓN.** Las principales fuentes de energía renovable proceden de flujos naturales (radiación solar, lluvias, vientos) que deben ser captados en base a grandes extensiones de territorio, lo que no sucede en el sistema basado en combustibles fósiles. **OBJETIVO.** El presente trabajo establece una metodología para estimar estas superficies de captación de las fuentes energéticas renovables, así como su distribución en el territorio, a la vez que pone de manifiesto algunos de los parámetros para su posible solución futura. **MÉTODO.** Partiendo de la estimación de la energía útil para satisfacer las necesidades de una determinada gran ciudad, se evalúan las superficies de captación de las energías renovables (en equivalente fotovoltaico) y su incidencia en el territorio. **RESULTADOS.** La metodología se ejemplifica en base a su aplicación a las ciudades de Quito, Barcelona, París, Moscú, Nueva York y Shanghái. **DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.** Los resultados del presente trabajo ponen de manifiesto que el proveimiento de energía para las grandes ciudades va a ser uno de los puntos más críticos de la transición energética a las fuentes renovables; a su vez, el trabajo también aporta algunos elementos para su solución.

Palabras claves: transición energética, grandes ciudades, territorio.

ABSTRACT

One of the main challenges of the future renewable energy system will be to provide an adequate solution to the territorial impact that the supply of energy to large cities will entail.



INTRODUCTION. The main sources of renewable energy come from natural flows (solar radiation, rain, wind) that must be captured based on large extensions of territory, which does not happen in the system based on fossil fuels. **OBJECTIVE.** The present work establishes a methodology to estimate these surfaces and their distribution in the territory, at the same time that it shows some of the parameters for their possible future solution. **METHOD.** Starting from the estimation of the useful energy to satisfy the needs of a given large city, the collection surfaces (in photovoltaic equivalent) and their impact on the territory are evaluated. **RESULTS.** This methodology is exemplified based on its application to the cities of Quito, Barcelona, Paris, Moscow, New York and Shanghai. **DISCUSSION AND CONCLUSIONS.** The results of this work show that the supply of energy for large cities is going to be one of the most critical points in the energy transition to renewable sources.

Keywords: energy transition, large cities, territory.

RESUMO

Um dos principais desafios do futuro sistema de energias renováveis será dar uma solução adequada ao impacto territorial que o fornecimento de energia às grandes cidades acarretará. **INTRODUÇÃO.** As principais fontes de energia renovável são provenientes de fluxos naturais (radiação solar, chuva, vento) que devem ser captados com base em grandes extensões de território, o que não ocorre no sistema baseado em combustíveis fósseis. **OBJETIVO.** O presente trabalho estabelece uma metodologia para estimar estas superfícies e a sua distribuição no território, ao mesmo tempo que apresenta alguns dos parâmetros para a sua possível solução futura. **MÉTODO.** A partir da estimativa da energia útil para satisfazer as necessidades de uma dada grande cidade, são avaliadas as superfícies de captação (em equivalente fotovoltaico) e o seu impacto no território. **RESULTADOS.** Essa metodologia é exemplificada com base em sua aplicação nas cidades de Quito, Barcelona, Paris, Moscou, Nova York e Xangai. **DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.** Os resultados deste trabalho mostram que o fornecimento de energia para as grandes cidades será um dos pontos mais críticos na transição energética para fontes renováveis.

Palavras-chave: transição energética, grandes cidades, território

INTRODUCCIÓN

Las zonas urbanas concentran ya más de la mitad de la población mundial [1], y constituyen los principales centros de utilización de recursos básicos, como son la comida, el agua y la energía, en una tendencia que no ha hecho sino acrecentarse desde la Revolución Industrial, y que no tiene visos de cambiar en las próximas décadas.

En un contexto de modernidad de gran consumo energético, muchas ciudades solo son viables bajo la premisa de la disponibilidad de combustibles fósiles abundantes y baratos [2], [3]. Estos garantizan por un lado el suministro de energía eléctrica y térmica a hogares, empresas e instituciones, que para muchos no solo se han hecho indispensables, sino que la vida sin suministro energético estable se hace inimaginable. Por otro lado, también son la base del funcionamiento de las redes logísticas para el transporte de alimentos y otras mercancías, así como la retirada y tratamiento de residuos [4]. Estas redes logísticas se operan en gran medida mediante vehículos con



motores alimentados con derivados del petróleo y cuya sustitución por sistemas alternativos (eléctricos, de hidrógeno...), por lo menos a corto plazo, se antoja complicada. Adicionalmente, la movilidad de personas en zonas urbanas sigue dependiendo en gran medida de coches, que a día de hoy siguen operando en su gran mayoría con motores de combustión interna [5].

Esta movilidad es clave para la organización urbana moderna, que separa las zonas de producción de las residenciales, creando la necesidad de desplazamientos diarios para una buena parte de los trabajadores.

Lamentablemente, la premisa de la disponibilidad de combustibles fósiles abundantes y baratos es cada vez menos cierta [6], [7]. En muchas regiones, el precio de la energía (gasolina, electricidad, gas natural para consumo doméstico o industrial...) se ha más que duplicado en cuestión de meses, en parte debido al conflicto bélico entre Rusia y Ucrania, que ha acelerado los efectos de las dinámicas de agotamiento de los combustibles fósiles. A ello se une la desinversión de las grandes compañías en exploración, extracción y tratamiento de combustibles fósiles debido a la emergencia climática, al tiempo que se desvía el esfuerzo en el desarrollo e instalación de sistemas de captación de energía renovable moderna, especialmente mediante placas solares y turbinas eólicas.

La transición a energías renovables, no obstante, no es simplemente un cambio de fuentes para mantener el sistema inalterado, sino que se trata de una transformación entre fuentes de energía cualitativamente muy distintas. Los combustibles fósiles tienen una gran densidad (máscica y volumétrica) de energía y potencia y una gran estabilidad que permiten su transporte a grandes distancias, y su almacenamiento para un uso discrecional. Por su parte, las fuentes renovables tienen una naturaleza de flujo variable y de baja densidad de energía y potencia, lo que requiere superficies de captación mucho mayores que en el caso de los fósiles. Además, no es posible almacenar la fuente primaria (viento, radiación solar), o solo a escala relativamente pequeña (hidráulica, biomasa), y puesto que el principal objetivo del paradigma actual es usarlas para generar electricidad, que tampoco es posible de almacenar a gran escala, el uso discrecional no es posible al nivel que permiten los combustibles fósiles.

Todo esto nos llevará a tener que reorganizar las zonas urbanas alrededor del nuevo modelo energético. La creciente dificultad para mantener las redes de transporte globales favorece la producción de proximidad para asegurar la continuidad y seguridad del abastecimiento, especialmente de alimentos [8]–[10], mientras que el paradigma renovable obliga a las ciudades a la captación local de energía para cubrir una parte importante, sino toda, de su demanda energética. En algunos casos, es probable que se tenga que reducir el tamaño de las ciudades para mantener su viabilidad, especialmente en el caso de megaurbes y de ciudades muy dependientes de los combustibles fósiles para su abastecimiento y transporte [2].

Estas dos tendencias de relocalización de la producción (de energía y de alimentos) chocan en un aspecto clave: ambas requieren de grandes extensiones de terreno para su implementación. En el caso de las renovables, su efecto y afectación

depende en gran medida de la tecnología que se utilice. Los parques solares ocupan grandes extensiones de terreno, que en ocasiones se puede compatibilizar con otros usos, como residenciales, industriales, agrícolas o incluso con infraestructuras varias (carreteras, canales, embalses...), pero al estar a nivel de suelo su impacto paisajístico es bajo, mientras que las turbinas eólicas requieren menos terreno, pero su elevado impacto paisajístico tiende a causar un mayor rechazo. Los embalses para producción hidroeléctrica suelen estar ya consolidados y forman parte del paisaje, por lo que los existentes se aceptan con naturalidad, mientras que nuevos embalses suelen causar rechazo. Por su parte, las soluciones basadas en biomasa son las que tienen un impacto territorial mayor, y en el caso de biomasa cultivada compite directamente contra los cultivos para alimentos [11], [12].

En general, la transición energética se puede ver como un equilibrio territorial entre la captación de energía, los usos del suelo existentes (forestal, agrícola...), y los servicios que proporcionan estos usos (paisaje, fijación y fertilidad del suelo, ocio, producción de alimentos...) [13].

La afectación sobre el territorio de las energías renovables y la política territorial que se deriva de ella son temas que suelen pasar desapercibidos en el debate público y en los informes de las grandes instituciones, más preocupadas en la financiación y desarrollo de las tecnologías de transición que de su efecto sobre las comunidades rurales y los ecosistemas [14]–[16]. Debido a la complejidad del tema, y la especificidad local de la transición energética, estas grandes instituciones delegan la regulación y estudio de los aspectos territoriales a las administraciones locales y regionales.

En los casos en los que aparece el debate territorial en la esfera pública, suele ser en forma de protesta de actores locales contra la implementación de un proyecto concreto, a menudo mezclando reclamaciones legítimas con actitudes SPAN (“sí, pero aquí no”, *NIMBY* en inglés), más que planteando un debate abierto y honesto sobre la necesidad, las afectaciones territoriales, y las contrapartidas y equilibrios que se deben dar para evitar conflictos y facilitar la transición energética.

Los estudios sobre la afectación territorial de la implantación de sistemas de captación renovable de proximidad ponen de relieve las distintas facetas de esta problemática. [12], [17] determinan la superficie normalizada por energía generada necesaria de las distintas tecnologías energéticas, renovables y no renovables, a lo largo de su ciclo de vida, llegando a la conclusión que, a pesar de la enorme variabilidad dependiendo del lugar, los sistemas renovables tienen un mayor impacto, en especial los de origen agrícola.

Otros autores se centran en la capacidad de las zonas urbanas de proporcionarse su propia energía. [18], [19] se centran en calcular los potenciales máximos de captación en la ciudad de Sevilla y la provincia de Tarragona, respectivamente, que una vez comparados con los usos energéticos estimados para los próximos años, concluyen que son suficientes para cubrir la práctica totalidad de los usos locales, con poca afectación territorial fuera del área urbana. Se trata estimaciones

de máximos, que incluyen la reconversión total de los tejados en sistemas de captación solar, por lo que la aplicabilidad real de estos resultados está por confirmar.

Los cambios en los usos del suelo son otro importante campo de estudio. [20] Observa la competencia entre usos agrícolas y energéticos del suelo, especialmente en suelos productivos, y destaca la importancia de la planificación de los usos del suelo a nivel municipal. Por ejemplo, [21] estima los impactos territoriales que tendrán los planes de transición energética en la India, que pueden llegar hasta los 125,000 km² y afectar hasta 11,900 km² de bosques y 55,700 km² de suelos agrícolas.

En este sentido, la competencia entre usos agrícolas y energéticos del suelo es un tema recurrente, especialmente si se recurre a agrocombustibles o cultivos energéticos de otro tipo [22], [23].

Más allá de la superficie afectada, los captadores renovables tienen un importante efecto paisajístico, que en muchos casos es el principal detonante de conflicto entre actores locales y operadores de renovables. [11] compara el impacto territorial con la percepción pública de las infraestructuras de captación, concluyendo que la visibilidad de las turbinas eólicas causa un mayor rechazo, a pesar de tener un impacto menor en el uso del suelo.

Finalmente, otros autores como [13], [24] se centran en establecer guías para la planificación y regulación de los usos del suelo para gobiernos locales (municipales y regionales).

Ese artículo se centra en avanzar en el análisis de la relación entre energía y ciudad y de su sostenibilidad en el contexto de transición energética a las fuentes de energía no renovable, haciendo especial hincapié en las necesidades de superficies de captación de la energía necesaria. El desarrollo del presente trabajo se articula en los siguientes pasos:

1. Se analiza la evolución de los usos energéticos desde la Revolución Industrial hasta nuestros días, punto de partida de la transición energética actual,
2. Se resume la incidencia del sistema energético actual en el crecimiento de las grandes ciudades,
3. Se evalúan los requerimientos territoriales para la obtención y gestión de la energía antes, durante y después de la era de los combustibles fósiles,
4. Se analiza el transporte como factor determinante de la transición energética en su doble vertiente de facilitador del acceso a territorios alejados y de consumidor de energía,
5. Bajo ciertas hipótesis, se establece una metodología para evaluar las superficies necesarias para obtener y gestionar la energía renovable y su incidencia sobre el territorio, y
6. A modo de ejemplo, se evalúan las superficies de captación y los territorios (presumiblemente cercanos) necesarios para proveer la energía renovable a las ciudades de Quito, Barcelona, París, México Nueva York y Shanghái.

Los resultados ponen de manifiesto la criticidad del subministro energético de las grandes ciudades en el contexto de la actual transición energética lo que se traduce en unos importantes requerimientos de ocupaciones de territorios con instalaciones de captación de energías renovables.

MÉTODO

Evolución de los consumos de energía

En los últimos decenios, los consumos anuales de energía (así como de otros recursos) han aumentado a escala mundial de forma intensa en una Tierra finita. Desde el fin de la Segunda Guerra Mundial en 1945, y en base a crecimientos prácticamente lineales, la población de la Tierra se ha multiplicado por 3,2 hasta los 7.660 millones de habitantes en 2019 y los usos energéticos se han multiplicado por 7,7 hasta los 168.000 TWh/año (Figura 1). Además, desde 1965, los combustibles fósiles suman el 80% o más del sistema energético mundial. En 2019, el porcentaje de combustibles fósiles era de 80,9% y, junto al 5,0% de energía nuclear, sumaban 85,9% de energías no renovables.

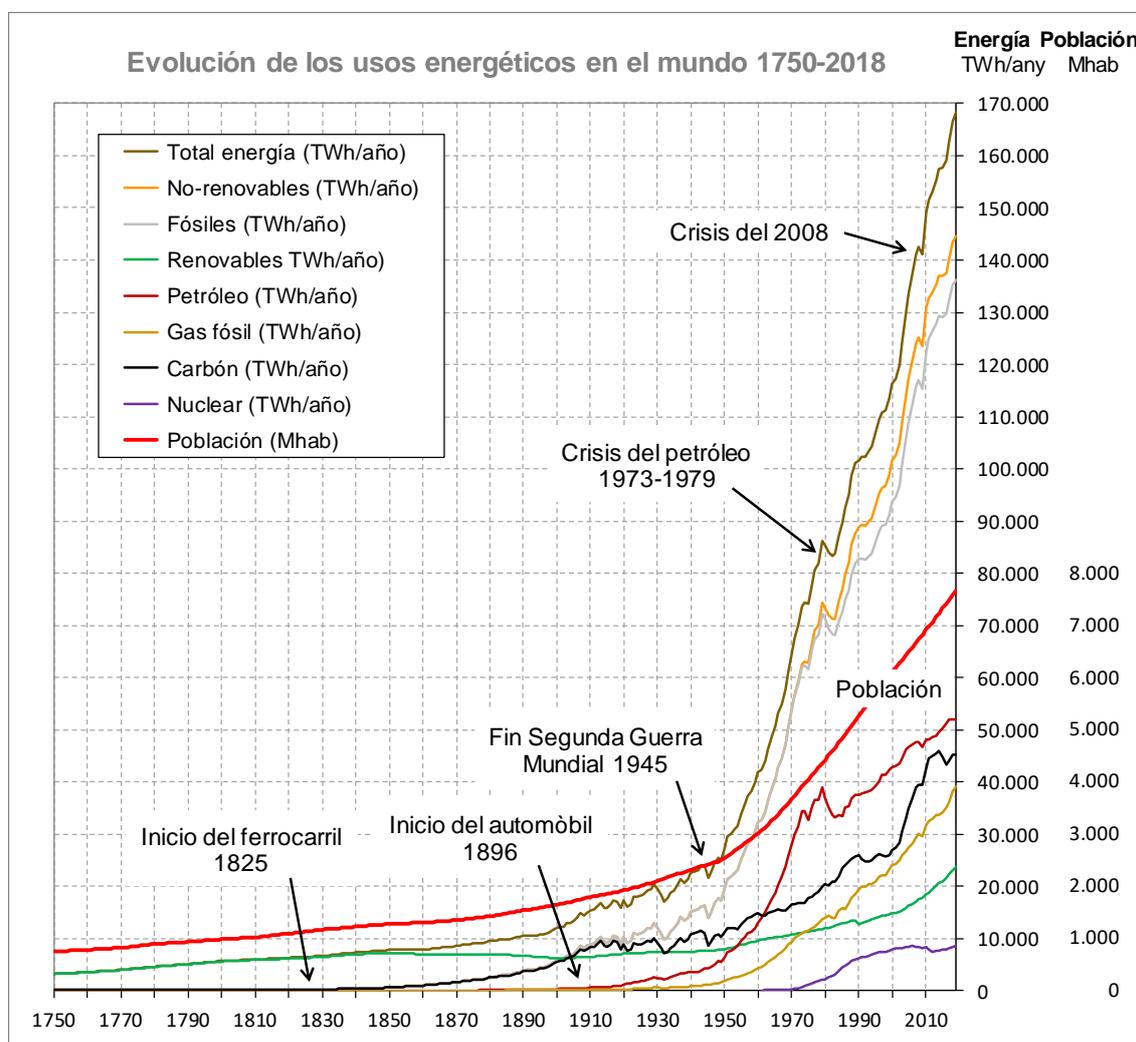


Figura 1. Evolución de los usos energéticos en el mundo desde 1750 a 2019. Fuentes: Población de 1750 a 1960, OWID [25], y desde 1960 a 2019 WB [26]; Energía desde 1750 a 1989, CDIAC [27], y desde 1990 a 2019 IEA [28]. Elaboración: Carles Riba Romeva.

Existen indicios suficientes de que se está llegando al fin de la era de los fósiles. Por otra parte, a la crisis energética se le añade la crisis climática generada en su mayor parte por las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por el uso (combustión) de los propios combustibles fósiles. La humanidad está, pues, a las puertas de tener que acometer una transición energética hacia las fuentes renovables.

Entre las alternativas, a menudo se confía en la energía nuclear. La energía de fisión se basa en el uranio U-235, recurso finito con reservas aún mucho menores que las de los combustibles fósiles, y la energía nuclear de fusión (en caso de acabar siendo viable), va a tardar demasiado en ser operativa cuando la crisis de los fósiles será ya irreversible. Las únicas alternativas viable en el contexto actual son la transición hacia las fuentes energéticas renovables y la reducción en el uso de energía.

Concentración de la población en grandes ciudades

Las civilizaciones se han estructurado en torno a las ciudades como centros que aglutinan el poder, la administración de excedentes, la comunicación, el comercio y el conocimiento. Para mantener su funcionalidad, requieren flujos constantes de recursos, siendo los más básicos la energía, los alimentos y el agua.

A medida que la tecnología y la energía disponible ha aumentado, las ciudades han crecido hasta los límites impuestos por el presupuesto energético solar fruto de la captación de parte de la radiación solar y de sus derivadas, en unos entornos territorial y temporal próximos. Sobre estas bases, el tamaño de las ciudades apenas ha llegado a rebasar 1 millón de habitantes, como Roma a principios de nuestra era.

Con la Revolución Industrial y la explotación de los depósitos de recursos fósiles, las sociedades acceden a cantidades crecientes de energía tan solo limitadas por la capacidad de extracción y de tratamiento. El transporte motorizado rompe los límites geográficos y generaliza el abastecimiento a grandes distancias. Primero Londres a finales del siglo XVIII y, después otras ciudades europeas y americanas inician un crecimiento que se generaliza ya en pleno siglo XX de forma que hoy día existen una docena de ciudades de más de 20 millones de habitantes y más de 500 que sobrepasan el millón. Éste es el contexto en que se plantea la actual transición energética.

El metabolismo actual de las grandes ciudades no es posible sin los combustibles fósiles ya que una parte importante de su proveimiento procede de mercados globales en base al transporte a larga distancia. El petróleo, fundamental para el transporte, está en su cenit y próximo al declive lo que puede tener graves consecuencias en el conjunto de abastecimientos, especialmente en las grandes aglomeraciones.

En la coyuntura actual de transición a las fuentes renovables, el gigantismo de las grandes ciudades representa un importante factor de riesgo. El crecimiento de la población urbana, que en 2007 sobrepasó a la rural y alcanza el 55,7% en 2019 [1] concentrando más del 65% de los usos energéticos [29], se suele considerar un elemento de progreso; sin embargo, las poblaciones están cada vez más alejadas de los recursos para su sostenimiento y cada vez son más dependientes de unos recursos fósiles finitos.

Transición energética y superficies de captación de la energía

Las sociedades preindustriales se basaban en un *presupuesto energético solar*, entendiendo por tal la captación de parte de los flujos de la radiación solar y de sus derivadas (biomasa, vientos, corrientes de agua, algunos de carácter intermitente y/o aleatorio) en unos entornos territorial i temporal reducidos. Al acceder a los depósitos de recursos fósiles, las sociedades se libran de esta limitación y acceden a cantidades crecientes de energía tan solo limitadas por la capacidad de extracción y de tratamiento. Sin embargo, a la larga los recursos no renovables se agotan.

La crisis energética y climática de hoy día nos dirige otra vez a depender de un presupuesto energético solar. Afortunadamente, el salto tecnológico de los últimos 200 años, en gran medida gracias a los fósiles (turbinas hidráulicas, colectores térmicos, células fotovoltaicas, centrales termosolares, turbinas eólicas, baterías, pilas de hidrógeno, etc.), permite captar y gestionar los flujos renovables de forma mucho más eficiente que en el siglo XVIII, lo que compensa en parte las nuevas necesidades de territorio.

Vaclav Smil [12] presenta un sugerente análisis de los requerimientos territoriales de las distintas tecnologías para proporcionar energía. Parte de la definición de densidad de potencia como el flujo de energía que se obtiene para cada tecnología, medido en W/m^2 , sobre un área horizontal de suelo o de superficie de agua teniendo en cuenta el conjunto de etapas y procesos necesarios, en lugar del simple flujo de energía sobre la superficie de trabajo del convertidor. En la Tabla 1, el cuadro de valores que da Smil se ha completado con una columna de valores medios y su conversión a GWh/ha/año.

Tabla 1. Comparación de densidades de potencia de distintas tecnologías de generación de electricidad medias (V. Smil [12])

Fuente de energía	Bajo W/m^2	Alto W/m^2	Medio W/m^2	Medio GWh/ha/a
Central ciclo combinado de gas	200	2000	1.100	96.360
Central de carbón	100	1000	550	48.180
Solar fotovoltaica (PV)	4	9	6,5	0.569
Solar concentrada (CSP)	4	10	7,0	0.613
Energía eólica	0.5	1.5	1,0	0.088
Biomasa	0.5	0.6	0,55	0.048

A fin de visualizar sus repercusiones territoriales, se ha centrado la atención en las densidades energéticas (redondeadas) de tres de estas tecnologías:



- A) La biomasa (0,045 GWh/ha/año), representativa de la época preindustrial
- B) La media entre las centrales de carbón y las de ciclo combinado de gas (72 GWh/ha/año), representativa de la era de los fósiles
- C) La solar fotovoltaica (0,900 GWh/ha/año, previa revisión del valor en función de las producciones de los parques fotovoltaicos de la península ibérica), representativa del futuro sistema energético renovable.

Ello significa que, para una misma energía:

1. La transición de una economía preindustrial, basada en un presupuesto energético solar, a una economía basada en los combustibles fósiles supone una reducción de los requerimientos territoriales de 1.600 veces (el uso de combustibles fósiles obvia las superficies de captación);
2. La transición desde el sistema fósil a la nueva economía basada en fuentes renovables y tecnologías avanzadas supone unos requerimientos territoriales unas 80 veces mayores que la economía de los fósiles y unas veinte veces menores (gracias al salto tecnológico) que los de la economía preindustrial. Este inmenso incremento de territorio, destinado fundamentalmente a la captación de energía (captación inexistente en el sistema fósil), va a ser uno de los factores claves de la actual transición energética.

El transporte, factor determinante en los futuros usos energéticos

El transporte basado en un petróleo barato ha hecho posible una economía globalizada, a la vez que ha permitido el metabolismo de unas ciudades en continuo crecimiento con la aportación de productos de procedencia cada vez más lejana, y con la eliminación de inmensas cantidades de residuos generados.

Las elevadas densidades energéticas máxicas (11 a 12 kWh/kg) i volumétricas (8,5 a 11 kWh/litro) del petróleo y sus derivados (gasolina, gasóleo, queroseno y fuelóleo) son fundamentales para el transporte terrestre, marítimo y aéreo de forma que, hoy día, el 75% del petróleo y sus derivados alimenta el 90% del transporte.

Las alternativas al uso del petróleo en el transporte es uno de los aspectos más problemáticos de la actual transición energética. Si bien los motores eléctricos tienen rendimientos energéticos muy superiores (de 80 a 95%) a los motores térmicos (15 a 35%), el principal problema radica en como suministrar la electricidad al vehículo:

1. Con baterías eléctricas, cuyo rendimiento en la carga/descarga es bueno (entre 70 y 85%) pero con el inconveniente de ser caras (y dependientes de materiales escasos), pesadas (4 a 10 kg por kWh eléctrico) y voluminosas (1,5 a 4 litros por kWh),

2. Con hidrógeno y la pila de combustible, sistema de densidad energética mejor (de 1,25 a 1,50 kg o litro por 1 kWh eléctrico) y solución adecuada para el transporte pesado y a larga distancia (también marítimo y quizás aéreo), pero que presenta un bajo rendimiento en los procesos electricidad-hidrógeno-electricidad (alrededor del 30%), y
3. La electrificación de vías, ya realidad en ferrocarriles y que hoy se ensaya (con doble catenaria y trole) para aplicar en carreteras de alta densidad en transporte de mercancías; su rendimiento es alto (del orden del 80%) pero exige una gran inversión y limita su aplicación a ciertas vías.

En la perspectiva de la actual transición energética, el transporte tiene un doble efecto contradictorio en relación al territorio. Por un lado, permite abastecer las grandes concentraciones urbanas de recursos y productos procedentes de territorios lejanos más extensos; pero, por otro lado, los propios medios de transporte necesitan una energía importante (alimentado por hidrógeno, un camión necesita 0,35 hectáreas de parque fotovoltaico) y, por lo tanto, requieren territorio para captarla.

Un factor clave para una transición energética ordenada va a ser el establecer el equilibrio entre el fomento de productos de proximidad, el desarrollo de sistemas de transporte poco consumidores de energía, junto con una tendencia a unos usos energéticos más comedidos y a una redistribución de la población en el territorio en ciudades más pequeñas.

La energía útil como referencia

La Agencia Internacional de la Energía (IEA, en las siglas inglesas) es hoy día la referencia más importante a escala mundial por lo que se refiere a la energía. Desde hace varias décadas, presenta anualmente los balances energéticos de la mayor parte de países del mundo (pertenecientes o no a la OCDE).

Los balances energéticos parten de los recursos primarios (opción que se adapta muy bien a los stocks de combustibles fósiles) los cuales, después de varios procesos y con una disipación de entre 30 y 35%, se transforman en vectores energéticos que constituyen la energía final (electricidad y combustibles comerciales que la industria de la energía vende a los usuarios). Las últimas filas de los balances energéticos reparten la energía final en sectores de actividad: industrial, transporte, residencial, comercial y servicios públicos, agricultura / forestal, pesca, no especificado y de usos no energéticos (los recursos de combustibles fósiles usados como materias primas).

Sin embargo, los balances energéticos obvian otras transformaciones en los procesos de los usuarios, a menudo con disipaciones importantes de energía, antes de la obtener la energía útil, la que realmente produce los efectos deseados. El caso más paradigmático es el de los carburantes para los motores térmicos de los vehículos cuyas pérdidas si sitúan entre el 70 y el 80% de la energía final antes de proporcionar la energía útil en las ruedas, disipación que es mucho menor en las motorizaciones eléctricas.

Al analizar los sistemas energéticos renovables donde predominan las fuentes energéticas basadas en flujos (radiación solar, corrientes de agua, vientos), que fluyen



independientemente a su eventual captación, la atención se centra en las necesidades de energía útil y en la búsqueda aguas arriba de las fuentes renovables y los itinerarios energéticos más adecuados, teniendo en cuenta de las importantes repercusiones territoriales que conllevan su captación y gestión.

En este apartado los autores proponen un método simplificado para estimar la energía útil a partir la energía final de los balances energéticos de IEA. Para ello, aplican unos rendimientos para cada vector energético i cada sector de actividad estimados a partir de conocimientos generales para este tipo de procesos; concretamente, 80% para los usos térmicos y eléctricos y de 25% para el conjunto de los carburantes destinados a movilidad terrestre, marítima y aérea.

La Tabla 2 compara las energías primarias, final y útil a escala mundial en 2019.

Tabla 2. Energía primaria, final y útil mundial (en TWh/año) para 2019. Fuente: IEA [28]. Elaboración propia.

Energía primaria (EP)	155.590	
Energía final (EF)	105.330	Pérdidas de 50.260, 32,3% de EP De ellas, 38.290 en centrales térmicas
Energía útil (EU)	65.150	Pérdidas de 40.180, 38,1% de EF De ellas, 26.070 en motores térmicos Pérdidas de 90.440, 58,1% de EP

Metodología para evaluar el territorio para el suministro de energía a las grandes ciudades

En este apartado se establece una metodología para estimar los requerimientos superficiales de captación y gestión de la energía renovable que requerirán las grandes ciudades con el despliegue de la transición energética, así como su incidencia en el territorio. Debido a que aún no existen antecedentes en la aplicación de la transición energética a gran escala, deberán establecerse hipótesis simplificadoras en base a los datos y conocimientos disponibles a escalas más reducidas.

En las grandes aglomeraciones urbanas, la población significativa no es la de la ciudad central o de ciertas agrupaciones administrativas, sino la del área metropolitana que funciona como tal. En este trabajo, se han adoptado los valores de población que proporciona Demographia [9] ya que se acompañan con la superficie del área delimitada y la correspondiente densidad, indicios de que se han utilizado criterios uniformes.

La Agencia Internacional de la Energía (IEA) ofrece los balances energéticos de los países (de los que se evalúan las correspondientes energías útiles), pero no los balances energéticos de las ciudades y menos de unas aglomeraciones metropolitanas no siempre coincidentes con delimitaciones administrativas. Una primera aproximación para obtener las energías útiles de las ciudades se basa en establecer la proporción con las respectivas poblaciones de las ciudades y los países a los que pertenecen. Este criterio subestima los usos energéticos de las grandes ciudades ya que, en general,

éstas concentran una proporción mucho mayor de actividades industriales y de servicios que el resto del país.

Para corregir esta deriva se aplica el factor de concentración, F_{CON} , a la energía útil obtenida para las ciudades. La población urbana mundial, que sobrepasó a la rural en 2007, era el 53% en 2013 [1] y concentraba el 65% del consumo de energía [29], lo que permite establecer un factor de concentración aproximado de $F_{CON} = 1.20$.

El sistema energético renovable es mucho más eficiente que el sistema energético basado en combustibles ya que evita las pérdidas en las transformaciones termodinámicas de las centrales térmicas y de los motores de combustión. Sin embargo, dado que la mayor parte de las energías renovables procede de flujos intermitentes y/o aleatorios en forma de electricidad, ello obliga a desarrollar sistemas de almacenaje para regular la red eléctrica y nuevos vectores para proporcionar electricidad a los vehículos en condiciones de densidad másica y volumétrica aceptables, así como alimentar los procesos industriales a altas temperaturas. Para todo ello es fundamental la generación de hidrógeno verde (obtenido de fuentes renovables) cuyo rendimiento global para el itinerario energético electricidad-hidrógeno-electricidad es del orden del 30%.

Eduard Furró, en su estudio de la transición energética a un sistema renovable para Cataluña [30], donde incluye los almacenajes de energía y el vector hidrógeno, halla que para obtener 78.1 TWh de energía debe captarse 144.0 TWh de fuentes renovables, lo que se corresponde con un factor multiplicador $F_{EC/EU} = 1.85$ (en el actual sistema no renovable este factor es 2.39 para el conjunto del mundo). A falta de valores adaptados a cada realidad, en este trabajo se toma el valor 1.85 deducido del trabajo de E. Furró.

Siendo el mix energético función de distintos flujos renovables (sol, vientos, lluvias, calor geotérmico) se toma como referencia la energía fotovoltaica ya que la radiación solar es el recurso más uniformemente distribuido, si bien su valor varía según la latitud y la climatología. Así pues, la superficie necesaria para la captación y gestión de la energía (SC) se evalúa en base a la densidad de potencia de la captación fotovoltaica medida en GWh/ha/año.

Finalmente, para evaluar la incidencia de la captación y gestión de las energías renovables en el territorio, debe establecerse el porcentaje de suelo dedicado a este fin, habida cuenta de que éste debe compatibilizarse con otros usos y funciones tales como los ecosistemas protegidos, los bosques, la agricultura o las zonas artificializadas (residencias, industrias, servicios, infraestructuras, canteras y minas, etc.). En este estudio se ha establecido el porcentaje del 5% que, en la práctica, representa una incidencia en la gestión de los suelos y sobre los paisajes ya considerable.

RESULTADOS

En este apartado se presentan en las Tablas 3, 4 y 5 los resultados de aplicar la metodología establecida anteriormente a seis ciudades significativas del mundo con distintos tamaños, situadas a distinta latitud y con distinto nivel de consumo de energía:



Quito (Ecuador), Barcelona (España), París (Francia), Moscú (Rusia), Nueva York (Estados Unidos de América) y Shanghái (China).

Tabla 3. Evaluación de la superficie de captación y gestión de energía renovable y su incidencia en el territorio para las ciudades de Quito y Barcelona

		Quito	Ecuador	Barcelona	Cataluña
Población – Banco Mundial	Mhab	2,67	17,37	4,59	7,62
Superficie – Banco Mundial	km ²	535	248 360	1 072	32 100
Densidad	Hab/km ²	4 994	70.0	4 280	237.4
Partiendo de la energía útil de 2019					
Energía primaria (EP) – IEA	TWh/a	28.8	187.4	157.4	261.4
Energía final (EF) – IEA	TWh/a	24.1	156.5	111.9	185.9
Energía útil (EU) - Estimada	TWh/a	10.8	70.4	56.7	94.1
Energía útil per cápita	kWh/hab/a	4 051	4 051	12 357	12 357
Factor de concentración	F _{CON}	1.20		1.20	
Energía útil gran ciudad (EU _{GC})	TWh/a	13.0		68.0	
	kWh/hab/a	4 862		14 828	
Factor en-captada/en-útil	F _{EC/EU}	1.85	1.85	1.85	1.85
Energía a captar (EC)	TWh/a	24.0	130.2	125.9	174.2
	kWh/hab/a	8 994	7 495	27 432	22 860
Captación sup. PV (CS _{PV})	GWh/ha/a	1.00	1.00	0.90	0.90
Superficie de captación (SC)	10 ³ ha	24.0	130.2	139.8	193.5
	m ² /hab	89.9	75.0	304.8	254.0
Factor incidencia en territorio	F _{IT}	0.05	0.05	0.05	0.05
Superficie de territorio (ST)	10 ³ ha	480.7	2 604	2 797	3 870
	km ²	4.807	26.045	27.969	38.705
Con ahorro respecto a la energía útil de 2019					
Factor de reducción	F _{RED}	1.00	1.00	0.80	0.80
Energía a captar (EC _{RED})	TWh/a	24.0	130.2	100.7	139.3
(con reducción de energía útil)	kWh/hab/a	8 994	7 495	21 946	18 288
Superficie de territorio (ST _{RED})	10 ³ ha	480.7	2 604	2 237	3 096
(con reducción de energía útil)	km ²	4 807	26 045	22 375	30 984

Notas: EU_{GC} = EU·F_{CON}; EC = EU_{GC}·F_{EC/EU}; SC = EC/CS_{PV}; ST = SC/F_{IT}; EC_{RED} = EC·F_{RED}; ST_{RED} = ST·F_{RED}. Fuente: IEA [5]. Elaboración propia.

Quizás el dato más significativo de la Tabla 3 es el bajo consumo de energía útil per cápita de la ciudad de Quito que redundo en una modesta necesidad de captación de energía renovable (8 995 kWh por habitante y año) y repercute en un territorio de superficie relativamente pequeña, 4 807 km².

Los consumos de energía útil de la ciudad de Barcelona son muy superiores lo que conduce a la necesidad de una captación de energía renovable per cápita del triple, (27 432 kWh/hab/año) que inciden en 22 375 km², casi el 70% de la superficie del país. Para el caso de Barcelona se sugiere un ahorro del 20% (F_{RED} = 0.80) con lo que la repercusión territorial se reduciría a 22 375 km².

Tabla 4. Evaluación de la superficie de captación y gestión de energía renovable y su incidencia en el territorio para las ciudades de París y Moscú

		París	Francia	Moscú	Rusia
Población – Banco Mundial	Mhab	11.02	67.25	17.13	144.41
Superficie – Banco Mundial	km ²	2 509	547 560	5 891	16 376 870
Densidad	hab/km ²	4 392	122.8	2 907	8.8
Partiendo de la energía útil de 2019					
Energía primaria (EP) – IEA	TWh/a	455.8	2 781.3	954.6	8 049.3
Energía final (EF) – IEA	TWh/a	237.3	1 448.1	630.4	5 315.9
Energía útil (EU) - Estimada	TWh/a	169.4	1 033.8	419.2	3 535.2
	kWh/hab/a	15 372	15 372	24 481	24 481
Factor de concentración	F _{CON}	1.20		1.20	
Energía útil gran ciudad (EU _{GC})	TWh/a	203.3		503.1	
	kWh/hab/a	18 477		29 377	
Factor en-captada/en-útil	F _{EC/EU}	1.85	1.85	1.85	1.85
Energía a captar (EC)	TWh/a	376.1	1 912.5	930.7	6 540.0
	kWh/hab/a	34 127	28 439	54 379	45 289
Captación sup. PV (CS _{PV})	GWh/ha/a	0.72	0.72	0.58	0.58
Superficie de captación (SC)	10 ³ ha	522.3	2 656.2	1 604.5	11 275.9
	m ² /hab	474.0	395.0	937.0	780.8
Factor incidencia en territorio	F _{IT}	0.05	0.05	0.05	0.05
Superficie de territorio (ST)	10 ³ ha	10 447	53 124	32 093	225 519
	km ²	104 465	531 244	320 928	2 255 186
Con ahorro respecto a la energía útil de 2019					
Factor de reducción	F _{RED}	0.70	0.70	0,50	0,50
Energía a captar (EC _{RED})	TWh/a	263.3	1 339	465.3	3 270
(con reducción de energía útil)	kWh/hab/a	23 889	19 907	27 174	27 174
Superficie de territorio (ST _{RED})	10 ³ ha	7 313	37 187	16 046	112 759
(con reducción de energía útil)	km ²	73 126	371 871	160 464	1 127 593
Notas: EU _{GC} = EU·F _{CON} ; EC = EU _{GC} ·F _{EC/EU} ; SC = EC/CS _{PV} ; ST = SC/F _{IT} ; EC _{RED} = EC·F _{RED} ; ST _{RED} = ST·F _{RED} . Fuente: IEA [5]. Elaboración propia.					

La Tabla 4 compara París i Moscú. Cabe destacar el alto consumo de energía útil en Moscú, 29 377 kWh/hab/año (no muy lejos de la de Nueva York) que requiere una captación de energía per cápita de 54 379 kWh/hab/año (60 % superior a la de París) e incide sobre un territorio de 320 928 km² (más de la mitad de la superficie de Francia).

Siendo el PIB per cápita de Francia unas 3,5 veces superior al de Rusia en 2019, este gran desequilibrio entre renta y usos energéticos (casi 6 veces mayor en Francia que en Rusia) se debe, verosímelmente, a que la abundancia de recursos fósiles en Rusia no ha estimulado un uso eficiente de éstos.

Finalmente, dada la alta intensidad de los usos energéticos de Moscú (y Rusia) en el contexto mundial, es recomendable que esta ciudad y país adopten políticas de

ahorro de, al menos, el 50% de la energía útil (factor $F_{RED} = 0.50$) mientras que para París y Francia se prevén ahorros del 30% (factor $F_{RED} = 0.70$).

Tabla 5. Evaluación de la superficie de captación y gestión de energía renovable y su incidencia en el territorio para las ciudades de Nueva York y Shanghái

		N. York	USA	Shanghái	China
Población – Banco Mundial	Mhab	20,87	328,33	22,12	1.407,74
Superficie – Banco Mundial	km ²	12 093	9 147 420	4 068	9 424 700
Densidad	hab/km ²	1 726	35.9	5 438	149.4
Partiendo de la energía útil de 2019					
Energía primaria (EP) – IEA	TWh/a	1 529	24 062	590	37 547
Energía final (EF) – IEA	TWh/a	1 091	17 161	358	22 808
Energía útil (EU) - Estimada	TWh/a	590	9 274	250	15 895
	kWh/hab/a	28.248	28.248	11.291	11.291
Factor de concentración	F_{CON}	1.20		1.20	
Energía útil gran ciudad (EU _{GC})	TWh/a	707.4		299.7	
	kWh/hab/a	33 897		13 549	
Factor en-captada/en-útil	$F_{EC/EU}$	1.85	1.85	1,85	1,85
Energía a captar (EC)	TWh/a	1 309	17 158	554	29 406
	kWh/hab/a	62 710	52 258	25 066	20 889
Captación sup. PV (CS _{PV})	GWh/ha/a	0.90	0.90	0,90	0,90
Superficie de captación (SC)	10 ³ ha	1 454	19 064	616	32 673
	m ² /hab	696.8	580.6	278.5	232.1
Factor incidencia en territorio	F_{IT}	0.05	0.05	0.05	0.05
Superficie de territorio (ST)	10 ³ ha	29 083	381 287	12 321	653 461
	km ²	290 834	3 812 866	123 215	6 534 611
Con ahorro respecto a la energía útil de 2019					
Factor de reducción	F_{RED}	0.50	0.50	1,00	1,00
Energía a captar (EC _{RED})	TWh/a	654	8 579	554	29 406
(con reducción de energía útil)	kWh/hab/a	31 355	26 129	25 066	20 889
Superficie de territorio (ST _{RED})	10 ³ ha	14 542	190 643	12 321	653 461
(con reducción de energía útil)	km ²	145 417	1 906 433	123 215	6 534 611

Notas: $EU_{GC} = EU \cdot F_{CON}$; $EC = EU_{GC} \cdot F_{EC/EU}$; $SC = EC/CS_{PV}$; $ST = SC/F_{IT}$; $EC_{RED} = EC \cdot F_{RED}$; $ST_{RED} = ST \cdot F_{RED}$. Fuente: IEA [5]. Elaboración propia.

Esta última Tabla 5 compara los usos energéticos de las ciudades de Nueva York (USA) y Shanghái (China). La ciudad norteamericana tiene uno de los consumos de energía por cápita más elevado del mundo, 33 897 kWh/hab/año que requiere captar una energía per cápita de 62 710 kWh/hab/año; a pesar de la mayor dimensión de la ciudad y gracias a su mejor ubicación geográfica, incide sobre un territorio menor que el de Moscú, 290 834 km². Siendo los consumos de energía por cápita muy elevados, se recomienda un ahorro del 50% (factor $F_{RED} = 0.50$).

Por último, los usos energéticos de Shanghái (y de la China) han crecido mucho en las últimas décadas (13 549 kWh/hab/año para la ciudad), hoy cercanos a los de Barcelona. Shanghái, una ciudad de 22 millones de habitantes, requiere un territorio de

casi 125 000 km² para dar cabida a las instalaciones de captación y gestión necesarias para la energía. El problema en muchas ciudades chinas (entre ellas Shanghái) es la presencia de otras ciudades cercanas de gran tamaño cuyas áreas de captación y gestión de la energía se interfieren entre sí.

Para Shanghái y las ciudades chinas no se prevé una reducción de los usos energéticos ($F_{RED} = 1.00$), pero se debería procurar no aumentarlos más. En todo caso, una parte importante de la energía que consume la China se usa en la fabricación de productos que acaban beneficiando a los ciudadanos de otros países.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se analiza el suministro de energía a las grandes ciudades en un contexto de transición hacia las fuentes renovables en base al establecimiento de una metodología para evaluar los requerimientos de superficies de captación y gestión y su incidencia en el territorio.

Se constata, en primer lugar, la importancia de las superficies de captación y gestión de energía en el sistema renovable, unas 80 veces superiores a las de las instalaciones actuales del sistema energético fósil. La Tabla 6 resume los valores para las seis ciudades analizadas.

Tabla 6. Superficies de captación para las 6 ciudades analizadas (sin reducción)

	Población ciudad Mhab	Superficie ciudad 10 ³ ha	Superficie de captación 10 ³ ha	m ² /hab	Incidencia en territorio km ²
Quito (Ecuador)	2.67	53.5	24.0	89,9	4 807
Barcelona (España)	4.59	107.2	139.8	304,8	27 969
París (Francia)	22.03	250.9	522.3	474,0	104 465
Moscú (Rusia)	17.13	589.1	1 604.5	937,0	320 928
Nueva York (USA)	20.87	1 209.3	1 454.5	696,8	290 834
Shanghái (China)	22.12	406.8	616.1	278,5	123 215

Estas superficies son del mismo orden o superiores a las de las propias áreas metropolitanas; parte de las instalaciones puedan situarse en su interior, pero la mayor parte deberán de situarse en el exterior. Si se supone una ocupación promedio del 5% de las superficies, resultan unas afectaciones sobre territoriales enormes, con una incidencia importante sobre los paisajes y en gestión de los suelos.

De ello se deriva la necesidad de que, junto con la transición a las fuentes energéticas renovables, las sociedades de las ciudades y de los países (especialmente los más consumidores) evolucionen hacia consumos de energía mucho más moderados.

Magnitudes en las que incidir

Revertir el crecimiento de las grandes ciudades. Las ciudades siempre han sido lugar de encuentro y fomento del progreso; sin embargo, en la era de la comunicación,



la digitalización y el fin de los fósiles, las concentraciones excesivas de población reportan más ineficiencias que ventajas. La limitación de las superficies necesarias para la captación de energías renovables es uno de los estímulos para no progresar en el crecimiento de la megaciudades.

Energía útil per cápita y factor de reducción F_{RED} . La magnitud más determinante y donde se debe incidir de forma prioritaria es la moderación de los usos de energía útil per cápita (introducido en las tablas a través del factor de reducción, F_{RED}). Algunas ciudades y países (especialmente Nueva York / USA, y Moscú / Rusia) tienen consumos de energía útil per cápita no asumibles a nivel general y que deberían disminuir en base a políticas de ahorro y eficiencia.

Alejar las actividades intensivas en energía de las grandes ciudades. Procurar situar las actividades más intensivas en energía (industrias metalúrgicas, de la cerámica, etc.) lejos de las grandes concentraciones urbanas, en lugares donde existan espacios suficientes para la captación de la energía necesaria. Ello puede redundar en disminuir el factor de concentración, F_{CON} .

Factor energía captada por energía útil, $F_{EC/EU}$. Este factor indica el valor por el que hay que mayorar la energía útil a fin de evaluar la energía a capturar. A falta de más datos, en el presente trabajo se ha tomado el valor de $F_{EC/EU} = 1,85$. Como menor sea este factor, menor será la superficie de captación, a lo que se consigue con una gestión adecuada de la demanda evitando en lo posible el almacenamiento.

Factor incidencia en el territorio, F_{IT} . Este factor indica, en promedio, la fracción del territorio que se destina a instalaciones de captación y gestión de las energías renovables. Un valor mayor significa una incidencia sobre un territorio más reducido y menos transporte, pero una concentración mayor de instalaciones, y viceversa. Este parámetro debe ser fruto de un equilibrio que habrá que definir a través de la experiencia en la implantación de los sistemas renovables.

Con el presente trabajo los autores quieren impulsar el debate sobre la cuestión del suministro energético renovable a las grandes ciudades y su gran incidencia sobre el territorio, a la vez que definir unos conceptos y una metodología que constituyan un apoyo a nuevos trabajos.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO

Obra no financiada.

DECLARACIÓN DE CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran la no presencia de conflicto de intereses.

APORTE DEL ARTÍCULO EN LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

Este artículo se enmarca en la línea de investigación sobre el metabolismo social de las urbes y los territorios, tema central de la tesis doctoral de Genís Riba, dirigida por los doctores Carles Riba y Raúl Velasco.



REFERENCIAS

- [1] Banco Mundial, "Población Urbana (% de población total)," 2022. <https://data.worldbank.org/indicador/SP.URB.TOTL.IN.ZS>.
- [2] J. W. Day and C. Hall, *America's most sustainable Cities and Regions. Surviving the 21st Century megatrends*. Springer Link, 2016.
- [3] J. H. Kunstler, *Too much magic. Wishful thinking, technology, and the fate of the nation*. Atlantic Monthly Press, 2012.
- [4] A. J. Friedemann, *When trucks stop running: Energy and the future of transportation (SpringerBriefs in Energy)*. Springer, 2015.
- [5] E. Shove, M. Watson, and N. Spurling, "Conceptualizing connections: Energy demand, infrastructures and social practices," *Eur. J. Soc. Theory*, vol. 18, no. 3, pp. 274–287, 2015, doi: 10.1177/1368431015579964.
- [6] J. Wang, L. Feng, L. Zhao, S. Snowden, and X. Wang, "A comparison of two typical multicyclic models used to forecast the world's conventional oil production," *Energy Policy*, vol. 39, no. 12, pp. 7616–7621, 2011, doi: 10.1016/j.enpol.2011.07.043.
- [7] G. Maggio and G. Cacciola, "When will oil, natural gas, and coal peak?," *Fuel*, vol. 98, no. 2012, pp. 111–123, 2012, doi: 10.1016/j.fuel.2012.03.021.
- [8] J. Carey, "Who feeds Bristol? Towards a resilient food plan," 2011. [Online]. Available: <http://www.bristol.gov.uk/whofeedsbristol>.
- [9] K. Morgan, "The Rise of Urban Food Planning," *Int. Plan. Stud.*, vol. 18, no. 1, pp. 1–4, 2013, doi: 10.1080/13563475.2012.752189.
- [10] S. Elton, *Consumed. Food for a finite planet*. University of Chicago Press, 2013.
- [11] R. Ioannidis and D. Koutsoyiannis, "A review of land use, visibility and public perception of renewable energy in the context of landscape impact," *Appl. Energy*, vol. 276, no. May, p. 115367, 2020, doi: 10.1016/j.apenergy.2020.115367.
- [12] V. Smil, "Power Density Primer : Understanding the Spatial Dimension of the Unfolding Transition to Renewable Electricity Generation (Part I – Definitions)." 2010, [Online]. Available: <http://vaclavsmil.com/wp-content/uploads/docs/smil-article-power-density-primer.pdf>.
- [13] J. Guo, V. Fast, P. Teri, and K. Calvert, "Integrating land-use and renewable energy planning decisions: A technical mapping guide for local government," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 9, no. 5, 2020, doi: 10.3390/ijgi9050324.
- [14] Agencia Internacional de la Energía, "Energy Technology Perspectives," París, 2016. [Online]. Available: https://iea.blob.core.windows.net/assets/37fe1db9-5943-4288-82bf-13a0a0d74568/Energy_Technology_Perspectives_2016.pdf.
- [15] REN21, "Renewables in Cities 2019 Status Report," 2021. [Online]. Available: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/28496/REN2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y%0Ahttp://www.ren21.net/cities/wp-content/uploads/2019/05/REC-GSR-Low-Res.pdf>.



- [16] IRENA, “Renewable Energy in Cities,” 2016. doi: 10.1787/9789264076884-en.
- [17] V. Fthenakis and H. C. Kim, “Land use and electricity generation: A life-cycle analysis,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, no. 6–7, pp. 1465–1474, 2009, doi: 10.1016/j.rser.2008.09.017.
- [18] A. Arcos-Vargas, A. Gomez-Exposito, and F. Gutierrez-Garcia, “Self-sufficient renewable energy supply in urban areas: Application to the city of Seville,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 46, no. January, p. 101450, 2019, doi: 10.1016/j.scs.2019.101450.
- [19] Diputació de Tarragona, “Determinació del potencial d’autoabastiment elèctric dels municipis de la demarcació de Tarragona a partir d’energia fotovoltaica i eòlica instal·lada en entorns urbans,” 2022.
- [20] F. Poggi, A. Firmino, and M. Amado, “Planning renewable energy in rural areas: Impacts on occupation and land use,” *Energy*, vol. 155, pp. 630–640, 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.05.009.
- [21] J. Kiesecker *et al.*, “Renewable energy and land use in india: A vision to facilitate sustainable development,” *Sustain.*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.3390/su12010281.
- [22] S. Nonhebel, “Renewable energy and food supply: Will there be enough land?,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 9, no. 2, pp. 191–201, 2005, doi: 10.1016/j.rser.2004.02.003.
- [23] B. Sliz-Szkliniarz, “Assessment of the renewable energy-mix and land use trade-off at a regional level: A case study for the Kujawsko-Pomorskie Voivodship,” *Land use policy*, vol. 35, pp. 257–270, 2013, doi: 10.1016/j.landusepol.2013.05.018.
- [24] R. B. Cruz, “The Politics of Land Use for Distributed Renewable Energy Generation,” *Urban Aff. Rev.*, vol. 54, no. 3, pp. 524–559, 2018, doi: 10.1177/1078087416672589.
- [25] OWID, “Our World in Data. Population Growth by Region,” 2022. <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
- [26] Banco Mundial, “Población Total.” <https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL>.
- [27] CDIAC, “National CO2 Emissions from Fossil-Fuel Burning, Cement Manufacture, and Gas Flaring: 1751-2014.” https://cdiac.ess-dive.lbl.gov/ftp/ndp030/nation.1751_2014.ems.
- [28] IEA, “Energy Balances.” <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD>.
- [29] IEA, “Cities are at the frontline of the energy transition,” *IEA News*, Sep. 07, 2016.
- [30] E. Furró, *Aproximació a un model energètic sostenible*. Octaedro, 2016.

NOTA BIOGRÁFICA



Genís Riba Sanmartí. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-9930-915X>
Ingeniero Industrial intensificación en Técnicas Energéticas y doctorando por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Su línea de investigación principal (objeto de su doctorado) es sobre la obtención y usos globales de la energía en territorios subregionales y su relación de la transición energética. Actualmente es investigador del CDEI-UPC (Centro de Diseño de Equipos Industriales de la Universitat Politècnica de Catalunya), Barcelona (España).



Carles Riba Romeva. **ORCID iD**  <https://orcid.org/0000-0002-7979-387X>
Doctor Ingeniero Industrial (1976) por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Ha sido profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica desde 1971 hasta 2017. En 1999 crea i dirige CDEI-UPC (Centro de Diseño de Equipos Industriales) y el Máster EMEI (Ingeniería Mecánica y Equipos Industriales). Su investigación se ha centrado en metodologías de diseño de maquinaria y equipos industriales y, en los últimos años, en la transición energética. Autor en numerosos artículos en revistas y escritos en congresos y de unos 20 libros técnicos (3 de ellos sobre energía). Desde 2017 es profesor emérito de la UPC. Desde 2012 preside la asociación CMES (Colectivo para un nuevo modelo energético y social sostenible).



This work is licensed under the Creative Commons Attribution 4.0 International License. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/> or send a letter to Creative Commons, PO Box 1866, Mountain View, CA 94042, USA.

