

DE LA SOCIEDAD FÓSIL A LA SOCIEDAD HIPOCARBÓNICA: LA CIUDAD INTELIGENTE COMO ESTRATEGIA FACILITADORA

FROM FOSSIL FUEL SOCIETY TO LOW-CARBON SOCIETY: SMART CITIES AS A FACILITATING STRATEGY

Belinda López-Mesa

Universidad de Zaragoza

<http://orcid.org/0000-0003-1458-7685>

belinda@unizar.es

Cómo citar este artículo/Citation: López-Mesa, Belinda (2022). De la sociedad fósil a la sociedad hipocarbónica: la ciudad inteligente como estrategia facilitadora. *Arbor*, 198(803-804): a636. <https://doi.org/10.3989/arbtor.2022.803-804003>

Copyright: © 2022 CSIC. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia de uso y distribución *Creative Commons Reconocimiento 4.0 Internacional (CC BY 4.0)*.

Recibido: 4 mayo 2021. Aceptado: 12 diciembre 2021.
Publica-do: 19 Abril 2022.

RESUMEN: Los problemas ambientales actuales tienen su origen en los cambios de fuentes de energía y de metabolismo productivo (circular-lineal) a lo largo de la historia. En respuesta a dichos problemas, Europa ha definido una estrategia de transición energética, reforzada con estrategias de economía circular y de captura de carbono, con el fin de convertirse en el primer continente climáticamente neutro. Las ciudades desempeñan un papel muy relevante en la transición energética porque acogen una buena parte de las actividades humanas y son responsables de una buena parte de los consumos. En este artículo proponemos una clasificación de las distintas sociedades a lo largo de la historia desde el punto de vista medioambiental y energético, que distingue cuatro sociedades: la orgánica, la mineral, la fósil y la hipocarbónica. Las analizamos considerando aspectos urbanos, tecnológicos y relativos a las fuentes de energía y consumos. Las transiciones energéticas a lo largo de la historia se han prolongado mucho en el tiempo. La ciudad *smart* se vislumbra como una de las innovaciones que permitirán implementar la transición energética en Europa de forma rápida y progresiva. La escala global de la descarbonización se ve, sin embargo, como uno de los mayores retos a superar.

PALABRAS CLAVE: Descarbonización, digitalización, revoluciones industriales, transición energética, ciudad inteligente.

ABSTRACT: Current environmental problems have their origin in changes in energy sources and the urban metabolism (linear-circular) throughout history. In response to these problems, Europe has defined an energy transition strategy, reinforced with circular economy and carbon capture strategies, with the aim of becoming the first climate-neutral continent. Cities play a very relevant role in energy transition because they host a large part of human activities and are responsible for a good part of consumption. In this paper, we propose a classification of the different societies throughout history from the environmental and energy point of view, which distinguishes four societies: organic, mineral, fossil fuel, and low-carbon. We analyse these considering urban and technological aspects as well as energy sources and consumption-related matters. Throughout history, energy transitions have taken a long time. The smart city is seen here as one of the innovations that will allow a quick and progressive implementation of the energy transition in Europe. The global scale of decarbonisation is seen, however, as one of the greatest challenges to overcome.

KEYWORDS: Decarbonisation, digitalisation, industrial revolutions, energy transition, smart city.

1. INTRODUCCIÓN: SOBRE LA PRESIÓN DE LA HUMANIDAD EN EL MEDIO AMBIENTE Y EL PAPEL DE LA ENERGÍA, LA TECNOLOGÍA Y LAS CIUDADES

Durante el siglo XVIII, la humanidad pudo acceder por primera vez a los recursos de la litosfera. Las superiores capacidades energéticas de estos permitieron potenciar el desarrollo tecnológico. A finales de dicho siglo se inició la primera revolución industrial en Gran Bretaña, y se comenzó a asociar la riqueza de un país con su capacidad productiva apoyada por la tecnología y la división del trabajo. En 1776, el economista Adam Smith declaraba que, además de la agricultura, el oro y la plata, la riqueza de las naciones estaba basada en la producción nacional, es decir, en la industria, y que la división del trabajo estaba detrás de la mayor producción de las naciones más avanzadas (Smith, 1794). Estos avances permitieron a las sociedades industriales del siglo XIX la liberación de las raíces territoriales con el desarrollo del transporte gracias a la mecanización.

La producción en serie en fábricas especializadas vino con la segunda revolución industrial fomentada por el desarrollo de la electricidad y la cadena de montaje. La cantidad, variedad y velocidad de producción fue aumentando gracias a la aparición de nuevas fuentes de energía, como el petróleo y el gas natural (Andrews, 2015). Se crearon las primeras centrales eléctricas y se produjo la llegada de la bombilla a los hogares, así como la aparición de nuevos sistemas de transporte que usaban motores de combustión interna, como el automóvil o más tarde el avión. También tuvieron un fuerte desarrollo en esta etapa los medios de comunicación, como el cine y la radio. Con todo ello, el aumento de la riqueza y la prosperidad material del desarrollo industrial terminaron de hacerse evidentes, convirtiéndose en uno de los principales objetivos de las naciones.

Estos cambios influyeron significativamente en los sistemas humanos. En Europa se experimentó un incremento muy significativo de la población, cuadruplicando su tamaño inicial de 100 millones de habitantes entre 1750 y 1950 (Grigg, 1982), a pesar de que en ese mismo período tuvo lugar una masiva emigración transoceánica, así como repuntes de mortandad y períodos de desnatalidad debidos a la gran epidemia de gripe de 1918-1919 y a los años de guerra. En este período 1750-1950 también se observa en Europa un acusado aumento de la población urbana. En 1750 todavía más del 90% de la población mundial y europea vivía en áreas rurales. La cuota de áreas urbanas en Europa comenzó a aumentar rápidamente durante el siglo XIX, alcanzándose más del 50% de población urbana en 1950 (Ritchie y Roser, 2019). Las ciudades se convirtieron, por tanto, a partir del siglo XIX, en lugares de oportunidad para el desempeño laboral de las personas, ofreciendo además importantes servicios.

Los procesos de producción se aceleraron aún más en el siglo XX con la tercera revolución industrial, como consecuencia de la llegada de los ordenadores personales –que cambiaron el modelo organizativo en las empresas–, de los procesos de miniaturización para ahorrar espacio en los equipos electrónicos, del Controlador Lógico Programable (PLC, en sus siglas en inglés) para el control de la maquinaria de las fábricas, de los robots y de las máquinas que reemplazaron a personas en la cadena de montaje, y con la aparición de Internet como nuevo canal de comunicación y venta, entre otros grandes avances tecnológicos.

La prosperidad material y el número y calidad de servicios ofrecido por las ciudades ha tenido un crecimiento exponencial, paralelo al crecimiento tecnológico y al económico. Sin embargo, este fuerte desarrollo también ha tenido consecuencias negativas, al contribuir a transformar el tradicional metabolismo productivo circular, en armonía con la naturaleza, en uno lineal, que produce residuos que nuestra biosfera no puede regenerar fácilmente para transformar de nuevo en recursos (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Hüttler, 1998).

En los años sesenta del siglo XX, la comunidad científica comenzó a alertar a las administraciones sobre grandes problemas mundiales: la pobreza, la pérdida de biodiversidad y el deterioro medioambiental. En 1972, se publicó el informe *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*, que concluía que si el entonces actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantenían sin variación, se alcanzarían los límites absolutos de crecimiento en la Tierra en algún momento durante los siguientes cien años (Meadows *et al.*, 1972). También en 1972 tuvo lugar la Primera Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Humano, en la cual se sentaron los cimientos para las posteriores cumbres y conferencias. El Secretario General, Maurice Strong, señaló que nunca un tema –en este caso, el medioambiente– considerado

prácticamente una novedad había sido llevado a un nivel tan alto de discusión, y que el simple hecho de que 113 naciones hubieran decidido participar en la conferencia era significativo de la importancia sin igual que se concedía al asunto (UNEP, 2016).

En esta conferencia, los líderes mundiales decidieron continuar reuniéndose periódicamente para realizar un seguimiento del estado medioambiental y analizar el impacto que sobre él pudiera conllevar el desarrollo. Las conclusiones de esta conferencia se terminaron recogiendo, posteriormente, en 1987, en el Informe Brundtland, titulado *Our Common Future* (UN y WCED, 1987), en el que se recoge por primera vez el significado de desarrollo sostenible. Comenzó así una creciente conciencia acerca de la contradicción que puede darse entre el desarrollo, entendido como crecimiento económico y material, y las condiciones ecológicas y sociales para que éste pueda perdurar en el tiempo. El anhelo por el crecimiento como fin último ha venido desde entonces reemplazándose por una conciencia de la importancia de crear condiciones a largo plazo que hagan posible un bienestar para las generaciones actuales sin comprometer el de las futuras.

Las condiciones para que nuestro desarrollo no comprometa a largo plazo el desarrollo y bienestar de las generaciones futuras son de carácter social, económico y medioambiental. Según Timothy E. Wirth, presidente de la Fundación de las Naciones Unidas en el período 1998-2013, el cambio climático fue rápidamente identificado por la comunidad científica como el reto medioambiental más importante a nivel mundial. Sin embargo parecía más difícil generar consenso más allá del mundo científico (Wirth, 2021). Una reciente encuesta de la UNESCO muestra que también se ha convertido en la actualidad en la mayor preocupación social a nivel mundial. Los resultados del estudio realizado a más de 15.000 personas de todo el mundo entre mayo y septiembre de 2020 muestran que los cuatro retos considerados principales para las sociedades pacíficas de cara al 2030 son el cambio climático y la pérdida de biodiversidad (identificado por el 67% de los y las encuestadas), la violencia y los conflictos (44%), la discriminación y la desigualdad (43%), y la falta de alimentos, agua y vivienda (42%) (UNESCO, 2021).

La transición energética es la principal forma de lucha prevista contra el cambio climático en Europa. El término *transición energética* se utiliza para referirse a cualquier cambio significativo en el sistema de producción energética de un territorio. La estrategia de transición energética para luchar contra el cambio climático es la de la *descarbonización*; es decir, la reducción al mínimo posible de fuentes como el carbón, gas o petróleo, que serán sustituidas por la suma de la más alta eficiencia energética y la utilización de renovables (Comunidad Europea, 2012; en adelante CE). La transición energética va reforzada asimismo con la implementación de una estrategia de *economía circular* cuyo objetivo es mantener el valor de los productos, materiales y recursos en la economía durante el mayor tiempo posible y minimizar la generación de residuos. Una economía circular debería conducir a un menor consumo de recursos vírgenes y de energía y a una menor producción de emisiones de dióxido de carbono, modernizando y transformando la economía y apoyando la creación de empleo (CE, 2015). También se contempla la captura de carbono para tener una Europa climáticamente neutra.

Las ciudades están en la primera línea de la transición energética, ya que representan casi dos tercios de la demanda global de energía primaria y son responsables del 70% de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en el sector energético a nivel mundial (*International Energy Agency*, 2016). Asimismo las ciudades desempeñan un papel muy importante en la economía circular, dado que más de la mitad de la población mundial vive en las ciudades, y estas representan el 85% de la generación del PIB mundial, consumen el 75% de los recursos naturales empleados y producen el 50% de los residuos globales (*Ellen MacArthur Foundation*, 2017).

En este artículo vamos a realizar una propuesta de denominación de las etapas de la sociedad desde la perspectiva medioambiental y energética, para posteriormente realizar un análisis de las características energéticas y urbanas de las mismas. En lo referente a las características energéticas, el artículo aborda la escala mundial, mientras que las características urbanas se estudian para las etapas de la sociedad en las que el grado de urbanidad es elevado en Europa, incluyendo tanto aspectos relativos a la producción energética como a la organización urbana de dos de los tres sectores productivos identificados como los grandes causantes del cambio climático —el transporte y la edificación—. Finalmente, a modo de conclusión, se hará una reflexión sobre el cambio propuesto en Europa de la sociedad actual a la hipocarbónica de economía circular.

2. PROPUESTA DE CLASIFICACIÓN DE ETAPAS DE LA SOCIEDAD DESDE LA PERSPECTIVA MEDIOAMBIENTAL Y ENERGÉTICA

La sociedad pre-industrial se basaba en una *economía orgánica* que dependía de la fotosíntesis de las plantas para proporcionar alimentos, materias primas y energía, siendo así tanto para la energía térmica, derivada de la quema de madera, como para la energía mecánica proporcionada fundamentalmente por los músculos humanos y animales (Wrigley, 2013; Wrigley, 2016). La energía solar capturada por fotosíntesis fue, por tanto, la base de toda la producción y consumo en la etapa pre-industrial. El *metabolismo productivo* de esta sociedad operaba además de forma *circular* (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Hüttler, 1998). Las sociedades orgánicas tomaban de la biosfera los recursos materiales y energéticos necesarios para su supervivencia y procuraban un retorno adecuado de los residuos de manera que se pudiera conservar la capacidad productiva del medio (Casals-Tres *et al.*, 2013). La economía no podía crecer a un ritmo mayor que el que le proporcionaba esta única fuente orgánica.

Gran Bretaña comenzó a superar estas restricciones en el siglo XVIII haciendo un uso cada vez mayor de la gran cantidad de energía contenida en el carbón, inicialmente como fuente de energía térmica y posteriormente también para la energía mecánica, haciendo así posible la revolución industrial (Wrigley, 2016). La explotación de recursos litosféricos dio acceso a este material en cantidades importantes. La fuente de energía continuó siendo la fotosíntesis de las plantas, pero acumulada durante una edad geológica en forma de carbón (Wrigley, 2013). A esta nueva sociedad, cuya economía se basó en el uso del carbón, la denominamos en este artículo *sociedad mineral*. Posteriormente, con la segunda revolución industrial, se accedió a nuevas fuentes de energía, fundamentalmente al petróleo y al gas natural. Sin embargo, no es hasta el siglo XX cuando se empieza a hacer un uso extensivo de estas nuevas fuentes de energía. A esta sociedad que hace uso de distintos combustibles fósiles como fuente de energía que proceden de la biomasa producida en eras pasadas y que tienen un alto contenido energético (carbón, petróleo y gas natural) la llamamos aquí *sociedad fósil*. El descubrimiento y la explotación de estas grandes reservas de energía, que habían quedado sin explotar en las economías orgánicas, permitieron un cambio fundamental en el sistema productivo: abandonar el tradicional metabolismo circular –que reintegraba los residuos al sistema– para adoptar un *metabolismo lineal*: un sistema que traslada a la biosfera los residuos generados en los procesos de producción y consumo, sin necesidad de asegurar su asimilación; al haber perdido su condición de fuente principal de recursos ya no es necesario salvaguardar su productividad (Casals-Tres *et al.*, 2013).

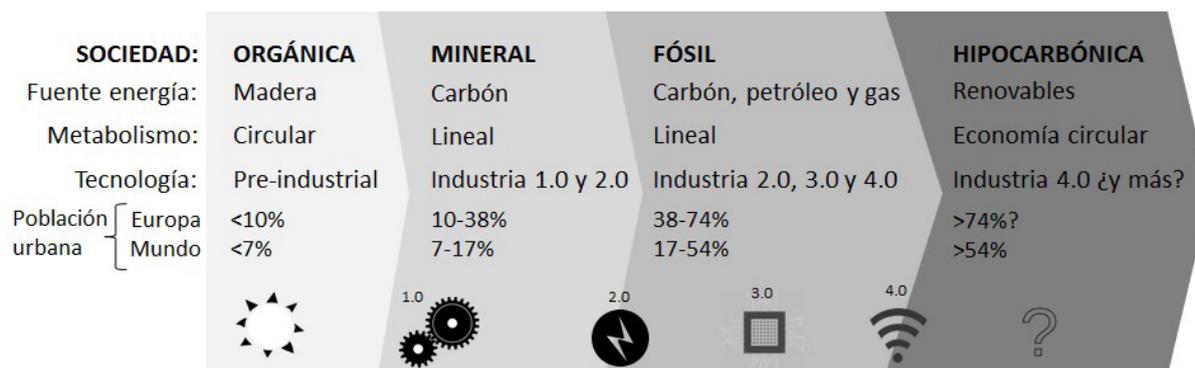
Sin embargo, este cambio plantea dos tipos de problemas para el futuro: por un lado, los combustibles fósiles constituyen un stock agotable, ya que su proceso de formación es infinitamente más lento que el ritmo de uso de los mismos, mientras que en la época preindustrial la fuente de energía, aunque limitada, se renovaba cada año (Wrigley, 2013); y por el otro, se generan residuos, entre ellos, los GEI, que nuestra biosfera no es capaz de asimilar y transformar, deteriorándose y modificándose con ello el medioambiente (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Hüttler, 1998). Por tanto, la crisis ambiental actual se originó en el cambio de sistema productivo acontecido con el inicio de la revolución industrial –el paso de las sociedades orgánicas a minerales– y se magnificó con el paso a las sociedades fósiles.

Consciente de los problemas de nuestro medioambiente y de sus posibles consecuencias, Europa ha diseñado una estrategia de transición energética que busca disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y apostar por las energías renovables, así como reducir residuos y prolongar la vida de los productos, para generar de aquí a 2050 una nueva *sociedad hipocarbónica* con una *economía circular*, que junto a estrategias de captura natural y artificial de carbono, dé lugar a una sociedad climáticamente neutra. Europa apuesta asimismo por la tecnología, y, de hecho, busca que los cambios en el sector energético y productivo no solo impliquen una mejor relación con nuestro medioambiente, sino también un avance tecnológico hacia la digitalización, como tecnología facilitadora que apoye la implementación de la estrategia de transición energética. La digitalización se vislumbra como una de las bases de una cuarta revolución industrial (Schwab, 2016).

La figura 1 muestra la clasificación de etapas de la sociedad desde la perspectiva medioambiental y energética propuesta en este artículo, que distingue cuatro tipos de sociedades a lo largo de nuestra historia: la orgánica, de metabolismo circular, anterior a la etapa industrial, cuya fuente principal de energía es la madera; la sociedad mineral, que se inicia con la primera revolución industrial gracias al uso del carbón como fuente de energía mecánica, de metabolismo lineal; la sociedad fósil, que comienza cuando se empiezan a utilizar como fuente de

energía, además del carbón, el petróleo y el gas natural, y también tiene un metabolismo lineal; y la sociedad hipocarbónica, que comenzará cuando la economía se base fundamentalmente en las energías renovables. En la figura se ve la relación de estas sociedades con las distintas etapas industriales. La sociedad mineral comienza con la industria 1.0 y la sociedad fósil comienza en algún momento entre la industria 2.0 y 3.0, que se explora en la siguiente sección. El punto de inicio de la sociedad hipocarbónica se discutirá en las conclusiones.

Figura 1. Clasificación de etapas de la sociedad desde la perspectiva energética y su vinculación con el metabolismo productivo, desarrollo tecnológico y crecimiento urbano.



Fuente: elaboración propia. Los porcentajes de población urbana europeos son los indicados por Ritchie y Roser, 2019.

El porcentaje de población en zonas urbanas ha crecido con cada evolución de la sociedad. Tomando los datos publicados por *Our World in Data* de evolución de este porcentaje del año 1500 a 2016 en Europa, la sociedad orgánica tiene menos del 10% de población en áreas urbanas, la sociedad mineral tiene entre un 10% y un 38% y la sociedad fósil tiene entre un 38% y un 74% hasta 2016 (Ritchie y Roser, 2019). Estos porcentajes son significativamente más bajos a nivel mundial: inferiores al 7% para la sociedad orgánica, entre el 7% y el 17% para la sociedad mineral, y entre el 17% y el 54% para la sociedad fósil hasta 2016. No sabemos cuáles serán los porcentajes en la sociedad hipocarbónica, aunque a nivel mundial se espera un crecimiento importante respecto al valor actual.

3. LAS FUENTES DE ENERGÍA EN LAS SOCIEDADES ORGÁNICA, MINERAL Y FÓSIL

En la sociedad orgánica, la mayor parte de la energía térmica provenía de la madera, de los residuos de cultivos o del carbón vegetal (Ritchie, 2019). Sabemos que también se utilizó la energía mecánica del agua y del viento en los molinos y la humana y de los animales.

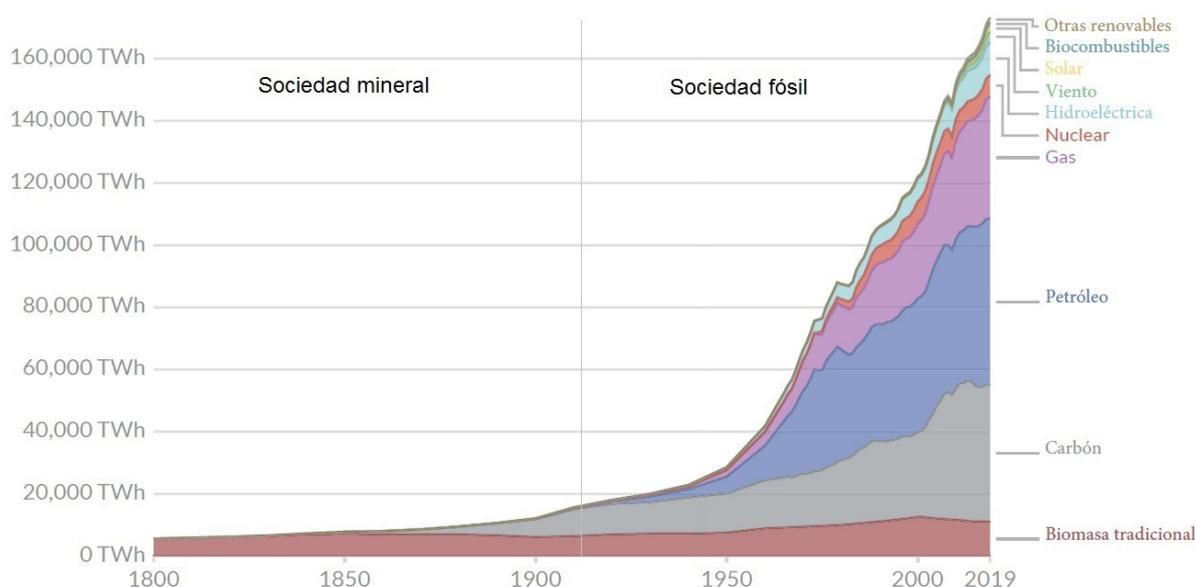
A finales del siglo XVIII se comienza a utilizar el carbón primero para generar energía térmica y posteriormente energía mecánica, desencadenándose con ello la primera revolución industrial e iniciándose la sociedad mineral. El carbón fue la fuente energética más utilizada hasta mediados del siglo XX (figura 2).

La segunda revolución industrial va aparejada al desarrollo de la electricidad, que constituye la primera forma de almacenamiento y transporte de la energía de forma estandarizada, facilitándose con ello su consumo. Asimismo, se descubre el petróleo a mediados del siglo XIX y posteriormente el gas natural. Estas nuevas fuentes energéticas alimentaron los nuevos inventos, como el motor de combustión interna, que propulsaría primero al automóvil y posteriormente a los aviones. A principios del siglo XX comienza la proliferación de los automóviles, y con ello aumenta la demanda de petróleo para fabricar gasolina y usarla como combustible. En 1908 se descubrió petróleo en Oriente Medio, y poco después se encuentran otras reservas en toda la región. Con el estallido de la Primera Guerra Mundial en 1914, se hizo evidente lo importante que era el petróleo para la defensa de las naciones para los tanques, camiones y barcos de guerra, y la sed de petróleo amplificó la importancia geopolítica de Oriente Medio (Johnstonea y McLeishb, 2020). Cuando finalizó la Segunda Guerra Mundial, los líderes de las naciones eran muy conscientes del gran valor que tenía el petróleo, ya que su control había sido clave para ganar

la guerra (Johnstone y McLeishb, 2020). A la vista de los datos históricos y del consumo mundial de energía primaria por fuente (figura 2), situamos el inicio de la sociedad fósil en 1914 con el comienzo de la Primera Guerra Mundial, cuando comienza a ser observable el consumo de petróleo en la gráfica. El petróleo se convertiría en la principal fuente de energía a partir de la segunda mitad del siglo XX.

No fue hasta la década de 1960 que se añadió la energía nuclear y la hidroeléctrica al mix energético mundial. La crisis del petróleo de 1973 y el movimiento ecologista que germina en esta época impulsaron el uso de estas energías renovables. La energía solar y la eólica se agregaron mucho más tarde, en la década de 1980. Los biocombustibles empiezan a usarse en el siglo XXI.

Figura 2. Consumo mundial de energía primaria por fuente en las sociedades mineral y fósil.



Fuente: Ritchie, 2019, indicando el fin e inicio de las sociedades mineral y fósil

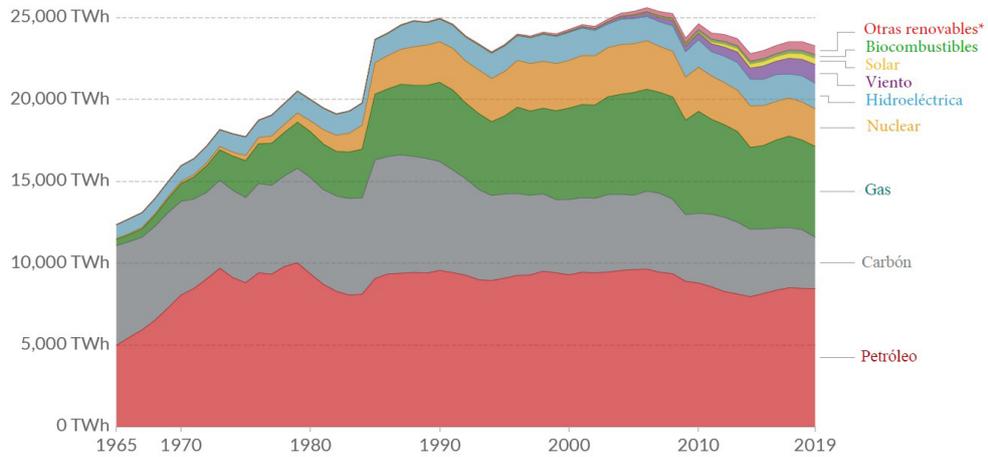
En 1990, Vasiliy Okorokov señaló que los datos históricos de consumo de energía a nivel mundial, indicaban claramente que no había razones para esperar una interrupción del crecimiento del consumo; y que mientras la población mundial se había duplicado durante el último tercio del siglo XX, el consumo energético mundial se había cuadruplicado durante el mismo período (Okorokov, 1990). Los datos a nivel mundial siguen mostrando un aumento exponencial de energía. Sin embargo, en las regiones más desarrolladas ha comenzado a disminuir el consumo de energía, como se puede ver en la figura 3, en la que se muestra una comparativa de tres de los territorios más poblados del mundo: Europa, Estados Unidos y China. Mientras que en Europa se observa una ligera caída del consumo de energía en los últimos diez años, en Estados Unidos se ha mantenido más o menos constante el nivel de consumo energético en los últimos 20 años, y en China el crecimiento es exponencial y con una fuerte dependencia del carbón.

El porcentaje en 2019 de energías bajas en carbono en el mundo fue de 15,68% (Ritchie, 2019)¹. Se puede observar a partir de los datos históricos (figura 2), que las transiciones energéticas de una fuente a otra han sido muy lentas en el pasado como han señalado algunos autores (Smil, 2016; Ritchie, 2019). Por ello, cabe pensar que la velocidad y escala de la transición energética que necesitamos hoy para pasar de la sociedad fósil a la hipocarbónica es un nuevo reto, muy diferente a los del pasado, como ha sido señalado por (Ritchie, 2019).

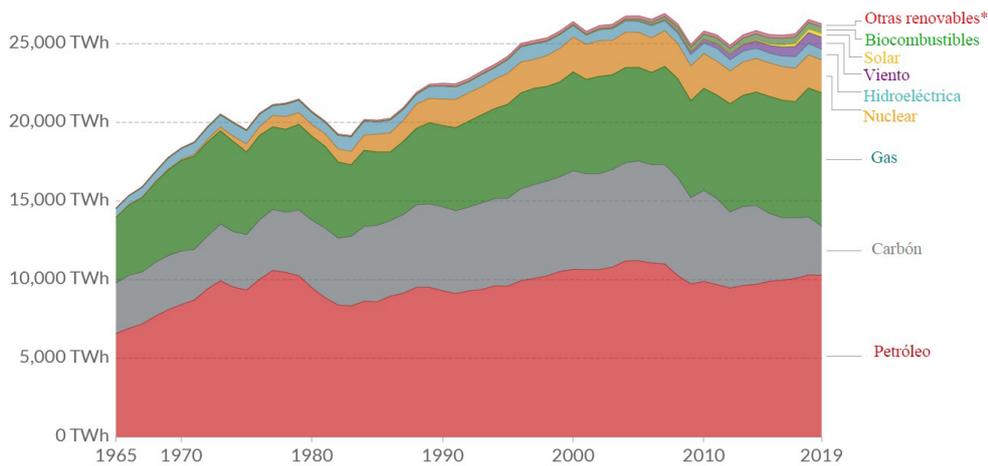
1 Las energías bajas en carbono se definen como la suma de fuentes nucleares y renovables. Las fuentes renovables incluyen energía hidroeléctrica, solar, eólica, geotérmica, undimotriz y mareomotriz y bioenergía. No se incluyen los biocombustibles tradicionales.

Figura 3. Comparativa de consumo de energía primaria por fuente desde 1965.

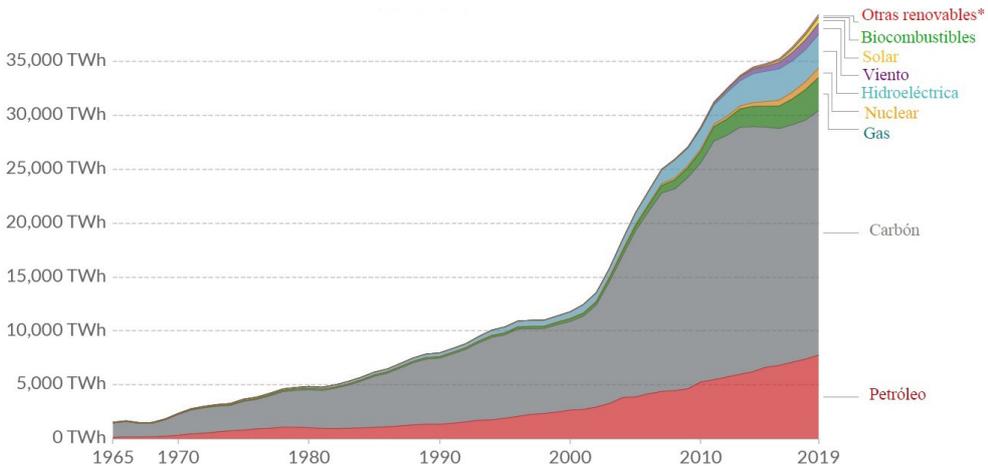
Europa



Estados Unidos



China



Fuente: Ritchie, 2019. Bajo el epígrafe Otras renovables se incluye geotérmica, biomasa y energía de residuos.

Tabla 1. Los veinte países del mundo con mayor porcentaje de energías bajas en carbono en 2019; media europea y media mundial.

Posición	País	% de energías bajas en carbono
1	Islandia	79,08%
2	Suecia	68,89%
3	Noruega	66,18%
4	Suiza	48,81%
5	Francia	48,52%
6	Brasil	46,18%
7	Finlandia	44,77%
8	Nueva Zelanda	35,40%
9	Eslovenia	34,25%
10	Canadá	33,94%
11	Austria	33,70%
12	Ecuador	30,39%
13	Dinamarca	30,16%
14	Eslovaquia	29,35%
15	Bulgaria	28,97%
16	Perú	27,33%
17	España	26,07%
18	Venezuela	25,39%
19	Colombia	24,99%
20	Ucrania	24,84%
Media europea		26,37%
Media mundial		15,68%

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de Ritchie, 2019.

No obstante, el hecho de que en unos pocos países del mundo ya más del 60% de la energía provenga de fuentes bajas en carbono –Islandia, Suecia y Noruega– (ver tabla 1) nos habla de un reto alcanzable. España, con su 26,07% de energías bajas en carbono en 2019 (Ritchie, 2019), es el decimoséptimo país del mundo, aunque le queda aún un largo camino por recorrer hacia la sociedad hipocarbónica.

4. TRANSICIÓN ENERGÉTICA PARA UNA SOCIEDAD EUROPEA CLIMÁTICAMENTE NEUTRA

La Unión Europea es uno de los territorios del planeta que mayor seguimiento está realizando de la evolución en sus países miembros de los consumos energéticos y sus emisiones de GEI asociadas. Dichas emisiones se producen fundamentalmente en el sistema energético, en el que se originan tres de cada cuatro toneladas de GEI. La Comisión Europea mide de forma sectorial los consumos en el sistema energético, y sabemos que los tres grandes consumidores de energía en Europa son los edificios, el transporte y la industria, con una representación aproximada del 40, 30 y 25%, respectivamente (ver tabla 2). En 2017, en edificación e industria, los combustibles más consumidos fueron la electricidad y el gas natural, mientras que en el sector transporte

el combustible dominante es el petróleo y sus productos derivados. El indicador principal que se utiliza para medir el progreso en la descarbonización son las toneladas de $\text{CO}_{2\text{eq}}^2$ emitidas, causantes del cambio climático. En términos de emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, los edificios, los coches y la producción pública de electricidad representaron un 62,3% de las emisiones en los veintisiete países de la Unión Europea en 2020 (*European Environmental Agency, 2021*; en adelante EEA). El conjunto de estos tres subsectores (edificios, coches y suministro eléctrico) es muy relevante, pues no sólo suman un alto porcentaje de las emisiones, sino que además están íntimamente ligados al diseño de nuestras ciudades y se han convertido en uno de los focos de atención de las políticas europeas de transición energética. Repensar la transformación de la ciudad fósil europea para convertirla en la ciudad hipocarbónica de aquí a 2050, es uno de los grandes retos que tenemos por delante y pasa necesariamente por la integración de estrategias que consideren de forma simultánea soluciones para estos tres sectores.

Tabla 2. Consumo de energía final en millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) o en porcentaje, por sector y tipo de combustible en los veintiocho países de la Unión Europea en 2017.

Sector	Consumo		Subsector	Consumo		Combustible	Consumo	
	[Mtep]	[%]		[Mtep]	[%]		[Mtep]	[%]
Edificios	442,0	41,7%	Viviendas	288,0	27,2%	Electricidad	69,4	6,5%
						Gas natural	103,8	9,8%
						Petróleo	32,4	3,1%
						Fósiles sólidos	9,2	0,9%
			Comercial y servicios públicos	154,0	14,5%	Electricidad	71,9	6,8%
						Gas natural	45,2	4,3%
						Petróleo	16	1,5%
						Fósiles sólidos	0,9	0,1%
Transporte	326,9	30,8%	Electricidad	5,6	0,5%			
			Gas natural	3,4	0,3%			
			Petróleo	303	28,6%			
			Fósiles sólidos	0	0,0%			
Industria	261,0	24,6%	Electricidad	89	8,4%			
			Gas natural	82,6	7,8%			
			Petróleo	26,8	2,5%			
			Fósiles sólidos	14,4	1,4%			
Otros	30,1	2,8%	Electricidad	4,6	0,4%			
			Gas natural	4,3	0,4%			
			Petróleo	15,9	1,5%			
			Fósiles sólidos	1,1	0,1%			

Fuente: elaboración propia a partir de los datos de EEA, 2020. Bajo el epígrafe *Petróleo* se incluyen también productos derivados del petróleo (excluida la parte de biocombustible).

2 Son varios los gases que provocan el efecto invernadero causante del cambio climático: dióxido de carbono (CO_2), vapor de agua (H_2O), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O), los clorofluorocarbonos (CFC) y el ozono troposférico (O_3). Para poder sumar las emisiones de estos gases, estas son convertidas a su valor equivalente en dióxido de carbono. Se toma como referencia este gas por ser, de todos, el más abundante. De ahí que el indicador que se utilice sean las toneladas equivalentes de dióxido de carbono ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Descarbonizamos la economía en la medida en que reducimos el valor de este indicador.

Europa se ha embarcado en una serie de iniciativas con el fin de frenar el cambio climático, concretamente el Marco sobre clima y energía para 2030 (CE, 2021a) y la Hoja de ruta hacia una economía baja en carbono 2050 (CE, 2021b). Europa se ha marcado como objetivo la reducción del 55% de las emisiones de CO_{2eq} a medio plazo en 2030, y del 90%, a largo plazo en 2050, respecto de las emisiones de 1990 (CE, 2021b). El 10% restante de las emisiones será absorbido por los sumideros de carbono, lo que supone alcanzar la neutralidad climática.

La hoja de ruta europea hacia una economía neutra en carbono para 2050 tiene las siguientes prioridades estratégicas (CE, 2021b), que en este artículo sintetizamos en siete claves:

1. *Energía limpia*: electrificación a gran escala del sistema energético, junto con el despliegue de energías renovables, con el objetivo de descarbonizar el suministro de energía y reducir significativamente la dependencia de proveedores de terceros países.
2. *Transporte sostenible*: uso de medios alternativos de transporte, conducción conectada y automatizada combinada con el despliegue de vehículos eléctricos y un mayor uso de combustibles alternativos.
3. *Eficiencia energética*: reducir los consumos energéticos del conjunto de los sectores a la mitad en 2050 respecto de 2005. El sector de los edificios es muy relevante en esta prioridad estratégica por sus altos consumos y porque se estima ineficiente en un 75%. Esto requeriría reducir la demanda energética y mejorar la eficiencia energética de las instalaciones, particularmente en los edificios existentes, ya que se estima que el 85-95% de ellos continuarán en uso en 2050 (Filippidou y Jiménez Navarro, 2019; Palacios-Muñoz *et al.*, 2019; CE, 2020).
4. *Circularidad en la industria*: modernización industrial para una economía circular.
5. *Tecnología smart*: digitalización mediante redes *smart* de todas las infraestructuras de la ciudad.
6. *Sumideros naturales de carbono*: uso del suelo y agricultura más sostenible.
7. *Emisiones negativas*: captura y almacenamiento de carbono.

Cada país miembro de la Unión Europea debe tener su propio Marco de Energía y Clima en el que se defina el plan estratégico del país en materia de lucha contra el cambio climático con objetivos progresivos para los años 2030, 2040 y 2050. Dicho marco debe contener un número considerable de planes, estrategias y leyes. Uno de estos es el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), que se debe revisar cada diez años. En su PNIEC 2021-2030, España se ha comprometido a un 23% de reducción de GEI respecto a 1990, alcanzar una cuota del 42% de renovables sobre el uso final de la energía, un 39,5% de mejora de la eficiencia energética y un 74% de energía renovable en la generación eléctrica para 2030.

Las claves de energía limpia, transporte sostenible, eficiencia energética en edificios y tecnología *smart* están íntimamente relacionadas entre sí y van a tener una enorme influencia en la transformación de nuestras ciudades y edificios. La interrelación entre las distintas partes se explica a continuación.

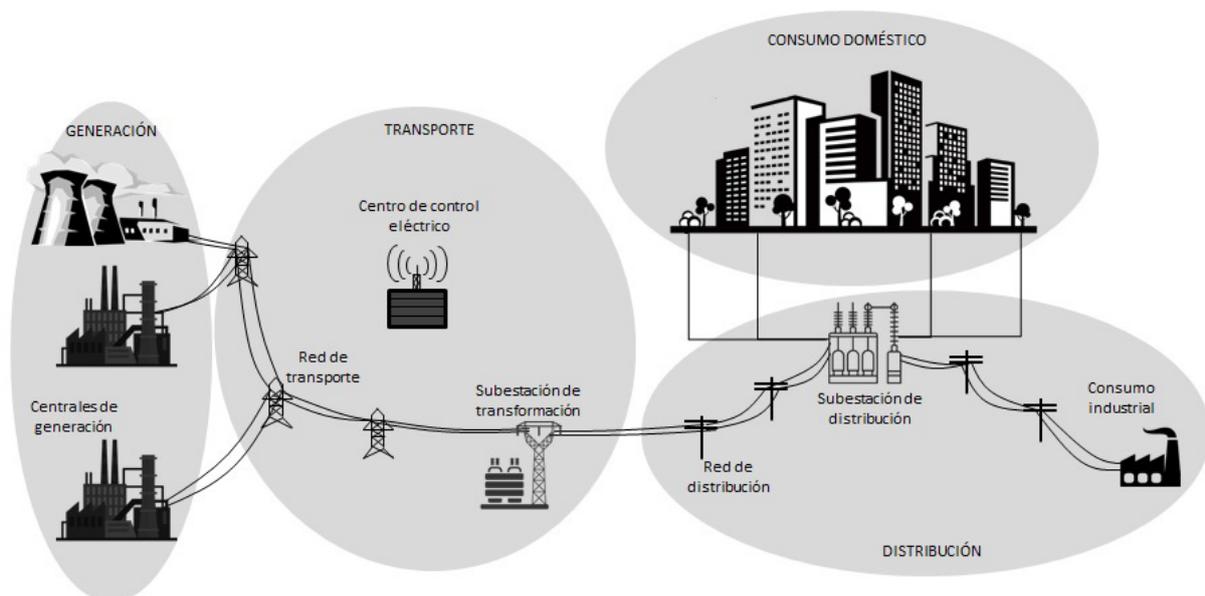
5. LA CIUDAD SMART COMO FACILITADORA DE LA DESCARBONIZACIÓN

El sistema de suministro eléctrico de las ciudades europeas ha adquirido en los últimos años una gran importancia porque, mediante su transformación e integración con los demás sistemas de la ciudad, se favorecerá la electrificación de la demanda y el despliegue de las renovables.

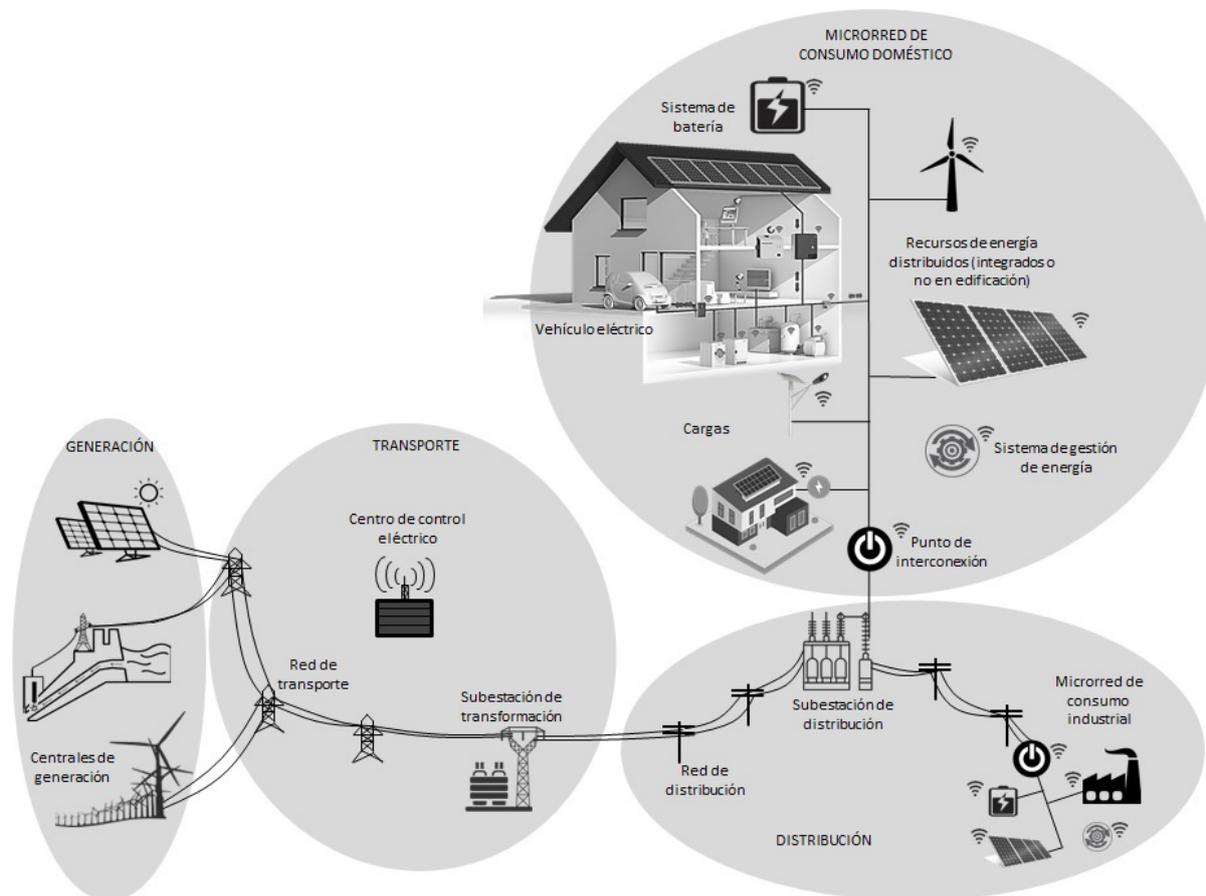
El sistema tradicional de suministro eléctrico en España (figura 4) ha consistido en grandes centrales de generación alejadas de las ciudades que conducen la electricidad a los núcleos urbanos y las industrias a través de redes de transporte y de distribución para que se produzcan los consumos domésticos e industriales. Se trata de sistemas de suministro eléctrico centralizados, es decir, concentrados en pocas centrales eléctricas, que tienen como principal inconveniente importantes pérdidas en la etapa del transporte, que además de tener significativas implicaciones medioambientales, repercuten sobre el precio de la energía, al requerir el sistema de una organización económica centralizada para planificar la producción y remuneración de los distintos agentes del mercado. A esto se añade que una buena parte de las centrales térmicas usan fuentes energéticas fósiles.

Frente a este modelo tradicional, ha surgido un modelo alternativo formado por microrredes, que son sistemas de distribución en baja tensión, fuentes de *generación distribuida*, y nuevos dispositivos de almacenamiento (Badal *et al.*, 2019). Este nuevo modelo acerca la generación al consumidor. La generación distribuida consiste en la producción de electricidad por parte de muchas fuentes pequeñas, en contraposición a una producción tradicional, grande y centralizada. La complementariedad de ambos modelos será el futuro de los desarrollos de los sistemas eléctricos (figura 5). La microrred puede ser operada tanto en modo no autónomo como autónomo. Las pequeñas fuentes están localizadas en la proximidad de los consumos y son aportadas por fuentes renovables, como la energía solar y la eólica. La generación distribuida tiene un gran aliado en la tecnología, las *smart grids* (redes inteligentes), que usan inteligencia artificial para planificar la producción y satisfacer la demanda eléctrica. Este sistema de producción de energía puede usarse para autoconsumo *in situ* en la propia instalación o exportarse a la red eléctrica inteligente, para ser consumido donde se requiera. Además, la energía eléctrica es susceptible de ser almacenada en baterías o dispositivos de almacenamiento energético, para su posterior uso en momentos en que no haya generación o no sea óptimo por motivos de coste. La generación distribuida se basa en fuentes de energía como placas solares en las cubiertas de los edificios, aerogeneradores aislados y coches eléctricos que pueden conectarse a la red tanto para aportar electricidad, como para consumirla. Las ventajas de las microrredes son altas. Además de acercar el consumo a la generación y con ello evitar pérdidas en el transporte, disminuye los costes económicos y favorece el desarrollo de las energías renovables.

Figura 4. Esquema de suministro eléctrico en la ciudad fósil.



Fuente: elaboración propia

Figura 5. Esquema de microrredes y sistema eléctrico en la ciudad hipocarbónica.


Fuente: elaboración propia

Los edificios tienen un papel muy importante en este contexto. Por un lado, porque, como se ha mencionado, son responsables de casi el 40% de los consumos energéticos en Europa y el 36% de las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$, por lo que se deben hacer más eficientes. Por otro lado, porque constituyen una infraestructura existente de gran valor en la transformación del sector eléctrico. Nuestros edificios pueden generar energía para autoconsumo, pueden acumularla y además alojan en sus aparcamientos a otros grandes consumidores de energía, los vehículos, pudiéndose establecer sinergias entre ambos sectores. Por ello, los edificios no solo deben descarbonizarse, reduciendo sus necesidades energéticas y electrificando su demanda e integrando energías renovables, sino que también deben digitalizarse e hiperconectarse, entre otros, a los vehículos eléctricos. La digitalización es una tecnología facilitadora que servirá tanto para apoyar la mejora de la eficiencia energética en los edificios, mejorar el confort y la salubridad como para proporcionar la flexibilidad en el uso de las energías renovables a través de la gestión de datos y de la hiperconexión.

El modelo de desarrollo del vehículo eléctrico que establece las nuevas directivas europeas, se apoya en la carga inteligente que los conecta a la red de viviendas, oficinas y aparcamientos. Por ello, en las intervenciones y nuevos edificios que proyectemos debemos prever instalaciones de conexión para vehículos eléctricos en los aparcamientos. Las nuevas tecnologías no solo harán posible que los edificios apoyen la descarbonización del sector del transporte, actuando como infraestructura para la recarga inteligente de los vehículos eléctricos, sino que también podrán proporcionar la base para que se puedan utilizar las baterías de los automóviles como fuente de energía a través de tecnologías como la V2G (*vehicle-to-grid*), que permitirá conectar el vehículo eléctrico

a la red de forma bidireccional (Shi *et al.*, 2019). Con esta tecnología podremos utilizar los vehículos eléctricos como sistemas móviles de almacenamiento energético, para suministrar energía a la red, proporcionando estabilidad a la misma.

En definitiva, la ciudad *smart* se vislumbra como una de las innovaciones que permitirán implementar la transición energética en Europa de forma rápida y progresiva con la inclusión de microrredes inteligentes, renovables, edificios inteligentes de energía positiva y la electromovilidad.

6. CONCLUSIONES Y REFLEXIONES SOBRE EL CAMBIO DE LA SOCIEDAD FÓSIL A LA HIPOCARBÓNICA

En este artículo hemos identificado que la literatura científica (Fischer-Kowalski, 1998; Fischer-Kowalski y Hüttler, 1998; Casals-Tres *et al.*, 2013; Wrigley 2013; Wrigley 2016) sitúa el origen de la crisis ambiental actual en el paso de la sociedad orgánica a la mineral originado por el cambio en la fuente de energía que se dio al inicio de la revolución industrial. Asimismo, hemos propuesto una clasificación de distintas sociedades a lo largo de la historia desde el punto de vista medioambiental y energético, que incorpora otras dos nuevas sociedades posteriores a estas, que en este artículo hemos denominado sociedad fósil y sociedad hipocarbónica. Tras el análisis de la literatura y de los datos históricos mundiales de consumo energético, hemos identificado como fecha de inicio de la sociedad fósil la Primera Guerra Mundial, a partir de la cual comienza a usarse otra fuente de energía: el petróleo. También hemos señalado las características principales de cada una de estas sociedades desde el punto de vista de su metabolismo productivo, desarrollo tecnológico y porcentaje de población en zonas urbanas. Por último hemos analizado, para la actual sociedad fósil, los principales causantes del cambio climático en Europa: los edificios alrededor del 40%, el transporte en un 30% y la industria en un 25%.

Si bien disponemos de datos históricos para las sociedades orgánicas, minerales y fósiles, de la sociedad hipocarbónica no tenemos datos, puesto que se trata de una proyección, de una sociedad ideada para un futuro próximo, de lo que sería la primera sociedad planificada en la historia por los poderes públicos a nivel tecnológico, energético y ambiental. En este artículo se ha descrito y analizado la planificación que de esa sociedad futura ha realizado Europa, que busca y desea para 2050 ser el primer continente climáticamente neutro. Dicha planificación responde a las urgencias ambientales planteadas por la actual crisis. Entre los planes de la sociedad futura se incluyen tanto el avance y desarrollo tecnológico en el campo de la digitalización y de los sistemas *smart*, que se han descrito en el artículo de forma sucinta, como los objetivos de reducción al mínimo de fuentes energéticas fósiles, de electrificación de una buena parte de la demanda y despliegue de renovables, así como de reducción de consumos energéticos de edificación. El desarrollo tecnológico, por primera vez en la historia, no sólo buscará mejorar o aumentar los servicios que ofrecen las ciudades, sino también facilitar la mejora de la eficiencia energética y la reducción del impacto al medioambiente.

En la literatura se ha señalado que las transiciones energéticas de una fuente a otra han sido muy lentas en el pasado (Smil, 2016; Ritchie, 2019) y que la velocidad y escala de la transición energética necesaria para pasar de la sociedad fósil a la hipocarbónica plantea un nuevo reto (Ritchie, 2019). En el caso del carbón y del petróleo se necesitaron 50-70 años desde su descubrimiento hasta su empleo y de otros 50-70 años más para su uso como fuente principal. Para la transición energética a la sociedad hipocarbónica en Europa, disponemos de 40 años desde su ideación inicial en 2011 (CE, 2011), de los cuales ya han pasado diez. El arranque de las renovables se produjo antes de 2011 –como se puede apreciar en las gráficas recogidas en las figuras 2 y 3–, por lo que el objetivo es conseguir en los próximos 30 años su uso mayoritario. La elevada consciencia de la problemática a nivel político y técnico en determinados territorios, y el grado de desarrollo tecnológico y formativo de las personas en la actualidad podrían contribuir sin duda a un amplio y rápido despliegue de las energías renovables. Los datos recientes de la concienciación ciudadana apoyan también la posible viabilidad de una transición energética rápida. Como se ha visto, hay algunos países que superan ya el 60% de las fuentes de energía bajas en carbono–Islandia, Suecia y Noruega–. En España aún estamos lejos de ese porcentaje, con nuestro 26,07% en 2019, pero los compromisos políticos hablan de elevarlo al 42% en 2030. Esto nos hace pensar que la transición energética podría ser suficientemente rápida en algunos territorios del mundo como Europa.

Sin embargo, para que podamos hablar de sociedad hipocarbónica, la respuesta debe ser mundial, puesto que el problema del cambio climático es un problema global. Por tanto, el inicio de esta nueva sociedad debería

establecerse también a escala global, independientemente que se consiga de forma progresiva, país a país. La curva de crecimiento del porcentaje de población viviendo en áreas urbanas muestra que hay territorios en el mundo cuyas ciudades están aún en fuerte crecimiento, como es el caso de China. Es fundamental que estas zonas crezcan apoyándose en energías limpias, atendiendo a los objetivos de desarrollo sostenible impulsados por Naciones Unidas.

AGRADECIMIENTOS

Este artículo es resultado de un proyecto financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (PID2019-104871RB-C21). Agradezco los intercambios de opinión a lo largo de los últimos años con el grupo interdisciplinar sensorIZAR – *Smart City Lab* de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura (EINA) y el Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A) de la Universidad de Zaragoza, en particular con Enrique Cano Suñén.

REFERENCIAS

- Andrews, Deborah (2015). The circular economy, design thinking, and education for sustainability. *Local Economy*, 30(3): 305-315. <https://doi.org/10.1177/0269094215578226>
- Badal, Faisal R.; Das, Purnima; Sarker, Subrata K. y Das, Sajal K. (2019). A survey on control issues in renewable energy integration and microgrid. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 4(1): 1-27. <https://doi.org/10.1186/s41601-019-0122-8>
- Casals-Tres, Marina; Arcas-Abella, Joaquim y Cuchí Burgos, Albert (2013) Aproximación a una habitabilidad articulada desde la sostenibilidad. Raíces teóricas y caminos por andar. *Revista INVI*, 28(77): 193-226. <https://doi.org/10.4067/S0718-83582013000100007>
- Comisión Europea (2021a). *2030 Climate Target Plan*. Comisión Europea. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.
- CE (2021b). *Estrategia a largo plazo para 2050*. Comisión Europea. Disponible en: https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_es.
- CE (2020). *Oleada de renovación para Europa: ecologizar nuestros edificios, crear empleo y mejorar vidas (COM(2020) 662 final)*. Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52020DC0662&from=EN>.
- CE (2015). *Closing the loop - An EU action plan for the Circular Economy (COM(2015) 614 final)*. Comisión Europea. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52015DC0614&from=ES>.
- CE (2012). *Energy Roadmap 2050*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. Disponible en: https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/2012_energy_roadmap_2050_en_0.pdf.
- CE (2011). *Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050 (COM(2011) 0112 final)*. European Commission. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2011:0112:FIN>.
- European Environmental Agency (2021). *EEA greenhouse gas - data viewer*. European Environmental Agency. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.
- EEA (2020). *Final energy consumption by fuel type and sector*. European Environmental Agency. Disponible en: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/final-energy-consumption-of-fuel-1>.
- Ellen MacArthur Foundation (2017). *Cities in the circular economy: An initial exploration*. Disponible en: <https://www.ellenmacarthurfoundation.org/publications/cities-in-the-circular-economy-an-initial-exploration>.
- Filippidou, Faidra y Jiménez Navarro, Juan Pablo (2019). *Achieving the cost-effective energy transformation of Europe's buildings*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Fischer-Kowalski, Marina (1998). Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part I, 1860-1970. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1): 61-78. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.1.61>
- Fischer-Kowalski, Marina y Hüttler, Walter (1998). Society's Metabolism. The Intellectual History of Materials Flow Analysis, Part II, 1970-1998. *Journal of Industrial Ecology*, 2(4): 107-136. <https://doi.org/10.1162/jiec.1998.2.4.107>
- Grigg, David B. (1982). Modern population growth in historical perspective. *Geography*, 67(2): 97-108.
- International Energy Agency (2016). *Energy Technology Perspectives 2016. Towards Sustainable Urban Energy Systems*. Disponible en: <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2016>.
- Johnstonea, Phil y McLeishb, Cairiona (2020). World wars and the age of oil: Exploring directionality in deep energy transitions. *Energy Research & Social Science*, 69: 101732. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2020.101732>
- Meadows, Donella H.; Meadows, Dennis L.; Randers, Jørgen y Behrens III, William W. (1972). *The Limits to growth: A report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind*. New York: Universe Press. <https://doi.org/10.1349/ddlp.1>
- Okorokov, Vasilij R. (1990). *Energy consumption and technological developments*. Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis.
- Palacios-Muñoz, Beatriz; Peupartier, Bruno; Gracia-Villa, Luis y López-Mesa, Belinda (2019) Sustainability assessment of refurbishment vs. new constructions by means of LCA and durability-based estimations of buildings lifespans: A new approach.

- Building and Environment*, 106203. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106203>
- Ritchie, Hannah (2019) Energy mix. *Ourworldindata*. Disponible en: <https://ourworldindata.org/urbanization>.
- Ritchie, Hannah y Roser, Max. Urbanization (2019). *Our world in data*. Disponible en: <https://ourworldindata.org/urbanization>.
- Schwab, Klaus (2016). *La cuarta revolución industrial*. Barcelona: Penguin Random House.
- Shi, Lefeng; LV, Tong y Wang, Yandi (2019). Vehicle-to-grid service development logic and management formulation. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 7: 935–947. <https://doi.org/10.1007/s40565-018-0464-7>
- Smil, Vaclav (2016). *Energy Transitions: Global and National Perspectives*. California: Praeger.
- Smith, Adam (1794). *Riqueza de las naciones. Investigación de la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Tomos I-IV. Valladolid: Oficina de la Viuda e Hijos de Tomás Santander.
- UN, WCED (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development. Our Common Future [Brundtland report]*. United Nations Secretary-General, World Commission on Environment and Development. Disponible en: <https://digitallibrary.un.org/record/139811?ln=es#record-files-collapse-header>
- UNEP. *The UN Conference on the Human Environment in 1972* (2016). United Nations Environment Programme. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=h3-TqHFky8>.
- UNESCO (2021). *The world in 2030. Public Survey Report*. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375950.locale=en>.
- Wirth, Timothy E. (2021). The challenge of building consensus beyond the scientific community. *UN Chronicle*. Disponible en: <https://www.un.org/en/chronicle/article/challenge-building-consensus-beyond-scientific-community>.
- Wrigley, Edward Anthony (2016) *The path to sustained growth: England's transition from an organic economy to an industrial revolution*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781316488256>
- Wrigley, Edward Anthony (2013) Energy and the English Industrial Revolution. *Philosophical Transactions of the Royal Society A, Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1986): 20110568. <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0568>



a636

Belinda López-Mesa