

Eficiencia energética 2.0

Diseñar el sistema energético del futuro



Es hora de replantearse la eficiencia energética

Prefacio de Jürgen Fischer

Presidente de Danfoss Climate Solutions

Nuestra red eléctrica, la infraestructura que suministra nuestra electricidad, es algo en lo que la mayoría de nosotros solo pensamos de pasada. No obstante, es una paradoja, ya que la electricidad se ha vuelto esencial en nuestra vida moderna. Todo, desde fábricas y hospitales, a puertos, policía, ejército o el transporte, por no mencionar los sistemas de comunicación, depende de una red eléctrica en funcionamiento. Cuando se producen apagones, la pérdida de luz es, de hecho, el menor de nuestros problemas. Y aunque estas interrupciones se han vuelto más frecuentes y duraderas, esto no es nada en comparación con los desafíos a los que nos enfrentamos en un futuro sistema energético, donde la demanda de energía eléctrica aumentará significativamente. A menos que empecemos inmediatamente a replantearnos la eficiencia energética y la coloquemos en el centro de la política energética y las estrategias de mitigación del clima, los cortes de energía son solo uno de los retos significativos a los que nos enfrentamos.

Para 2050, las energías renovables deben representar aproximadamente el 70 % de la mezcla energética si queremos alcanzar las cero emisiones netas y los objetivos del Acuerdo de París.¹ A pesar de ello, no se presta atención a lo que esto implica para el sistema energético. ¿Tendremos la capacidad e infraestructura para utilizar eficientemente toda esa energía renovable

una vez que la tengamos? ¿Qué pasos deberíamos haber tomado hoy para garantizar que este futuro sistema energético descarbonizado se convierta en una realidad?

Comencemos con la energía eólica y solar, los temas favoritos del debate sobre las energías renovables. La energía que producen estas fuentes viene principalmente en forma de electricidad. Pero si no disponemos de la infraestructura necesaria para utilizar esa electricidad de forma eficaz (en el transporte, los edificios y la industria), producir tanta electricidad será un esfuerzo relativamente inútil. Para utilizar la electricidad generada por las energías renovables, **debemos pasar por una revolución que, liderada por la ingeniería, nos lleve a electrificar todos los elementos posibles de nuestro sistema energético.**

Una sociedad electrificada podría reducir hasta el 40 % del consumo energético final, simplemente porque las tecnologías eléctricas desperdician menos energía que sus homólogas de combustibles fósiles.² Al mismo tiempo, las medidas de eficiencia energética pueden acelerar la electrificación de los sectores; por ejemplo, hacer que los vehículos pesados sean más eficientes es fundamental para reducir el tamaño de las baterías necesarias para conectarlos. Por eso debemos empezar a pensar en la electrificación como una forma de eficiencia energética.

El tiempo lo es todo. En el futuro sistema energético, no basta con utilizar solo el tipo de energía adecuado, sino que también debemos utilizarla en el momento adecuado. Nuestros hábitos y comportamientos dictan actualmente cuándo se necesita energía; cuando estamos despiertos, consumimos mucho, y cuando estamos dormidos, no lo hacemos. Del mismo modo, la naturaleza dicta cuándo brilla el sol y el viento sopla. Debido a esto, nuestra necesidad de energía no siempre estará en línea con los planes meteorológicos de la naturaleza, lo que nos obliga a utilizar las centrales eléctricas fósiles como fuentes de energía residual cuando el suministro renovable sea bajo. Esto no solo conduce a una electricidad más cara, sino también a una huella de carbono mucho más pesada en las horas punta. Afortunadamente, **la eficiencia energética en forma de soluciones de flexibilidad por lo que respecta a la demanda puede mediar mejor la relación entre la oferta y la demanda, lo que es necesario para evitar picos de demanda intensivos en carbono.** Gracias a las tecnologías de flexibilidad existentes con relación a la demanda, podemos ahorrar dinero, reducir las emisiones de CO₂ y estabilizar la red.

Incluso en el futuro, no todo funcionará directamente con electricidad. Seguiremos necesitando alternativas limpias para descarbonizar en profundidad sectores como la industria pesada, la aviación y el transporte marítimo de larga distancia. En este sentido, el hidrógeno es la alternativa más prometedora. El hidrógeno será crucial en el futuro sistema energético, donde inevitablemente habrá periodos de exceso de electricidad renovable. Sin embargo, la electrólisis del agua, el proceso de producción de hidrógeno a partir de electricidad, creará una enorme demanda de electricidad, lo que ejercerá una presión significativa sobre nuestra ya obsoleta red eléctrica. Sin embargo, juntas, la eficiencia

energética y la electrificación pueden mantener la demanda de hidrógeno a un nivel realista y alcanzable, y al mismo tiempo producir hidrógeno de la manera más eficiente posible desde el punto de vista energético. Si queremos que la futura ecuación energética dé resultado, es necesaria una atención política urgente a la producción energéticamente eficiente de hidrógeno.

La producción de energía renovable no será suficiente para satisfacer la demanda de energía en un sistema de energía electrificado que atienda a una población de 9800 millones de personas en 2050. Para complementar la demanda, el exceso de calor será nuestro mejor amigo. En 2030, hasta el 53 % de la energía global se desperdiciará como exceso de calor.³ No obstante, **la captura y reutilización de ese exceso de calor puede sustituir cantidades significativas de electricidad, gas u otros combustibles que, de otro modo, se necesitarían para producir calor.** El exceso de calor puede ayudar a estabilizar la futura red eléctrica y facilitar la transición ecológica.

Como indican los temas anteriores, la eficiencia energética no es una consideración secundaria para las energías renovables. En el futuro sistema energético, **la eficiencia energética deberá ocupar un lugar central y funcionar en armonía con la creación de energías renovables** si realmente queremos cumplir nuestros objetivos climáticos, garantizar la seguridad energética, impulsar la economía y transformar fundamentalmente la forma en que se gobierna y consume la energía. Esta comprensión revisada de la eficiencia energética —lo que llamamos «eficiencia energética 2.0»— es la forma más rápida y rentable de hacer realidad un escenario de cero emisiones netas para 2050. La buena noticia es que ya tenemos la tecnología necesaria. No necesitamos magia, sino acción política inmediata para escalar las soluciones.

«Usar la palabra “apagón” para referirse a un corte de energía es algo equivocado. La pérdida de luz es el menor de nuestros problemas cuando nuestros sistemas eléctricos se averían».

Gretchen Bakke, The Grid⁴

«Cualquier tecnología suficientemente avanzada es indistinguible de la magia.»

Arthur C. Clarke,
Peligros de la profecía⁵

¿Solo tiene 2 minutos?

Esto es la eficiencia energética 2.0



1. Electrificar siempre que sea posible

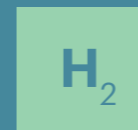
Al pasar de un sistema de energía fósil a uno totalmente electrificado, podemos reducir hasta el 40 % del consumo energético final.⁶

La electrificación es en sí misma una forma de eficiencia energética, ya que la mayoría de las tecnologías eléctricas tienen una menor tasa de pérdida de energía mientras desempeñan la misma función que un equivalente impulsado por combustibles fósiles.



2. Implementar soluciones de flexibilidad

Reinventar la eficiencia energética no solo consiste en utilizar menos energía, sino también en utilizar la energía en el momento adecuado. Al maximizar el potencial de flexibilidad relativo a la demanda, **la UE y el Reino Unido pueden ahorrar anualmente 40 millones de toneladas de emisiones de CO₂ y reducir la generación de electricidad a partir de gas natural en 106 TWh**, o aproximadamente una quinta parte del consumo de gas natural de la UE para la generación de electricidad en 2022. Además, **el ahorro anual en costes sociales asciende a 10 500 millones de € para 2030. Del mismo modo, los hogares pueden ahorrar una media del 7 % en sus facturas de electricidad.**



3. Utilizar el hidrógeno sabiamente

Alimentar nuestro futuro sistema energético con energías renovables requerirá un rápido escalado del hidrógeno. Sin embargo, la conversión al hidrógeno requiere unas cantidades increíbles de energía; para 2050, **la producción de hidrógeno requerirá más de la mitad de la demanda total de electricidad actual.^{7,8,9,10}** Las tecnologías de alta eficiencia para la electrólisis serán esenciales para garantizar la seguridad y estabilidad energéticas, así como para reducir la demanda de energía de hidrógeno.



4. Integrar sectores

Al integrar estratégicamente los sectores y desplegar el exceso de calor, podemos reducir la demanda de producción de energía y maximizar la eficiencia. **Para 2030, hasta el 53 % de la energía global se desperdiciará como exceso de calor.¹¹ Sin embargo, este calor se puede capturar y reutilizar** para alimentar maquinaria, así como edificios térmicos y agua a través de una integración sectorial más profunda.

Eficiencia energética 2.0

Diseñar el sistema energético del futuro

En un escenario de cero emisiones netas, no solo deben cambiar las fuentes de energía, sino también las formas en que se despliega, convierte, almacena, utiliza y reutiliza la energía.

Este artículo crea una nueva narrativa sobre la eficiencia energética, mostrando cómo **la electrificación, la flexibilidad respecto a la demanda, la conversión, el almacenamiento y la integración sectorial** deben ocupar un lugar central en un futuro sistema energético que permita una red de energía alimentada por energías renovables.

7 La gran transformación de la red

11 El futuro es eléctrico

19 Flexibilidad: el tiempo lo es todo

25 La conversión es clave para lograr las cero emisiones netas

31 Almacenamiento para la energía del futuro

35 Reutilización de la energía a través de la integración del sector

41 Recomendaciones sobre políticas

Basándose en pruebas empíricas y datos de diversas fuentes creíbles, el número 4 de Danfoss Impact muestra cómo una comprensión alternativa de la eficiencia energética, a la que se hace referencia en el artículo como «eficiencia energética 2.0» (EE 2.0), será fundamental para un sistema energético totalmente electrificado y descarbonizado.

En toda la bibliografía, el término «red inteligente» se utiliza ampliamente para describir el sistema energético interconectado del futuro. En la red inteligente, la electrificación, la integración sectorial, la flexibilidad, la conversión y el almacenamiento se complementarán entre sí en un sistema más eficiente que suministre la energía adecuada en el momento adecuado. En esta edición, nos referimos a ello con la expresión «el sistema energético del futuro».

La futura producción de hidrógeno deberá depender de la electricidad para ser descarbonizable. En este número, nos referimos al hidrógeno producido a partir de electricidad renovable como «hidrógeno de bajas emisiones», de acuerdo con la Perspectiva Mundial de la Energía de la AIE. Este término es intercambiable con el término «hidrógeno verde», que se utiliza ampliamente en todo tipo de documentación, pero sin definición estándar.

Un agradecimiento especial al Prof. Nick Eyre (profesor de Energía y política climática en la Universidad de Oxford e investigador sénior en Energía en el Environmental Change Institute), al Dr. Jan Rosenow (director de programas europeos en el Proyecto de Asistencia Regulatoria, asociado honorario de investigación en el Environmental Change Institute de la Universidad de Oxford), a Frederik Dahl Nielsen (PhD, planificación de energía sostenible en la Universidad de Aalborg) y al Dr. Brian Vad Mathiesen (profesor de planificación de energía sostenible en la Universidad de Aalborg) por sus valiosas aportaciones y comentarios sobre los borradores preliminares de este artículo.

Las opiniones expresadas en este documento son las de Danfoss. Su integridad y exactitud no deben atribuirse a ningún revisor ni entidad externos.

La edición número 4 de Danfoss Impact fue preparada por el departamento de Group Analysis en Group Communication and Public Affairs en Danfoss con la ayuda indispensable de Helge Vandel Jensen, Director Business Development, Electrification, Ditte Lykke Wehner, Portfolio Manager, Digital Services, y Andrea Voigt, Head of Global Public Affairs and Communications, Danfoss Climate Solutions.

Los comentarios o preguntas pueden dirigirse a la directora de análisis, Sara Vad Sørensen, escribiendo a sara.sorensen@danfoss.com.

La gran transformación de la red

«Estamos siendo testigos del comienzo del final de la era de los combustibles fósiles y tenemos que prepararnos para la próxima era».

Fatih Birol, director ejecutivo de la Agencia Internacional de la Energía¹²

En un futuro sistema energético con cero emisiones netas, el suministro energético mundial deberá disminuir un 15 % entre 2021 y 2050, junto con una rápida expansión de las energías renovables (figura 1).

En 2021, el 79 % de la energía mundial se produjo a partir de fuentes de combustibles fósiles. Para 2050, esta deberá reducirse a al menos el 18 %, y preferiblemente más, de cuyo porcentaje un 8 % deberá reducirse mediante la captura y el almacenamiento de carbono. Aunque sigue habiendo algún debate sobre el potencial de captura y almacenamiento del carbono, el consenso científico es que necesitamos reducir drásticamente nuestra dependencia de los combustibles fósiles. Mientras tanto, las energías renovables representaron el 11 % del suministro en 2021, una cifra que deberá aumentar al 70 % para 2050, con la energía solar y eólica combinadas representando un 39 % de dicho porcentaje. Tal vez no sea sorprendente que necesitemos más acción que las políticas corrientes establecidas e incluso que los compromisos anunciados para alcanzar las cero emisiones netas en 2050. **En otras palabras, para lograr un sistema energético compatible con los objetivos de cero emisiones netas, necesitamos nada menos que una revolución a gran escala de nuestro suministro energético.**

Desde una perspectiva de suministro de energía pura, necesitaremos inversiones sustanciales en energía solar, eólica y otras renovables que vayan mucho más allá de lo que se afirma o incluso se promete actualmente. Y, por supuesto, esto debe

ir acompañado de una reducción simultánea de la energía fósil.¹³ Afortunadamente, **el coste de las energías renovables ha disminuido drásticamente en los últimos años, y la energía solar y eólica terrestre han experimentado el mayor progreso.**¹⁴

Al mismo tiempo, el precio del carbón se ha estancado mientras que los precios de la energía nuclear han aumentado notablemente, un salto asociado en gran medida al aumento de las normativas de seguridad. En pocas palabras, es económicamente favorable invertir en energías renovables en lugar de en fuentes de energía fósiles. Y solo será más atractivo a medida que tecnologías como los convertidores de energía eólica e inversores solares aumenten la eficiencia con la que estas fuentes renovables pueden generar electricidad limpia. Esto significa que podemos suministrar al mundo energía de bajas emisiones que, además, también es la opción más barata y eficiente. Sin embargo, **la transición a las energías renovables conlleva la necesidad de reestructurar nuestra red eléctrica.**

Diseñar un mundo alimentado por electricidad

Para descarbonizar nuestro sistema energético del futuro, las energías renovables deben sustituir a los combustibles fósiles y el sistema energético debe electrificarse de principio a fin. Esta electrificación a gran escala no solo conducirá a una reducción

La transformación del suministro energético mundial

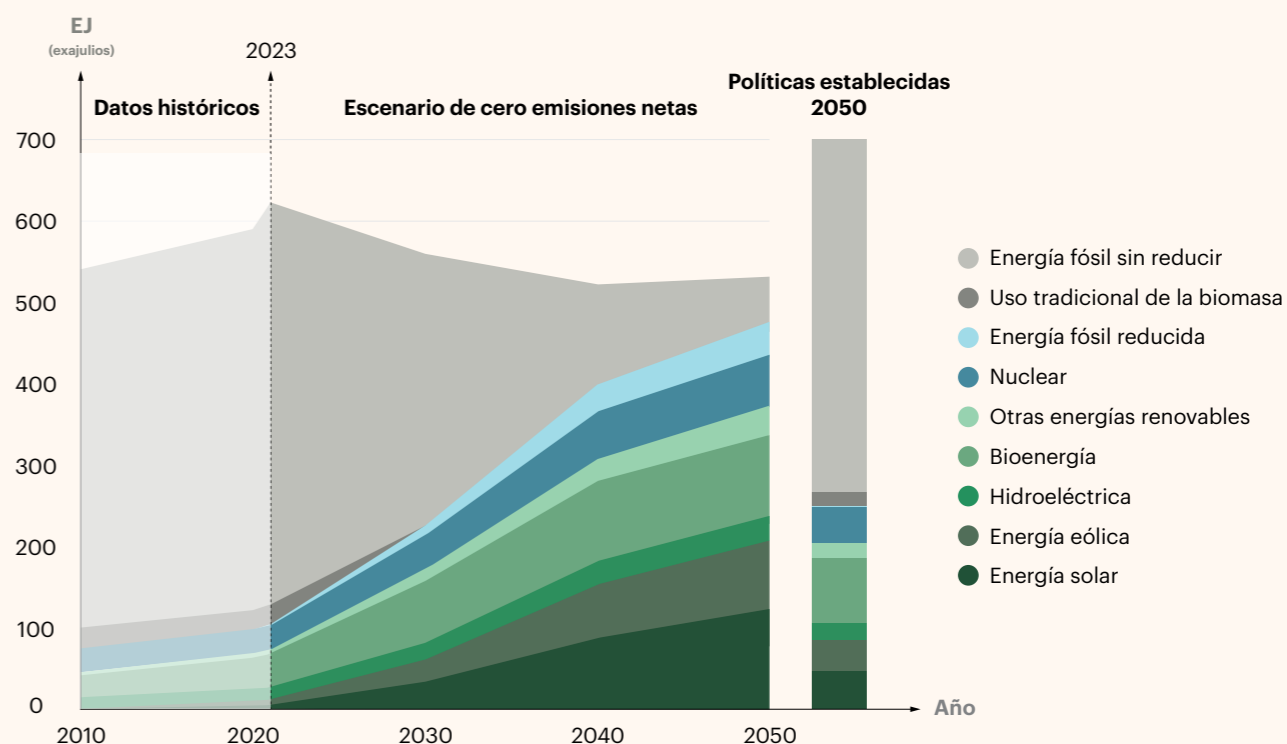


Figura 1: La transformación necesaria del suministro energético mundial para alcanzar las cero emisiones netas y dónde estaremos en 2050 si seguimos la trayectoria corriente con las políticas establecidas. Fuente: IEA Perspectivas mundiales de energía 2022¹⁶

drástica de las emisiones de gases de efecto invernadero, sino que también conllevará una disminución sustancial de la demanda final de energía y grandes ahorros económicos.¹⁵

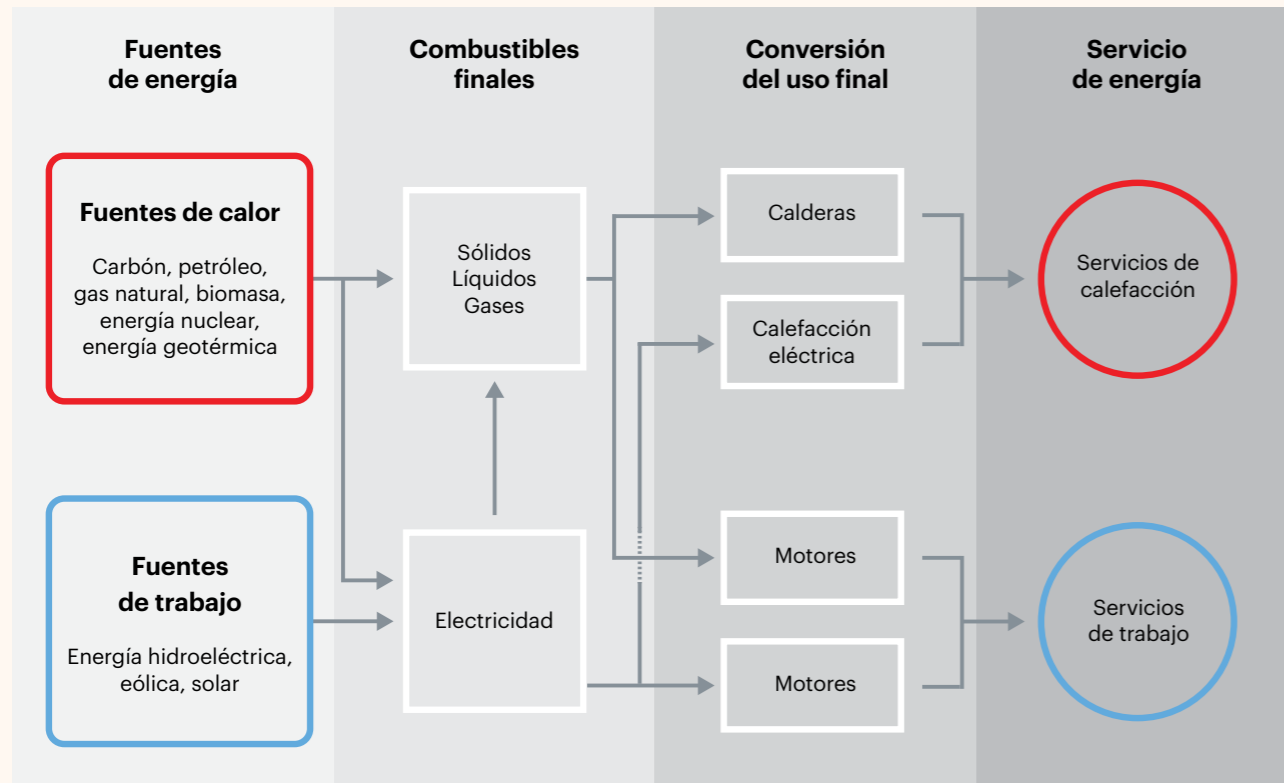
Para comprender la gran transformación de la red, y alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, el profesor Nick Eyre de la Universidad de Oxford ha descrito la necesidad de pasar de las fuentes de energía que producen calor a las que producen trabajo.

Todas las funciones de nuestras economías y sociedades están impulsadas por el calor o por el trabajo. Los combustibles fósiles son la principal fuente de energía térmica; cuando se queman, se convierten en calor, que se utiliza para cualquier cosa, desde la calefacción de espacios hasta la propulsión de un coche por la carretera. El trabajo, por otro lado, consiste en utilizar el movimiento, como un aerogenerador giratorio, para energizar actividades. Como se puede ver en la Figura 1 anterior, se convertirá en una de las principales fuentes de energía en el futuro, junto con otras fuentes de trabajo como la energía solar e hidroeléctrica.

Actualmente, la mayoría de nuestras sociedades están alimentadas por fuentes de calor que requieren la quema de combustibles fósiles. Para descarbonizar el sistema energético, tendremos que transformar fundamentalmente la mayoría de las fuentes, de productores de calor a productores de trabajo.

El principal reto en la transición del calor al trabajo no es producir electricidad, sino permitir que el uso final sea alimentado por electricidad. **Actualmente, alrededor del 80 % de la energía de uso final no está electrificada.**¹⁷ El cambio al que nos enfrentamos es esencialmente una inversión de los cambios que han tenido lugar desde la Revolución Industrial; en lugar de explotar la energía de los servicios de calor a energía que requieren trabajo, suministraremos energía de trabajo a energía a casi todos los servicios. En otras palabras, el trabajo será la fuente de servicios tanto de calefacción como de trabajo. Esto significa que todo lo que hemos pensado acerca de nuestro sistema energético hasta ahora se volverá al revés, eso es, en lugar de convertir el calor en trabajo, se tratará de convertir el trabajo en calor.

Calor y trabajo en el sistema de energía actual



Calefacción y trabajo en el sistema energético del futuro

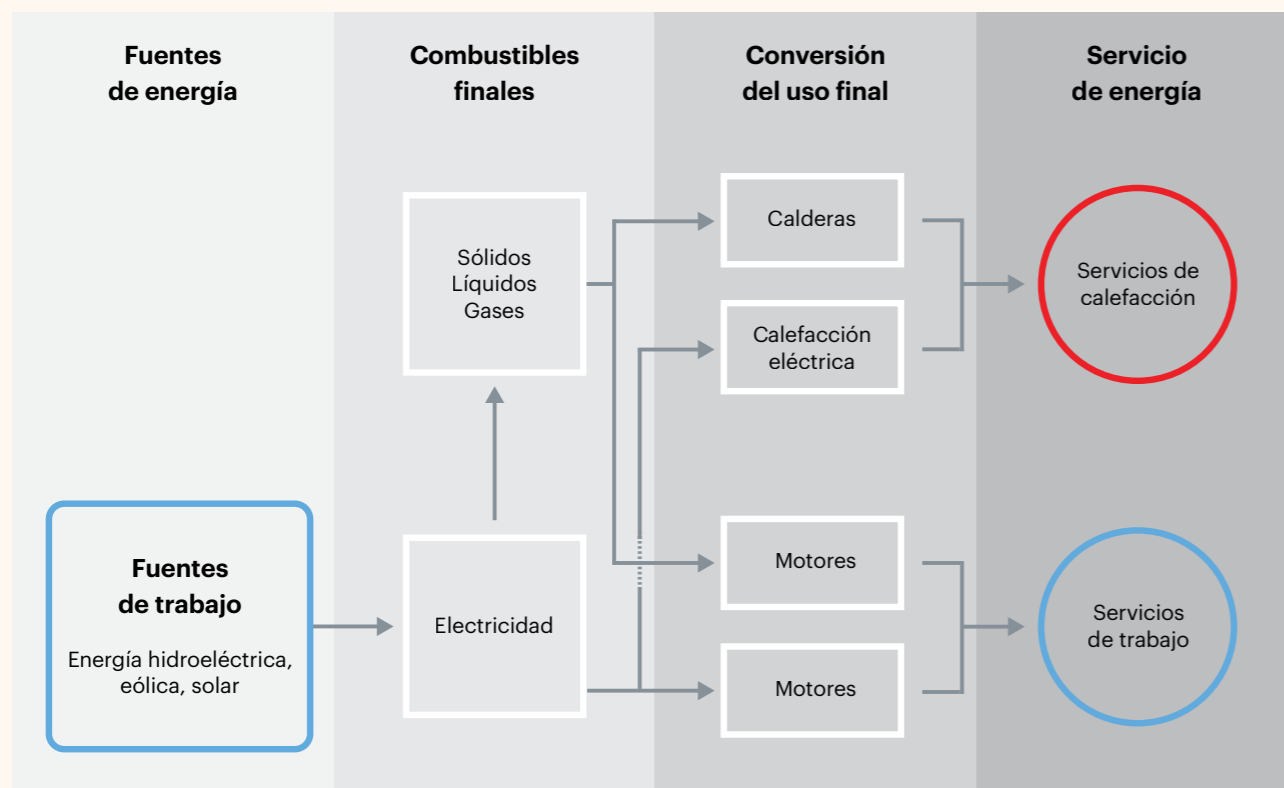


Figura 2: Adaptado de Eyre, N. (2021). Las fuentes de energía térmica son la biomasa, el carbón, el petróleo, el gas natural, la energía nuclear y la geotérmica. Las fuentes de energía de trabajo son la energía hidroeléctrica, eólica y solar. En el sistema de la electricidad renovable esperamos algo de energía nuclear y geotérmica, aunque esta fuente es insignificante a escala mundial. Los servicios de calor son, por ejemplo, calefacción de espacios, lavado, cocción, secado, vaporización y fusión. Los servicios de trabajo son, por ejemplo, energía estacionaria, transporte, iluminación, procesamiento de datos y electroquímica. Fuente: Eyre, N. (2021). Del uso del calor al uso del trabajo: reimaginar la transición energética con cero emisiones de carbono. Eficiencia energética. 14:77, 1-20.

Pasos para electrificar la red eléctrica

En un escenario de cero emisiones netas, no solo deben cambiar las fuentes de energía, sino también las formas en que esta se utiliza. Nuestra red eléctrica debe pasar por una transformación que le permita ofrecer los servicios energéticos sin sacrificar el confort, la seguridad energética ni el crecimiento económico. Esta transformación implica:

- 1 Electrificar siempre que sea posible.** La mayoría de las energías renovables producen electricidad. Para adaptarse a la importante ampliación de las energías renovables necesarias para alcanzar las cero emisiones netas, el alcance y la profundidad de la electrificación deben ir mucho más allá. Este es el punto central del siguiente apartado del artículo.
- 2 Dejar a un lado la producción de calor a través de los combustibles, y producirlo a través de la electricidad,** ya sea directamente a través de bombas de calor o indirectamente a través de sistemas de distribución de energía District Energy a nivel de distrito, como exploramos en la página 13. La electricidad es más eficiente que los combustibles a la hora de generar calor por debajo de 100 °C, lo que es más que suficiente para la calefacción de espacios, así como para muchos procesos industriales.¹⁸
- 3 Electrificación indirecta en sectores difíciles de reducir.** Aunque aún no se ha estudiado por completo, tendremos que buscar alternativas en sectores como la aviación de larga distancia, el transporte marítimo de larga distancia y algunos procesos industriales de alta temperatura. Una de las alternativas más prometedoras es el hidrógeno de bajas emisiones, como exploramos en la página 15.

El futuro es eléctrico

La transición a un sistema energético totalmente electrificado podría reducir hasta el 40 % del consumo energético final.¹⁹

El siglo^{XX} fue la época dorada de la electrificación. Con grandes avances en eficiencia, fiabilidad y aplicación, la electricidad se convirtió en la infraestructura fundamental de casi todas las tecnologías modernas y lo sigue siendo hasta el día de hoy.²⁰ Solo gracias a la electricidad, la mayor parte de todos los avances de ingeniería desde entonces fueron posibles en primer lugar. Imagínese Internet, un frigorífico o una bombilla sin electricidad.

Así que, si la electrificación definió el siglo XX, ¿qué podemos esperar del siglo XXI? Resulta que **ni siquiera hemos rayado la superficie de la capacidad de la electricidad para transformar nuestras vidas.** Aunque la electrificación ya ha permitido la innovación de millones de tecnologías que han mejorado drásticamente la salud humana y la calidad de vida, debemos volver a hacer un llamamiento para transformar fundamentalmente nuestras sociedades y economías. De la misma manera que los combustibles fósiles como el carbón y el gas impulsaron la revolución industrial, la electrificación impulsará nuestro sistema energético del futuro.

Las vías de electrificación

Cuando pensamos en la electrificación, normalmente pensamos en convertir maquinaria que actualmente funciona directamente con combustibles fósiles, como los turismos u otros vehículos de transporte de pasajeros, en algo que podemos cargar, idealmente utilizando fuentes

de energía renovables. Esto es lo que llamamos electrificación directa.

Sin embargo, la electrificación no consiste solo en conectar los elementos a una toma. Por ejemplo, en el sector del transporte, puede parecer sencillo seguir el mismo camino que los turismos: conectarlo todo a la batería y cargarlo con energía procedente de fuentes renovables. Pero para una gran parte del sector del transporte, esto es más fácil de decir que de hacer.

Tomemos como ejemplo los vehículos pesados. En primer lugar, en comparación con los turismos, muchos vehículos industriales necesitan trabajar mucho más y durante mucho más tiempo entre cargas, lo que significa que necesitan baterías extremadamente grandes para igualar la productividad del diésel equivalente. En segundo lugar, las barreras operativas y logísticas a menudo complican el cambio de baterías, como en el campo o en grandes obras de construcción. Y en tercer lugar, no hay energía renovable ilimitada en la red y la cantidad de energía renovable adicional necesaria para electrificar la flota de excavadoras no es trivial: una estimación aproximada dice que si todas las excavadoras del mundo fueran eléctricas, consumirían la misma energía que la generada por todos los aerogeneradores marinos del mundo hoy en día.²¹ En casos como este, las funciones dentro de las máquinas alimentadas por combustibles fósiles, como las bombas hidráulicas, deberían electrificarse para aumentar la eficiencia del motor. Esta forma de electrificación híbrida

Caso: La descarbonización de vehículos pesados



Todas las máquinas del sector de la construcción en todo el mundo emiten 400 MT de CO₂ al año,²² tanto como las emisiones de la aviación internacional.²³ El 50 % proviene solo de las excavadoras.²⁴ Los sistemas de excavadoras actuales solo son un 30 % eficientes, lo que significa que el 70 % de la energía que genera el motor se desperdicia en lugar de ayudar al cazo de la excavadora a mover tierra. Para identificar las pérdidas de energía en un vehículo pesado, no basta con mirar el motor del vehículo. En las máquinas del sector de la construcción, un sistema hidráulico consiste en una bomba que presuriza fluidos (aceite) para transmitir la potencia del motor y, de este modo, realizar trabajos como elevación o excavación. Tanto si el vehículo tiene un motor eléctrico o un motor de combustión interna, el consumo energético del vehículo se puede reducir considerablemente mediante medidas de eficiencia energética. Por ejemplo, el consumo energético se puede reducir significativamente cuando el vehículo no está en funcionamiento mediante soluciones como bombas de desplazamiento variable, desplazamiento digital, bombas de velocidad variable y accionamientos descentralizados.

Estas medidas de eficiencia energética permiten a las excavadoras realizar más trabajo con un motor más pequeño y menos combustible. También reducen la capacidad de la batería necesaria para electrificarlas en hasta un 24,8 %.²⁵ **La tecnología se está desarrollando rápidamente y algunas de estas medidas pueden ofrecer un ahorro de combustible del 15-30 % en excavadoras de más de 15 toneladas, al mismo tiempo que aumentan la capacidad de trabajo de las máquinas.**²⁶ Pronto será posible aplicar esta tecnología a excavadoras de todos los tamaños e incluso lograr un ahorro de combustible de hasta el 50 %.²⁷

15-30 %

de ahorro de combustible gracias a la eficiencia energética

es una solución muy útil a corto y medio plazo para maquinaria pesada, especialmente en la industria, la construcción y el transporte marítimo. Como se puede ver en la página 12, estas mejoras en la eficiencia de los vehículos también allanan el camino para una electrificación completa.

Por último, hay muchas partes de nuestro sistema energético que no podrán convertirse en esta forma de maquinaria eléctrica directa o híbrida, o al menos no pronto. Aquí, a menudo pensamos en sectores como la aviación, el transporte marítimo de larga distancia y la producción de cemento y acero. La electrificación directa de estos sectores requeriría baterías demasiado grandes para el buque en el que se utilizarían (por ejemplo, para aviación) o requeriría enormes cantidades de producción de calor (por ejemplo, cemento y acero). Aunque son muy difíciles de electrificar

directamente de forma eficiente, estos sectores son los principales emisores de GEI y, por lo tanto, su electrificación contribuiría en gran medida a reducir las emisiones de GEI y a alcanzar los objetivos de cero emisiones netas. Aquí es donde entra en juego la electrificación indirecta.

La electrificación indirecta se produce principalmente en forma de electrólisis de hidrógeno. El uso de la electricidad para producir hidrógeno permitirá su almacenamiento indirectamente o su utilización como combustible en procesos difíciles de electrificar. Explicaremos más al respecto en el apartado titulado *La conversión es clave para alcanzar las cero emisiones netas*, pero también lo abordaremos aquí, ya que es un elemento fundamental de una electrificación a gran escala de nuestro sistema energético del futuro.

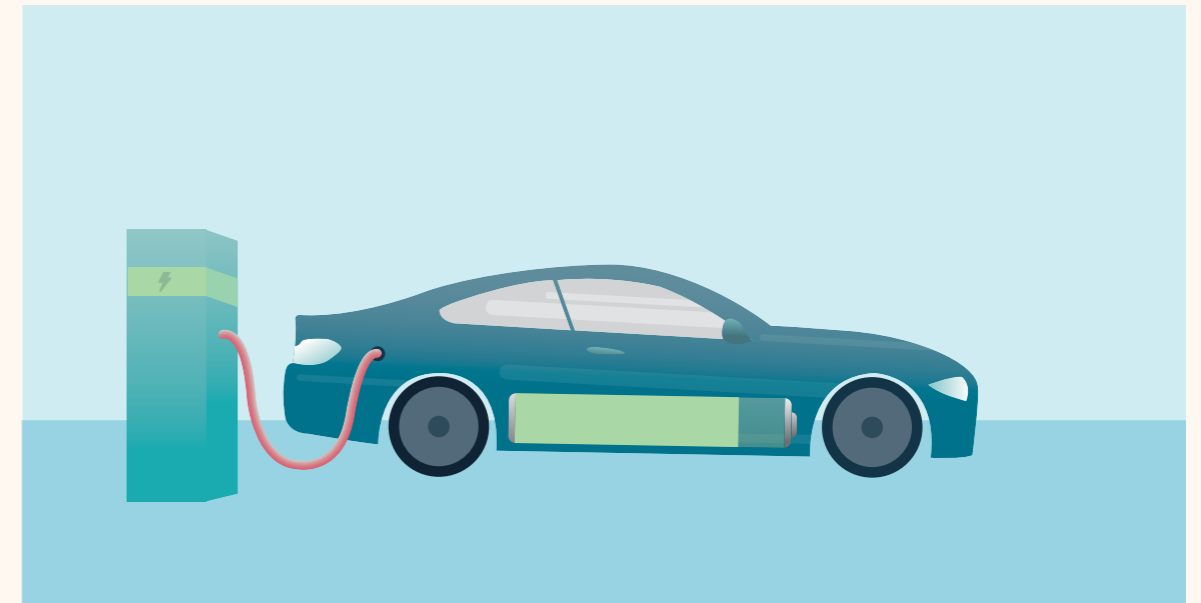
Caso: Calefacción eléctrica eficiente

Alrededor del 60 % de toda la demanda mundial de calefacción se suministra actualmente con combustibles fósiles,²⁸ lo que se traduce en aproximadamente cuatro gigatoneladas de emisiones anuales de CO₂ o el 10 % de las emisiones mundiales.²⁹ Esto se debe a que muchos edificios residenciales y comerciales utilizan tecnologías de calefacción heredadas, como las calderas de gas. Sin embargo, las bombas de calor pueden proporcionar el mismo nivel de calor, pero con un menor consumo energético y menos emisiones de carbono. De hecho, la producción de energía en forma de calor de una bomba de calor es cuatro veces mayor que la energía eléctrica utilizada para hacerla funcionar en un hogar típico.³⁰ **Las bombas de calor individuales también son 3-5 veces más eficientes energéticamente que los sistemas basados en combustible o resistencia eléctrica, dependiendo del tipo de bomba de calor.**³¹ Esto se debe a que utilizan electricidad para obtener calor preexistente de fuentes de aire, agua o tierra en lugar de utilizar gas o electricidad para generar calor nuevo. En otras palabras, reciclan el calor, reduciendo así la cantidad de energía necesaria para calentar la misma cantidad de espacio.

Además, el ahorro de costes de las bombas de calor en las facturas de energía puede ser sustancial: hasta un 45 % en Alemania o incluso hasta un 60 % en Francia en comparación con las calderas de gas, dependiendo de los precios del gas y del tipo de bomba de calor instalada.³² La energía de distrito es una buena alternativa a las bombas de calor en edificios individuales, especialmente en zonas urbanas, ya que permite que diferentes fuentes, como la energía renovable y el exceso de calor, penetren más profundamente en la red eléctrica. Pero las bombas de calor también pueden complementar la energía de distrito. Por ejemplo, las bombas de calor se utilizan para mejorar la temperatura en la red de District Energy, si la temperatura es inferior al nivel requerido.

Las bombas de calor son
3-5 veces
más eficientes que los sistemas
de resistencia eléctrica o a base
de combustible

Caso: Los vehículos eléctricos están reduciendo las emisiones



El transporte por carretera representa más del 15 % de las emisiones globales relacionadas con la energía.³³ Sin embargo, está ampliamente aceptado que los vehículos eléctricos (VE) son nuestra mayor oportunidad para reducir estas emisiones de transporte por carretera en línea con el escenario de cero emisiones netas para 2050. De hecho, según la AIE, los objetivos relacionados con el escalado de los vehículos eléctricos son algunos de los muy pocos que están en camino de alcanzar las cero emisiones netas.³⁴ Pero, ¿qué hay de los vehículos eléctricos que pueden ayudar a reducir drásticamente las emisiones de carbono?

Existe la opinión evidente de que no emiten gases de efecto invernadero directamente a la atmósfera, y la electricidad puede descarbonizarse. Pero otra fuerza clave que impulsa la descarbonización del sector es que los **sistemas de accionamiento eléctrico de los vehículos eléctricos son simplemente más eficientes que sus homólogos de combustión, ya que tienen una pérdida de energía de solo el 15-20 % en comparación**

con el 64-75 % de los motores de gasolina.³⁵ Y esta pérdida de energía puede disminuir aún más con la implementación de módulos de potencia energéticamente eficientes, lo que allanará el camino para una reducción del 5-10 % en el tamaño de la batería o un aumento del 4-10 % en la autonomía de conducción.^{36,37,38,39} En otras palabras, hay menos desperdicio de energía al recorrer la misma distancia en un vehículo eléctrico, lo que significa que los conductores pueden consumir menos para lograr el mismo resultado.

¿Qué pasa con la producción? Aunque la producción de vehículos eléctricos a menudo puede ser más intensiva en carbono que la de los vehículos con motor de combustión debido al proceso de fabricación de baterías, un estudio del MIT estima que estas emisiones se compensarían rápidamente en un plazo de 6 a 18 meses, dependiendo del origen de la energía utilizada para cargar el coche.⁴⁰ Si estos desarrollos tecnológicos continúan, los vehículos eléctricos se convertirán en alternativas aún mejores a los vehículos ICE.

Caso: La descarbonización de sectores difíciles de reducir



En los casos en los que aún no podemos electrificarlos, podemos al menos descarbonizarnos. Por ejemplo, la producción de acero y cemento requiere temperaturas extremadamente altas; de hecho, tan altas que los hornos eléctricos aún no pueden generarlas de forma eficiente. Y aunque estamos viendo desarrollos tecnológicos positivos para la electrificación de los procesos de alta temperatura, actualmente estos no funcionan a escala, lo que nos deja con pocas opciones aparte de los combustibles fósiles. Del mismo modo, en industrias como la aviación y el transporte marítimo de larga distancia, los motores eléctricos pueden producir suficiente potencia. Sin embargo, también requieren baterías, que son demasiado pesadas y requieren demasiado espacio para ser prácticas. En ambos casos, el hidrógeno es nuestra mejor esperanza para la descarbonización.

Mediante un proceso llamado electrólisis, la electricidad se utiliza para dividir el agua en hidrógeno y oxígeno. Mientras que el oxígeno puede liberarse simplemente de nuevo a la atmósfera, el hidrógeno puede capturarse, almacenarse o volverse

a convertir en combustibles alternativos, tales como e-amoníaco, e-queroseno y e-metanol. Estos pueden utilizarse para alimentar industrias o procesos que requieran altas temperaturas o movilidad en largas distancias.

En cada paso del proceso de conversión, hay una pérdida de energía. Por ejemplo, al convertir la electricidad en hidrógeno, hay una pérdida de energía de aproximadamente el 30%.⁴¹ Cuando luego ese hidrógeno se convierte de nuevo en alguna forma de energía implementable (como los combustibles electrónicos), hay una pérdida de energía adicional, lo que resulta en una eficiencia energética total del 18-42%.⁴² Debido a esta pérdida de energía, estos combustibles electrónicos no son necesariamente más eficientes energéticamente que los combustibles fósiles. Sin embargo, si asumimos que la electricidad utilizada para crear el hidrógeno inicial provendrá de fuentes renovables, como será el caso en la mayor parte de nuestro sistema energético para 2050, podemos afirmar que esta es una forma viable para descarbonizar estos sectores intensivos en energía, donde hasta hace poco la descarbonización no era más que un sueño.

Los fundamentos de la descarbonización

Los ejemplos anteriores muestran cómo la electrificación y la eficiencia energética están profundamente conectadas. Al aumentar la eficiencia energética, es más fácil y barato electrificar. Al mismo tiempo, la electrificación permite una menor pérdida de energía, lo que en última instancia la convierte en una forma de eficiencia energética. Además, todos estos ejemplos se vuelven aún más eficientes cuando funcionan dentro de un sistema energético alimentado íntegramente por energías renovables. Pero aquí está lo más importante: **esto solo es posible en un sistema que reduzca lo suficiente la demanda de energía a través de medidas de eficiencia energética y electrificación como para garantizar que el suministro renovable pueda seguir el ritmo de la demanda.**

Esto nos lleva de vuelta al punto de partida de este apartado: que una transformación de un sistema de energía fósil a un sistema de energía totalmente electrificado podría reducir hasta el 40% del consumo energético final.⁴³ Por ejemplo, una bomba de calor es más eficiente que una caldera de gas en condiciones normales, incluso si la electricidad utilizada para alimentar esa bomba de calor se cree a partir de combustibles fósiles quemados, y sin olvidar que la eficiencia varía

según el combustible. Al adoptar tecnologías eléctricas, incluso en nuestro sistema energético actual, podemos reducir las emisiones de carbono mediante la disminución de la demanda de energía fósil. Sin embargo, en un futuro en el que la electricidad provenga de fuentes renovables, la eficiencia de las bombas de calor aumentará enormemente, ya que no se producirá ninguna pérdida de energía más adelante en el sistema cuando se quemen combustibles para crear la electricidad. Lo mismo se aplica a la carga de vehículos eléctricos o a cualquier otra función en la que la electricidad se utilice como fuente primaria de energía.

Si en 2050 queremos que nuestro mundo funcione con fuentes renovables, tendremos que reducir la demanda energética a través de medidas de eficiencia energética junto con una revisión eléctrica a gran escala de nuestra infraestructura para adaptarnos a ella. Del mismo modo, si estamos instalando millones de bombas de calor y estaciones de carga de vehículos eléctricos, necesitaremos electricidad renovable para alimentarlas y garantizar su descarbonización integral. El objetivo de todo esto es que la eficiencia **energética, las energías renovables y las tecnologías eléctricas deben considerarse juntas si queremos descarbonizar por completo nuestro sistema energético.** Ninguna de ellas podrá tener éxito sin las demás.

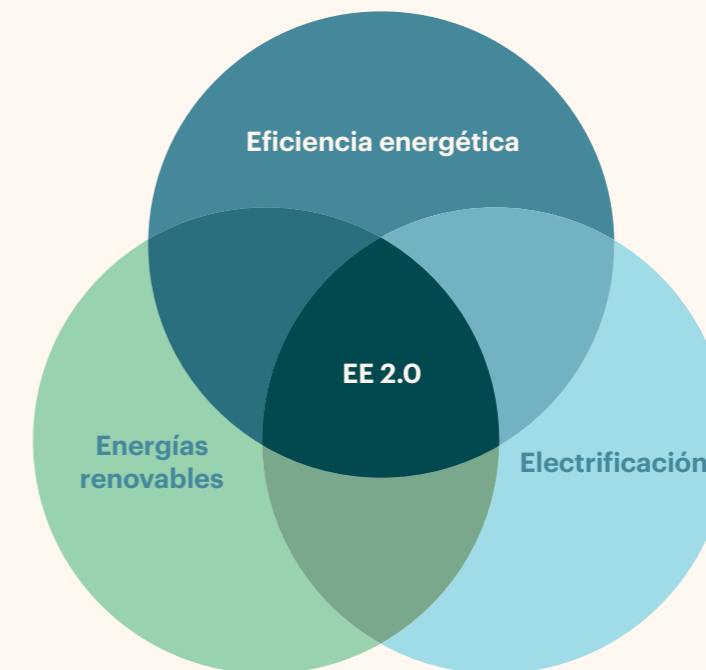


Figura 3: La eficiencia energética, la electrificación y las energías renovables deben considerarse juntas si queremos alcanzar las cero emisiones netas para 2050.

«Las tecnologías electrificadas más eficientes permitirán a las energías renovables asumir una mayor cuota del mercado energético más rápidamente».

Dr. Jan Rosenow y prof. Nick Eyre,
Reinventar la eficiencia energética
para lograr las cero emisiones netas⁴⁴

Electrificar siempre que sea posible

1 La eficiencia energética puede acelerar la electrificación

Una mayor eficiencia puede acelerar la electrificación. Por ejemplo, en turismos, vehículos pesados y en el transporte marítimo, las medidas de eficiencia pueden reducir el tamaño de las baterías necesarias. Esto reduce la cantidad de energía de carga necesaria y la cantidad de generación de energía renovable necesaria, lo que permite conectarlos eléctricamente de forma más económica. El aumento de la eficiencia también puede reducir la demanda de infraestructura de carga y aumentar la productividad y la autonomía del vehículo.

2 La electrificación es eficiencia energética

La electrificación conduce a reducciones de emisiones, tanto sustituyendo la energía de combustibles fósiles por la generación de electricidad renovable, como ahorrando energía gracias a la mayor eficiencia de las tecnologías eléctricas. De hecho, un estudio de la Universidad de Oxford sugiere que **una transformación de un sistema de energía fósil a un sistema de energía totalmente electrificado podría reducir hasta el 40 % del consumo energético final.**⁴⁵ Esto se debe a que, al generar electricidad con energías renovables en lugar de a partir de fuentes productoras de calor como el carbón o el gas natural, no desperdiciamos energía en forma de calor (véase la Figura 2).

Flexibilidad: el tiempo lo es todo

La forma en que usamos la energía a lo largo del día viene dictada por nuestro comportamiento como seres humanos. En las primeras horas de la mañana, la mayoría dormimos profundamente. Las farolas están encendidas en la calle y el tren solo pasa cada media hora. Pero cuando nos despertamos para empezar el día, el agua fluye a los edificios, el gas a las estufas y la electricidad a los hogares. Los niños se van al colegio y los adultos al trabajo, dejando las casas vacías de consumidores de energía. Sin embargo, mientras muchas casas están vacías durante el día, el resto de la ciudad cobra vida. Las tiendas abren, las oficinas empiezan a llenarse y el tren pasa con mayor frecuencia. Después de un breve pico durante el almuerzo y la batalla del aire acondicionado contra el calor de la tarde, el colegio y el trabajo finalmente acaban y las familias regresan a casa. Es entonces cuando más energía consumimos. Preparamos la cena, lavamos la ropa, vemos películas y las luces se encienden a medida que el día cambia a la noche. Después de una noche normal en casa, es hora de que nosotros y nuestro sistema energético descansemos por la noche.

Este es un ejemplo de cómo la demanda de energía cambia durante un día normal de la semana en una red eléctrica relativamente desarrollada. Sin embargo, en el sistema energético del futuro, basado en fuentes de energía renovables, también habrá picos y valles en la generación de energía. El pico acentuado de consumo energético que experimenta la red eléctrica cuando las personas se despiertan o vuelven a casa después de un largo día de trabajo no siempre se alinea perfectamente con los períodos de sol intenso o vientos intensos (véase la Figura 7 en la página 32).

Esta desalineación representa uno de los mayores retos de nuestro sistema energético del futuro. **Actualmente, incluso en países con una alta proporción de energías renovables en la mezcla energética, los combustibles fósiles siguen utilizándose como fuentes de energía residual en las horas punta, lo que significa que liberamos mucho más CO₂ de lo necesario durante estos periodos.** Sin embargo, en un mundo en el que ya no podemos encender centrales eléctricas de gas natural para satisfacer los picos de demanda,

«Ahorrar una unidad de electricidad durante las horas pico de un día con poca generación renovable ofrece un ahorro de carbono y un beneficio medioambiental significativamente mayores que ahorrar la misma unidad durante las horas de generación renovable excesiva».

Prof. Nick Eyre, Reinventar la eficiencia energética para lograr las cero emisiones netas⁴⁶

habrá que encontrar nuevas formas de gestionar la energía de forma más flexible. En esta sección se presentan las vías para permitir un sistema energético más flexible, así como nuevos datos sobre los posibles ahorros energéticos y de costes de la implementación de soluciones de flexibilidad con relación a la demanda a escala.

¿Qué es la flexibilidad relacionada con la demanda?

La flexibilidad relacionada con la demanda consiste en utilizar la energía renovable cuando es abundante y reducir la demanda durante las horas punta. Se trata de nivelar el consumo energético para no experimentar periodos de alta demanda y bajo suministro simultáneamente. Los métodos principales para lograrlo son las medidas de flexibilidad relacionada con la demanda, como el desplazamiento de carga o la reducción de picos. De una manera u otra, ambos métodos tratan de reducir los picos de demanda de energía, ya sea alejando el uso de energía de los períodos de consumo pico o evitando los picos por completo reduciendo el uso de energía para una función para servir a otra.

Básicamente, los equipos se pueden apagar o detener durante los períodos de mayor demanda, en lugar de elegir usarlos en otro momento. Y aunque este proceso puede llevar a un mayor uso de energía en algunos casos, es menos problemático, y a veces incluso más barato y ecológico, porque la energía se utiliza fuera del periodo de demanda máxima. Esto reduce la tensión en la red eléctrica y ahorra dinero, ya que la energía es más barata en los periodos que no son pico. De hecho, **en EE. UU. la optimización de la eficiencia, la flexibilidad de la demanda y la electrificación en los edificios puede ahorrar hasta 107 000 millones de dólares en el ahorro anual de costes del sistema de energía, junto con una reducción del 91 % en las emisiones de carbono de los edificios para 2050.**⁴⁷

Las soluciones de flexibilidad relativa a la demanda son aún más eficaces cuando se combinan con mecanismos eficientes de almacenamiento de energía (consulte el apartado Almacenamiento), ya que pueden automatizar el almacenamiento de energía durante periodos de baja demanda para desplegarse cuando la demanda es mayor. Del mismo modo, esto permite a los consumidores utilizar energía barata y renovable en momentos en los que, por lo contrario, la energía sería más cara e intensiva en carbono.

Caso: Controles predictivos por modelo

Tanto los procesos de cambio de carga como los de reducción de picos se pueden automatizar con tecnologías digitales que controlan cómo o cuándo utilizan energía los equipos o la maquinaria. Esto se logra principalmente mediante la implementación de herramientas digitales conocidas como controles predictivos por modelo. En los edificios, por ejemplo, estas **tecnologías basadas en IA pueden ahorrar hasta un 20 % en los costes energéticos de un edificio combinando los datos del edificio, el clima y los usuarios para predecir la demanda de calefacción y ventilación.** Al utilizar estos controles, los edificios pueden precalentarse antes de las horas punta o reducir la calefacción cuando el sol está

a punto de calentar las fachadas del edificio, ahorrando así energía. Las observaciones de 100 000 apartamentos equipados con esta tecnología, principalmente en Finlandia, muestran que el consumo máximo de energía se redujo en un 10-30 %.⁴⁸ Mientras tanto, al trasladar el consumo al periodo más económico, el sistema garantiza un ahorro de hasta el 20 % en los costes energéticos de un edificio sin perjudicar el confort de los residentes.⁴⁹ En 2021, una autoridad local londinense instaló controles predictivos por modelo en ocho edificios residenciales. En los primeros 11 meses de funcionamiento, la tecnología amortizó su coste inicial y ahorró 600 MWh de calor, lo que equivale a calentar 50 hogares en el Reino Unido durante un año.

Caso: Flexibilidad energética en la UE y el Reino Unido



Imaginemos un futuro en el que nuestros vehículos comiencen a cargarse automáticamente cuando la electricidad es abundante y vuelvan a suministrar electricidad cuando esta sea escasa. Donde la calefacción y la refrigeración están automatizadas para funcionar durante las horas de demanda óptima sin sacrificar el confort. O donde los frigoríficos de los supermercados se pueden sobreenfriar automáticamente cuando la electricidad es barata. Esto está lejos de ser un escenario de ciencia ficción. Muchas de estas soluciones de flexibilidad ya existen y están listas para implementarse hoy en día (consulte el caso «Controles predictivos por modelo»).

Con la flexibilidad relativa a la demanda, el potencial para ahorrar energía, emisiones y dinero, al tiempo que se aumenta la seguridad energética, es enorme. Muchas entidades gubernamentales, incluida la UE, reconocen que la flexibilidad relativa a la demanda es importante para tener éxito en la integración a gran escala de las energías renovables.⁵⁰ Sin embargo, aunque el reconocimiento es alto, la acción política

para incentivar una implementación a gran escala de la flexibilidad de la demanda no lo es.

Un nuevo análisis encargado por Danfoss examina el potencial de flexibilidad de la demanda en el mercado mayorista de la energía de la UE y el Reino Unido.⁵¹ Este estudio ha descubierto que **una implementación ambiciosa, pero realista, conducirá a importantes beneficios sociales y medioambientales, así como a una reducción de las facturas energéticas de los consumidores.** El potencial real es posiblemente mayor, ya que este análisis no tiene en cuenta el ahorro en inversiones en la red de distribución y la red de transmisión interna, ni los posibles ingresos de la venta de servicios auxiliares a los operadores de la red.

La flexibilidad con relación a la demanda es una herramienta importante para eliminar gradualmente los combustibles fósiles de nuestra generación de electricidad. Ya en 2030, la generación anual de electricidad a partir de gas natural puede reducirse drásticamente en 106 TWh,

o aproximadamente una quinta parte del consumo de gas natural de la UE para la generación de electricidad en 2022.⁵² Del mismo modo, **la UE y el Reino Unido pueden ahorrar 40 millones de toneladas de emisiones de CO₂ al año para 2030**, más que la huella climática doméstica de Dinamarca en 2021.⁵³ Además, **la UE y el Reino Unido pueden lograr ahorros anuales en los costes sociales de 10 500 millones de € para 2030 y 15 500 millones de € para 2050**, y esto incluye una parte significativa del coste de establecimiento de la flexibilidad relativa a la demanda. Parte de estos ahorros en 2050 provienen de una disminución del 21 % en las inversiones en líneas eléctricas.

10,5 millones
de euros anuales de ahorro
en costes sociales para 2030

Durante la reciente crisis energética, el Reino Unido ha asignado 103 000 millones de € a la crisis energética, y los países de la UE han asignado 681 000 millones de €. ⁵⁴ Toda la UE y el Reino Unido pueden implementar tecnologías de flexibilidad de la demanda y hacer que la red sea más resiliente. Esto puede reducir en gran medida la necesidad de subvenciones gubernamentales a esta escala, así como ahorrar dinero tanto a nivel social como de consumo. En toda la UE y el Reino Unido, **el consumidor medio puede ahorrar un 7 % en la factura eléctrica para 2030 y un 10 % para 2050.**

Para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París, la UE y el Reino Unido deben electrificar el sistema energético. Esto requerirá una importante expansión de la generación de electricidad, incluidas enormes capacidades de baterías. Sin embargo, **con una implementación a gran escala de la flexibilidad de la demanda, esta expansión de la generación de electricidad puede reducirse en 313 GW antes de 2050, o alrededor del 10 % de la capacidad total.**

Esto incluye reducciones drásticas de 298 GW a menos de 2 GW en la necesidad de almacenamiento en batería a escala de red. Para poner esto en perspectiva, la capacidad global de las baterías era de 28 GW en 2022.⁵⁵ El mundo ya se enfrenta a retos a la hora de suministrar suficientes minerales crudos escasos para las baterías.⁵⁶ Al reducir la demanda de baterías, pondremos menos presión en las cadenas de suministro de minerales críticos y limitaremos la degradación medioambiental que acompaña a la minería de minerales.

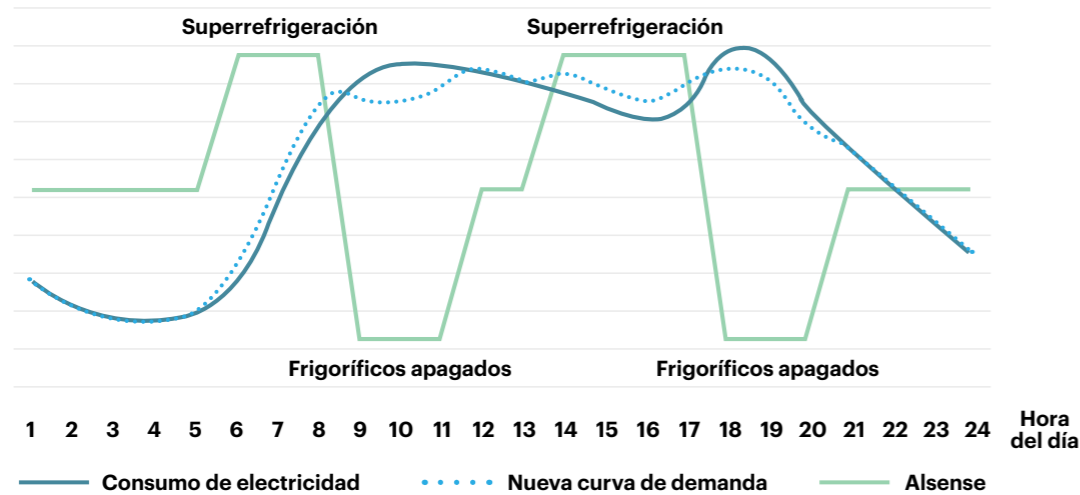
No implementar la flexibilidad relativa a la demanda a escala puede tener importantes consecuencias sociales y medioambientales. **Hoy en día, pagamos a los productores de energía renovable cientos de millones al año para cerrar la producción en periodos con demasiado viento o sol.**⁵⁷ Sin embargo, **la flexibilidad relativa a la demanda puede intensificar esta reducción en un 25 % para 2030.**⁵⁸ Del mismo modo, si no diseñamos un sistema renovable para hacer frente a periodos de suministro energético bajo, corremos el riesgo de que se produzcan cortes de energía, lo que puede tener enormes costes económicos.^{59,60,61} La flexibilidad de la demanda será una herramienta importante para evitar estas costosas interrupciones.

40 millones
de toneladas de CO₂ ahorradas
anualmente de aquí a 2030

Esto debería plantear una pregunta a los responsables políticos: «¿podemos permitirnos perder las oportunidades de flexibilidad relativa a la demanda?»

Caso: Superrefrigeración de congeladores de supermercados

Figura 4: Cómo Alsense reduce los picos de demanda



Los supermercados representan el 3 % de la electricidad total utilizada en los países industrializados.⁶² Y dentro de los supermercados, los sistemas de refrigeración representan, con diferencia, la mayor parte de la energía total consumida. Sin embargo, es posible reducir la demanda de energía de los supermercados durante las horas punta optimizando o desplazando las cargas durante un evento de demanda-respuesta.

Y aunque el sistema utiliza más electricidad que los sistemas de refrigeración convencionales, al utilizar energía cuando es renovable y abundante, los supermercados pueden ayudar a reducir la necesidad de recurrir a fuentes de energía intensivas en carbono al reducir los picos de demanda. Obtenga más información en el caso práctico de Danfoss «Construir mejores supermercados para el mundo».⁶³

Con tecnologías digitales como Alsense, el cambio de carga puede, por ejemplo, automatizarse para enfriar los congeladores de los supermercados a una temperatura mucho más baja de la necesaria (también llamada superenfriamiento), fuera de las horas de mayor demanda, con los congeladores funcionando eficazmente como una batería que almacena energía. De este modo, **los frigoríficos se pueden apagar durante las horas pico de demanda de energía, lo que reduce la tensión en la red y ahorra dinero al supermercado.**

3 %

de la demanda total de electricidad en los países industrializados proviene de los supermercados

Implementar soluciones de flexibilidad

1 La demanda flexible de energía ahorra emisiones

Al implementar soluciones de flexibilidad con relación a la demanda, la demanda de electricidad puede alinearse mejor con las horas pico de suministro. En la UE y el Reino Unido, **reducir el uso de energía durante los picos de demanda intensivos en carbono puede ahorrar 40 millones de toneladas de emisiones de CO₂ al año para 2030**, lo que es más que la huella climática nacional de Dinamarca en 2021. **Del mismo modo, para 2030, la generación anual de electricidad a partir de gas natural puede reducirse drásticamente en 106 TWh**, o aproximadamente una quinta parte del consumo de gas natural de la UE para la generación de electricidad en 2022.

2 La flexibilidad creará importantes beneficios económicos para las sociedades y los hogares

Un nuevo análisis muestra que un despliegue ambicioso, pero realista, de la flexibilidad de la demanda conducirá a beneficios económicos sustanciales tanto para los consumidores como para la sociedad en general. **La UE y el Reino Unido pueden lograr un ahorro anual en los costes sociales de 10 500 millones de € para 2030. Además, el consumidor medio puede ahorrar un 7 % en la factura eléctrica para 2030.**

3 Reducir la necesidad de almacenamiento en batería a escala de red

Con una implementación a gran escala de la flexibilidad de la demanda, la expansión de la generación de electricidad en la UE puede reducirse en 313 GW antes de 2050, o alrededor del 10 % de la capacidad total. Esto incluye **reducciones drásticas de 298 GW a menos de 2 GW en la necesidad de almacenamiento en batería a escala de red.** Para poner esto en perspectiva, la capacidad global de las baterías era de 28 GW en 2022.

La conversión es clave para alcanzar las cero emisiones netas

Las fuentes de energía renovables pueden producir cantidades increíbles de electricidad con bajas emisiones. Sin embargo, en los periodos en los que el suministro de electricidad supera la demanda, se apagan las infraestructuras de energía renovable, como las turbinas eólicas y los paneles solares. Un suministro eléctrico excesivo desestabiliza las frecuencias de la red, lo que supone un riesgo de cortes de energía si los operadores del sistema no reducen parte del suministro de energía. Los productores de energías renovables a veces reciben pagos por interrumpir la producción durante un periodo. En Alemania, los paquetes de compensación por interrumpir la producción alcanzaron los 710 millones de € en 2019.⁶⁴

Sin embargo, como hemos visto en la página 22, la flexibilidad relativa a la demanda puede intensificar esta reducción en un 25 % ya para 2030.⁶⁵ Dos de los principales métodos para lograrlo son la conversión y el almacenamiento. En este apartado exploraremos los desafíos y las oportunidades dentro de la conversión antes de pasar al almacenamiento en el siguiente apartado.

¿Qué es la conversión?

La conversión es algo muy sencillo y, a la vez, sorprendentemente complejo. En pocas palabras, significa cambiar de una forma de energía a otra. Podría tratarse de energía eólica a electricidad o de electricidad a hidrógeno, o cualquier otra combinación. Sin embargo, en la práctica, la conversión exitosa de energía requiere increíbles logros de ingeniería. Dominar

la ciencia y la implementación de la conversión energética será fundamental si queremos descarbonizar nuestro sistema energético.

En nuestro sistema energético del futuro, prácticamente toda nuestra energía provendrá de la conversión de fuentes renovables como el sol y el viento en electricidad utilizable. Además, la conversión de hidrógeno será un mecanismo importante para el almacenamiento de energía. Profundicemos en cómo podemos suministrar suficiente electricidad para respaldar la producción de hidrógeno y cómo la producción puede ayudar a estabilizar la red.

La necesidad futura de hidrógeno será enorme

Necesitaremos grandes cantidades de hidrógeno de bajas emisiones en el futuro para alcanzar los objetivos del Acuerdo de París. Por un lado, el hidrógeno es una herramienta útil para almacenar el exceso de electricidad renovable. Sin embargo, también es vital en las industrias para producir acero de bajas emisiones, e-amoníaco, e-metanol y otros e-combustibles en aquellos casos en que sustituye a los combustibles fósiles. Además, tiene potencial como combustible sostenible de bajas emisiones para áreas difíciles de descarbonizar, como el transporte internacional de larga distancia, los camiones pesados e incluso las aeronaves. Y aunque las estimaciones varían según los estudios, la opinión común es que la proporción de hidrógeno en la mezcla energética no hará más que crecer.^{66,67,68,69}

Pero, ¿cómo se pueden cumplir estos ambiciosos objetivos de hidrógeno? En el futuro, se ampliará enormemente la electrólisis del agua, eso es, el proceso de conversión de la electricidad en hidrógeno mediante la división del agua en hidrógeno y oxígeno. Si la electricidad utilizada para alimentar este proceso se genera a partir de fuentes renovables, podemos electrificar y descarbonizar indirectamente cualquier cosa que pueda funcionar con hidrógeno o e-combustibles generados por hidrógeno. Sin embargo, la electrólisis requiere un enorme suministro de electricidad: la AIE estima que necesitaremos 11 EJ adicionales de hidrógeno para 2030 y 54 EJ adicionales de hidrógeno para 2050.⁷⁰ Para poner esto en perspectiva, la **producción de hidrógeno requerirá más de la mitad de la demanda total de electricidad actual.**^{71,72,73,74} Esto creará inevitablemente una necesidad de rápidas expansiones del suministro de electricidad de bajas emisiones, y podría ser uno de los mayores retos para suministrar esta energía a la red en el futuro.

Se requerirán inversiones sustanciales para producir el hidrógeno de bajas emisiones necesario en 2050.⁷⁵ Pero, ¿cuánto hidrógeno necesitaremos realmente en el futuro? La UE tiene previsto producir e importar un total de 666 TWh de hidrógeno para 2030, todos ellos producidos por fuentes de bajas emisiones.⁷⁶

Esto es equivalente a la producción de energía de unas 140 centrales nucleares.⁷⁷ Un análisis sugiere que **la UE puede reducir la necesidad de hidrógeno a aproximadamente 116 TWh, menos de una quinta parte, centrándose en la eficiencia energética y la electrificación, a la vez que amplía enormemente la energía solar y eólica, los sistemas de District Heating y las bombas de calor de alta eficiencia.**⁷⁸ Independientemente, 116 TWh de hidrógeno para 2030 sigue siendo un objetivo ambicioso y requerirá una enorme cantidad de electricidad, lo que planteará grandes desafíos para la estabilidad y seguridad de la red eléctrica.

La producción de hidrógeno puede estabilizar la red

Todo el sistema energético, incluidas las salidas de corriente de su hogar, está ajustado a una tensión y frecuencia específicas y estables. Se invierte mucho en ingeniería para mantener esta frecuencia en la red. Sin embargo, esta frecuencia ideal puede desestabilizarse cuando hay una desigualdad entre el suministro y la demanda de electricidad, lo que puede provocar problemas en el suministro de energía. Las centrales térmicas tienen grandes masas giratorias en las enormes turbinas,

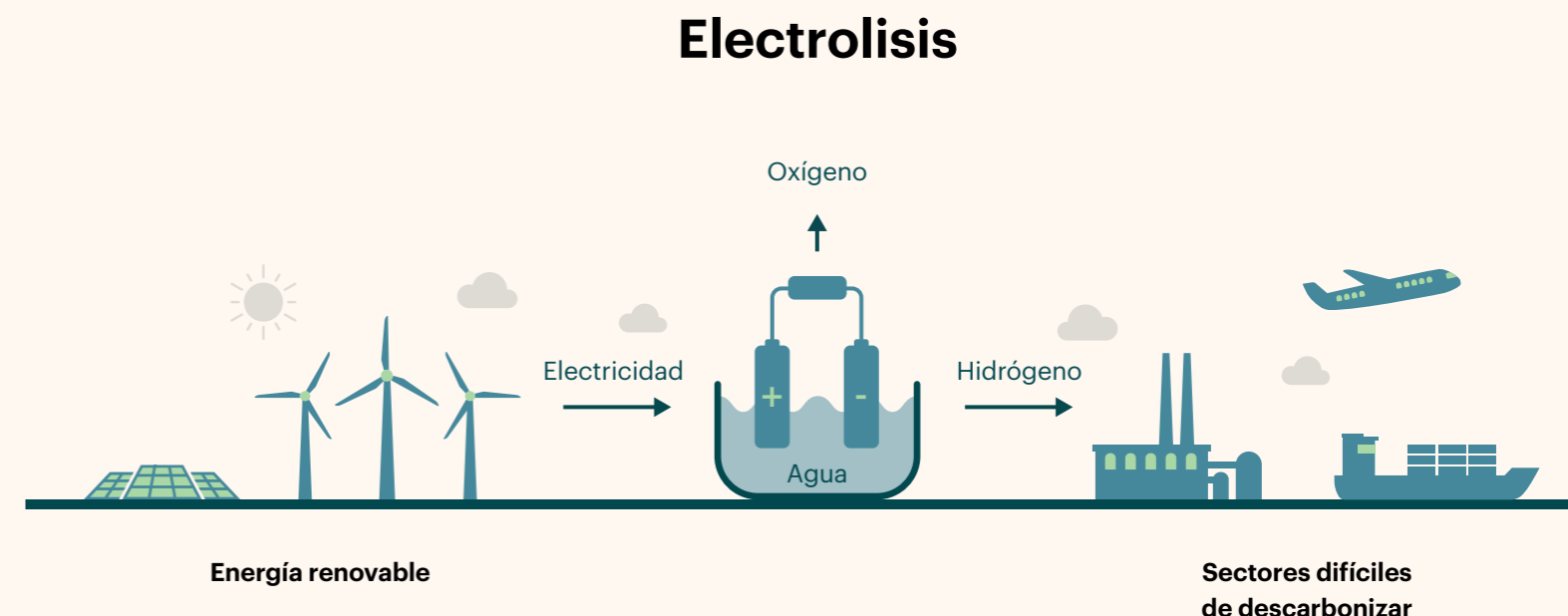


Figura 5: Convertir electricidad renovable en hidrógeno mediante electrólisis

que sirven eficazmente como estabilizadores para la red. En otras palabras, cuando la demanda aumenta, la central eléctrica puede suministrar más energía a la red a corto plazo, lo que le da a la empresa de la red suficiente tiempo para añadir más vapor a la turbina, lo que equivaldría a pisar más fuerte el pedal del acelerador para mantener la misma velocidad a medida que su vehículo se acerca a una colina.

En el futuro sistema energético, pasaremos de centrales eléctricas a fuentes renovables descentralizadas. Estas nuevas fuentes no tienen masas estabilizadoras giratorias en forma de turbinas enormes, por lo que debemos pensar en otras formas de estabilizar nuestra red. Durante periodos más cortos, las baterías pueden ser muy buenas soluciones para cerrar la brecha desestabilizadora entre la oferta y la demanda. Durante periodos prolongados de desequilibrio, como cuando el viento sopla durante días o semanas, hay demasiada electricidad en el sistema. En estos periodos, **augmentar la producción de hidrógeno puede ayudar a adaptar la demanda de electricidad a la producción y, por lo tanto, la propia producción de hidrógeno puede tener una función estabilizadora.**

Además de los beneficios que el hidrógeno puede aportar a la estabilidad de la red y a la seguridad energética, también puede ayudar a mantener bajos los costes. Siguiendo la ley básica de la oferta y la demanda, la electricidad es barata cuando la producción es alta, y es cara cuando la producción es baja, o más bien, cuando la demanda supera a la producción. Pero la producción de hidrógeno puede aumentarse y reducirse en función del precio de la electricidad. Por lo tanto, una vez instalada toda la infraestructura necesaria, tendrá sentido, desde el punto de vista económico, producir hidrógeno en periodos de alta producción de electricidad y baja demanda, lo que garantizará un uso rentable del exceso de energía renovable cuando esté disponible.

Uso correcto del hidrógeno

El hidrógeno es un portador de energía eficaz y sus usos finales son numerosos. Sin embargo, al igual que con todas las formas de energía,

debemos utilizar el hidrógeno de la forma más eficiente posible si queremos pasar por una transformación completa hacia fuentes de energía renovables.

Un ejemplo de uso ineficiente del hidrógeno sería la calefacción de espacios. Si tuviéramos que suministrar al Reino Unido calefacción doméstica a partir de hidrógeno de bajas emisiones producido en parques eólicos marinos, necesitaríamos una capacidad de 385 GW para producir suficiente hidrógeno para calentar el Reino Unido. Sin embargo, se espera que la capacidad eólica marina global crezca solamente 380 GW en los próximos diez años.⁷⁹ Sin embargo, si calentáramos el Reino Unido con bombas de calor y sistemas District Energy, necesitaríamos una capacidad mucho menor. Con las bombas de calor, solo necesitaríamos una capacidad de 67 GW de parques eólicos en alta mar, e incluso menos energía si suministramos District Heating a las zonas más densamente pobladas. De esta forma, también sería más fácil utilizar el exceso de calor de los edificios y procesos circundantes para calentar las viviendas locales. Los parques eólicos en alta mar para la solución de hidrógeno ocuparían 52 000 km². Sin embargo, los parques eólicos marinos solo necesitarían 9000 km² para suministrar bombas de calor. Básicamente, se necesitaría una sexta parte de la energía para que los británicos pasen el invierno con bombas de calor en lugar de hidrógeno,⁸⁰ o incluso menos si las bombas de calor se combinasen con sistemas de distribución District Energy.

Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, hay muchos usos útiles del hidrógeno. **Para zonas difíciles de descarbonizar, no podemos confiar en las baterías**, ya que las baterías serían simplemente demasiado grandes para buques portacontenedores o la aviación internacional. Sin embargo, **podemos producir electrocombustibles a partir de hidrógeno, lo que reducirá las emisiones del sector del transporte.** En el futuro, esperamos ver barcos navegando con e-amoniaco y e-metanol, y aviones volando con e-queroseno, todos producidos con hidrógeno en lugar de fuentes fósiles. Otras industrias, como la **producción de acero, requieren temperaturas extremadamente altas, y aquí el hidrógeno también puede desempeñar un papel crítico en la descarbonización.**

Calefactar el Reino Unido con bombas de calor o hidrógeno verde

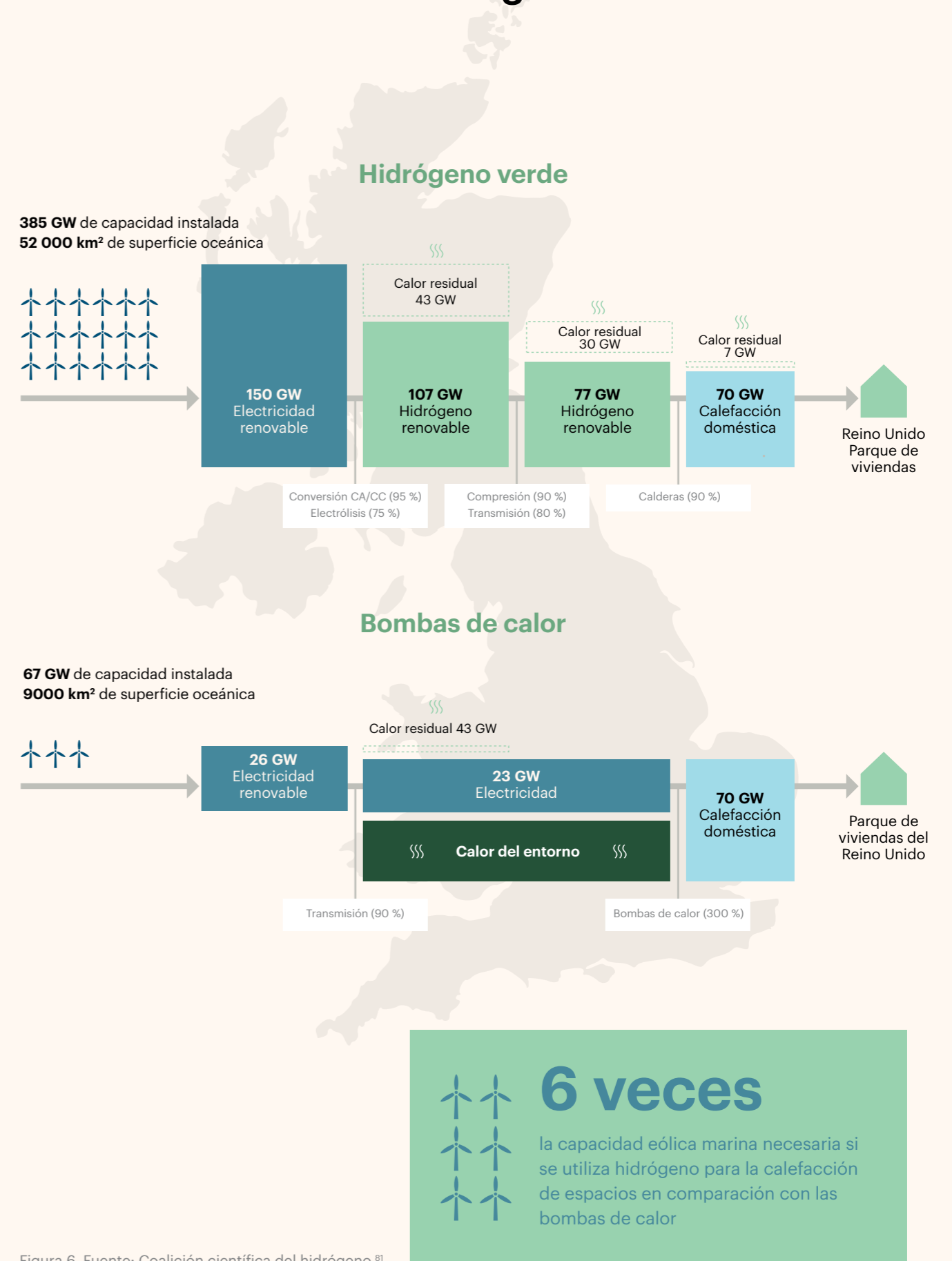
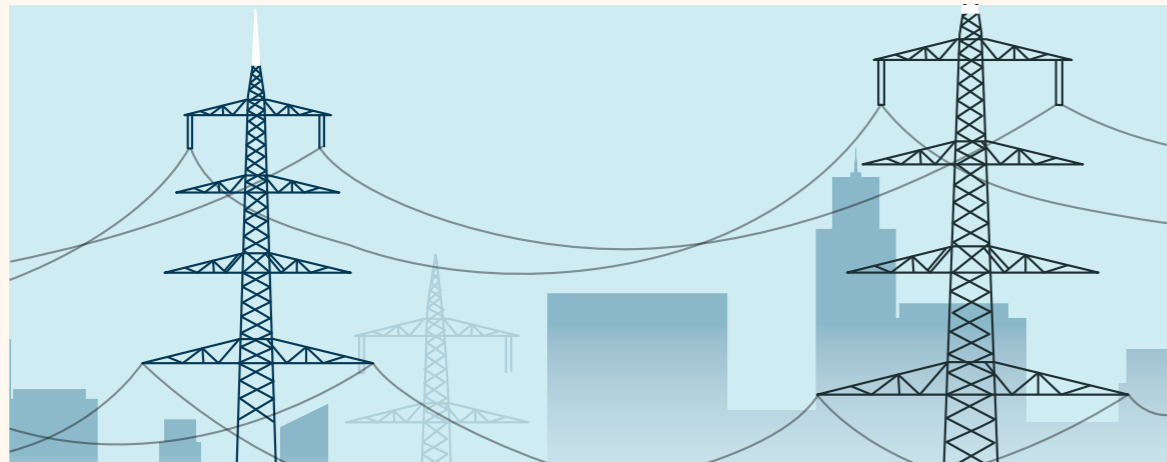


Figura 6. Fuente: Coalición científica del hidrógeno.⁸¹

Caso: Unos buenos convertidores pueden ahorrar electricidad y dinero



La producción de hidrógeno tendrá un gran impacto en la red eléctrica en el futuro, por lo que debemos asegurarnos de producir hidrógeno de la forma más eficiente posible y no crear perturbaciones innecesarias en la red. El hidrógeno se produce mediante un electrolizador que utiliza electricidad para dividir el agua en oxígeno e hidrógeno. Todos los electrolizadores utilizan corriente continua (CC), mientras que la red eléctrica se alimenta con corriente alterna (CA). La CC se encuentra en las baterías AAA normales, y la corriente siempre fluye en una dirección, mientras que la CA en la red cambia de dirección periódicamente. Esto significa que es necesario convertir la electricidad de CA a CC para producir hidrógeno. Un convertidor CA/CC de baja calidad perturbará la CA en la red y será necesario un equipo de compensación para restaurar la calidad de la energía.

Estas perturbaciones de la red debidas a convertidores de baja calidad son una preocupación creciente cuando se habla de producción de hidrógeno. Además, un convertidor de este tipo suministrará una CC de baja calidad a la planta de electrólisis. Sin embargo, ya hay mejores convertidores en el mercado. Estos crean una perturbación prácticamente nula en la red, lo que hace

que los equipos de compensación sean obsoletos, a la vez que proporcionan un suministro de CC más limpio a la planta de electrólisis. El suministro de CC más limpio puede aumentar la eficiencia general de la producción en aproximadamente un 1%.⁸² Y aunque esto puede no parecer mucho, **el 1% de la demanda futura de electricidad de hidrógeno es realmente suficiente para alimentar Londres durante casi cuatro años**, lo cual reduce los costes de electricidad en toda la red.⁸³ Del mismo modo, parte del coste de los convertidores de mayor calidad puede compensarse con la reducción de la necesidad de equipos de compensación y el mantenimiento como consecuencia. A veces, un mejor equipo puede simplificar un sistema y también mejorar la resiliencia de la red.

Los buenos convertidores pueden ahorrar suficiente electricidad para alimentar Londres durante

4 años

Utilizar el hidrógeno sabiamente

1 La conversión de la electricidad en hidrógeno será esencial para una descarbonización profunda

El exceso de energía renovable se puede convertir y almacenar como hidrógeno. Y aunque esta conversión conlleva una pérdida de energía, el hidrógeno será clave para descarbonizar sectores difíciles de reducir, como la producción de acero, el transporte marítimo de larga distancia y la aviación de larga distancia.

2 La producción eficiente de hidrógeno es esencial

La producción de hidrógeno tendrá un gran impacto en la red eléctrica en el futuro, por lo que debemos asegurarnos de producir hidrógeno de la forma más eficiente posible y no crear perturbaciones innecesarias en la red. Al utilizar convertidores eficientes, podemos ahorrar electricidad y dinero.

3 El hidrógeno debe utilizarse para los fines correctos

El uso de hidrógeno para la calefacción es extremadamente ineficiente. Para suministrar al Reino Unido calefacción doméstica a partir de hidrógeno de bajas emisiones producido en parques eólicos marinos, necesitaríamos una capacidad de 385 GW para producir suficiente hidrógeno para calentar el Reino Unido. Con las bombas de calor, solo se necesitaría una capacidad de 67 GW de parques eólicos en alta mar, e incluso menos si las zonas densamente pobladas se suministraran con District Heating.

El almacenamiento para la energía del futuro

El almacenamiento de energía será esencial en la red inteligente del futuro. Con una red más descentralizada, existirá una mayor necesidad de almacenar energía para poder suministrar electricidad cuando la naturaleza no proporcione condiciones favorables. De hecho, se espera que la capacidad de almacenamiento instalada global se expanda un 56 % entre 2020 y 2026, impulsada principalmente por una mayor necesidad de flexibilidad y almacenamiento en todo el mundo para integrar una cuota creciente de energías renovables.⁸⁴

Almacenar energía no es una tarea sencilla ni barata, por lo que es necesario tener en cuenta las medidas adecuadas a la hora de decidir dónde aplicar qué tecnología. La elección de la solución adecuada dependerá de muchos factores, como la geografía, la fuente de energía, el uso del suelo, la duración del almacenamiento y el tiempo que se necesite extraer la electricidad del almacenamiento de energía. Dentro del almacenamiento de energía, hay muchas tecnologías (algunas bien establecidas, otras de vanguardia) que se pueden implementar. En la página siguiente, presentamos algunas de las tecnologías clave y demostramos su potencial.

Almacenamiento a corto y largo plazo

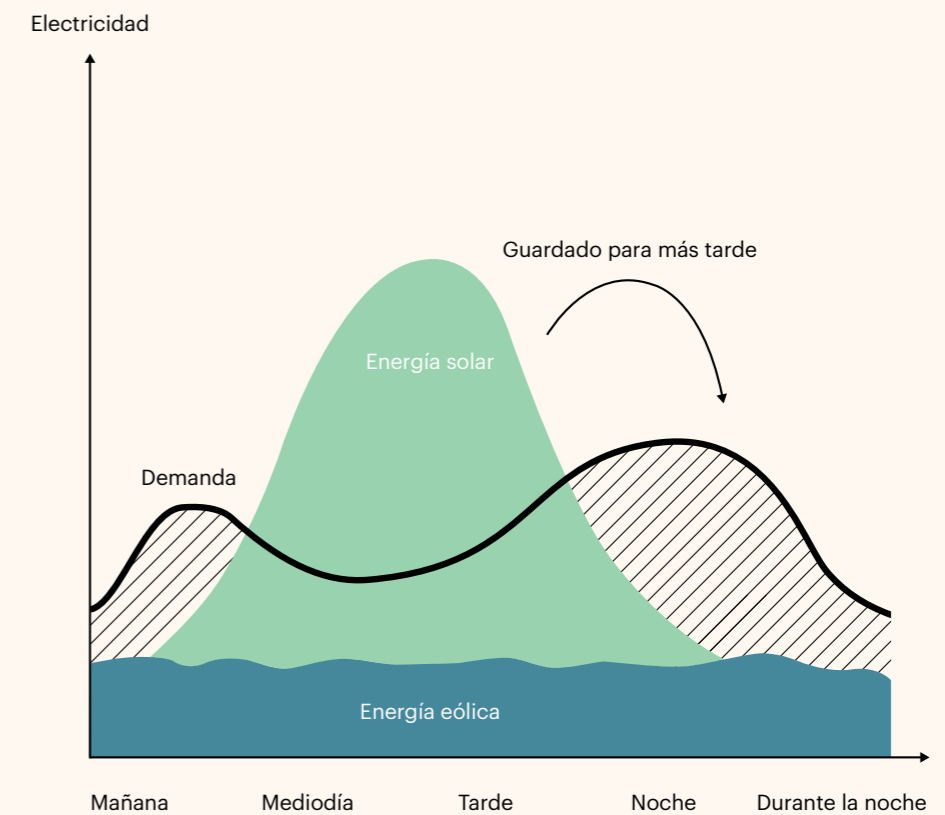
Diariamente, el sol produce un exceso de electricidad ante el pico de demanda (véase la Figura 7), pero solo podemos confiar completamente en las energías renovables si almacenamos este exceso de electricidad para la noche y a lo largo de la noche. Algunas de las soluciones ideales para el almacenamiento a corto plazo son las baterías de iones de litio y el almacenamiento térmico, por ejemplo, en sistemas de District Energy. **Los sistemas de District Energy son soluciones excelentes para almacenar energía térmica cuando hay mucha electricidad ecológica en la red.** Pueden suministrar calefacción o refrigeración bajo demanda y pueden

servir como almacenamiento de energía durante horas o meses, lo que los convierte en un gran facilitador de flexibilidad de la demanda (más información sobre la flexibilidad relativa a la demanda en la página 20).

Del mismo modo que hay picos diarios en el consumo de electricidad, también hay variaciones estacionales. En las latitudes más altas de la Tierra, es necesario calentar las casas durante el invierno, mientras que los países de latitud media a baja tendrán una mayor demanda de aire acondicionado durante el verano. Del mismo modo, para las latitudes más altas, también habrá una brecha entre producir más electricidad renovable en verano y tener la mayor necesidad de electricidad durante el invierno. Para llenar esta brecha, debemos buscar opciones de almacenamiento a largo plazo. Debido al coste y al agotamiento de la capacidad con el tiempo (piense en las AAA antiguas del fondo del cajón de la cocina), las baterías son una solución ineficaz para esto. Otras opciones mucho mejores para el almacenamiento a largo plazo son el almacenamiento térmico, el hidrógeno y la energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado, que pueden retener grandes cantidades de energía con una pérdida de energía muy pequeña a lo largo del tiempo con un bajo coste por MWh.

Otro factor importante a la hora de decidir qué solución de almacenamiento utilizar es el coste. Los precios de almacenamiento suelen caer en todas las tecnologías, y cuanto más grande sea el almacenamiento, más barato será por unidad almacenada. Aunque se espera que todas las tecnologías sean más baratas en el futuro, el almacenamiento térmico, el hidrógeno y la energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado son actualmente, y se espera que sigan siendo, relativamente los más baratos.⁸⁵ Se espera que el precio de las baterías de iones de litio caiga, pero dependerá en gran medida de los minerales críticos y, por lo tanto, su precio también se ve afectado por el suministro de minerales.⁸⁶

Almacenamiento a corto plazo



Almacenamiento a largo plazo

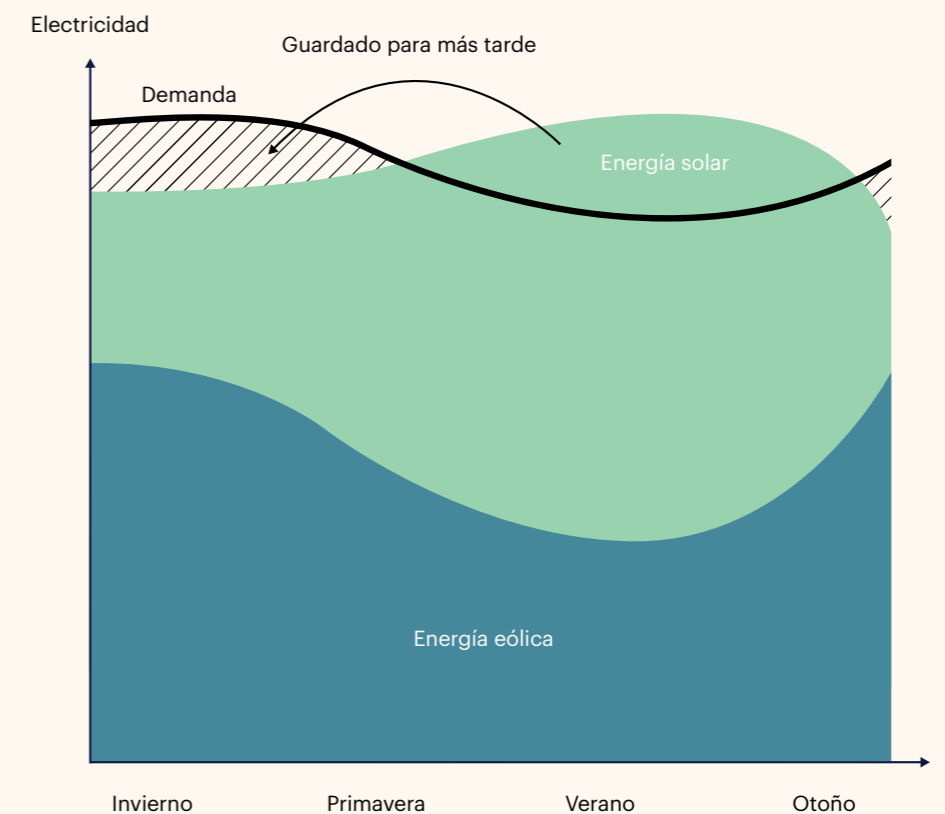


Figura 7: Almacenamiento a corto y largo plazo



Almacenamiento térmico mediante District Energy

El almacenamiento de energía térmica significa el calentamiento o la refrigeración de un medio para utilizar la energía cuando sea necesario posteriormente. En su forma más sencilla, esto podría significar el uso de un depósito de agua para almacenar calor, donde el agua se calienta en momentos en los que hay mucha energía, y la energía se almacena en el agua para su uso cuando la energía es menos abundante. El almacenamiento de energía térmica también puede utilizarse para equilibrar el consumo energético entre el día y la noche.

Los sistemas modernos de District Energy cuentan con una infraestructura térmica flexible en la que las fuentes de energía disponibles pueden conectarse mediante conectores. La energía, en forma de agua caliente o enfriada, se puede distribuir a los edificios a través de una red de tuberías para su uso inmediato o almacenarse en depósitos térmicos para su uso posterior. Con los depósitos de almacenamiento de calor, la energía térmica se puede almacenar durante unas horas o días. Con fosos más grandes u otras instalaciones de almacenamiento, se puede almacenar hasta varios meses. De esta manera, los sistemas de District Energy pueden proporcionar flexibilidad al sistema energético a través de dos funciones clave: proporcionando almacenamiento y permitiendo un cambio entre diferentes fuentes de energía, como bombas de calor a gran escala, calor residual, almacenamiento térmico solar y geotérmico.⁸⁷

H₂ Hidrógeno

La energía puede almacenarse como hidrógeno mediante la conversión de electricidad de bajas emisiones en hidrógeno mediante electrólisis. Existen varias formas viables de almacenar hidrógeno a gran escala, desde cuevas de sal hasta gas comprimido en depósitos,⁸⁸ y el hidrógeno se puede almacenar durante mucho tiempo sin pérdida de energía. Esto hace que sea ideal para equilibrar la energía estacional.⁸⁹ Además, las tuberías de gas natural actuales pueden convertirse para transportar hidrógeno.⁹⁰ De este modo, es posible utilizar el exceso de electricidad de bajas emisiones en un lugar para suministrar energía a otra región lejana, creando esencialmente un mercado de hidrógeno similar al mercado de gas natural actual.

El almacenamiento de hidrógeno tiene muchos usos potenciales, pero no es tan eficiente como otras formas de almacenamiento, como las baterías. El proceso de conversión de electricidad a hidrógeno a electricidad puede tener una eficiencia energética de solo el 18 %, ⁹¹ ya que cada proceso de conversión implica un cierto grado de pérdida de energía. También hay una gran pérdida de energía cuando se utiliza hidrógeno en industrias para alcanzar altas temperaturas o para producir combustibles electrónicos para el transporte marítimo y la aviación. Pero para estas áreas difíciles de descarbonizar, es posible que tengamos que aceptar una pérdida de energía a cambio de poder reducir las emisiones, y esperar que los desarrollos tecnológicos futuros consigan que los combustibles electrónicos sean una opción económicamente viable.⁹² Por ahora, es muy caro almacenar energía en forma de hidrógeno, aunque se espera que el precio disminuya en el futuro gracias a los desarrollos tecnológicos.^{93,94} Puede leer más sobre el hidrógeno en las páginas 25-30.



Energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado

La energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado utiliza el exceso de electricidad para bombear agua a un depósito elevado y, cuando se necesita electricidad, el agua se libera a una altitud más baja a través de turbinas que generan electricidad.⁹⁵ Hoy en día, la energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado es la tecnología de almacenamiento más extendida, y en 2020 representó el 90 % del almacenamiento total de electricidad.⁹⁶

Almacenar energía como energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado, incluso para instalaciones muy grandes, es barato⁹⁷ y permite suministrar energía a cualquier lugar desde horas hasta varias semanas.⁹⁸ Sin embargo, aunque la tecnología es madura y barata, se cree que hay lugares limitados adecuados para construir nuevas instalaciones.⁹⁹ La energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado es un almacenamiento de energía de bajas emisiones, pero debemos tener en cuenta que puede haber impactos negativos en el medio ambiente y la biodiversidad si se dañan grandes yacimientos hidrográficos.¹⁰⁰



Baterías de iones de litio

Las baterías son una solución viable de almacenamiento a corto plazo. Aunque siguen siendo caras, el precio de las baterías de iones de litio ha disminuido en la última década. Estas baterías a escala de red requieren recursos y, aunque cada vez sean más baratas, seguirán dependiendo del precio de los minerales críticos. La actual capacidad global de almacenamiento en baterías es mucho menor que la de la energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado, aunque se espera que aumente drásticamente de 28 GW en 2022 a 967 GW en 2030, igualando la capacidad mundial de energía hidroeléctrica de almacenamiento bombeado.¹⁰¹

Sin embargo, cada uno de estos mecanismos de almacenamiento tiene ventajas específicas. Las baterías son especialmente adecuadas para combinarse con paneles solares, especialmente en áreas con un patrón solar predecible y estable, como zonas semiáridas y áridas. Esto se debe a que puede ampliar el almacenamiento en batería para adaptarlo a las necesidades de electricidad fuera de las horas soleadas. Sin embargo, las baterías tienen dos inconvenientes principales: 1) tienen un número limitado de ciclos, y 2) hay consideraciones ambientales, específicamente la dependencia de las baterías de la minería intensiva para minerales críticos. Sin embargo, los desarrollos tecnológicos están avanzando rápidamente y es probable que pronto podamos tener baterías que puedan mantener su rendimiento durante 25-30 años.¹⁰²

Reutilizar la energía a través de la **integración** sectorial

La energía renovable no es un recurso inagotable. Sin embargo, en un sistema energético totalmente electrificado, la demanda de electricidad renovable será enorme. Por lo tanto, necesitamos utilizar al máximo todas las fuentes de energía disponibles en todos los sectores, y entre ellas el exceso de calor. En todos los lugares de nuestro sistema energético, la energía se desperdicia en la atmósfera como calor. Este **exceso de calor es un gigante dormido de la eficiencia energética**; cuando se captura estratégicamente y se despliega como energía, tiene un potencial increíble para sustituir cantidades significativas de fuentes de energía valiosas como los combustibles fósiles y la electricidad, ahorrando así dinero y reduciendo las emisiones de GEI.

La integración sectorial consiste en combinar diferentes sectores para que funcionen juntos de forma más eficiente y sostenible. En lugar de tratar cada sector por separado, la integración sectorial tiene como objetivo encontrar formas de hacer que cooperen, reduciendo los residuos y mejorando la eficacia general del sistema. También ayuda a reducir la presión sobre la red eléctrica al permitir una mayor explotación de fuentes de energía alternativas, como el exceso de calor.

Potenciales del exceso de calor

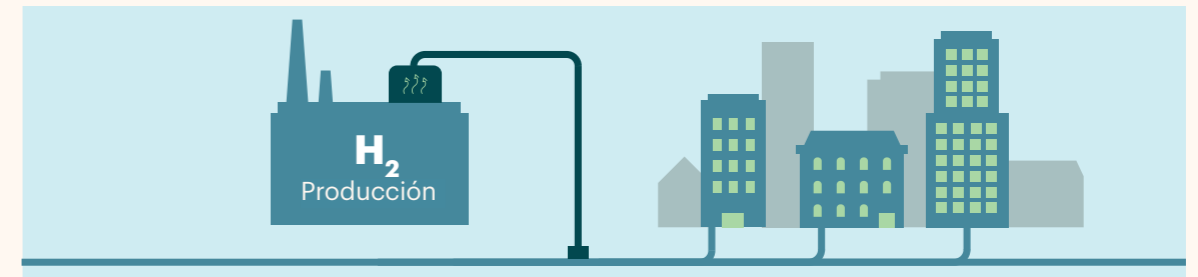
Cada vez que una máquina funciona, se genera calor. Piense en el calor que hay detrás de la nevera. Lo mismo ocurre a mayor escala con **los supermercados, los centros de datos, las plantas de tratamiento de aguas residuales y las instalaciones de electrólisis de hidrógeno** que se encuentran en ciudades de todo el mundo.

Para 2030, hasta el 53 % de la energía global se desperdiciará como exceso de calor.¹⁰³ Además, el clima puede beneficiarse enormemente si recuperamos el exceso de calor. De hecho, podemos reducir las emisiones globales en un 10-19 % si recuperamos todo el potencial teórico del exceso de calor.¹⁰⁴

La calefacción es uno de los mayores consumidores de energía del sistema. En Europa, la calefacción representa más del 50 % del consumo energético final anual y la mayor parte del calor europeo se sigue generando utilizando fuentes de combustibles fósiles, casi la mitad de las cuales son gas natural.¹⁰⁵ Al mismo tiempo, todas las zonas urbanas de Europa tienen acceso a numerosos recursos de exceso de calor. Hay aproximadamente 2860 TWh al año de calor residual accesible en la UE, gran parte de los cuales podrían reutilizarse.¹⁰⁶ Para poner esta cifra en perspectiva, casi corresponde a la demanda energética total de la UE de calor y agua caliente en edificios residenciales y del sector de servicios, que es de aproximadamente 3180 TWh al año en la UE27+Reino Unido.¹⁰⁷

En algunos países, el potencial de exceso de calor incluso coincide con la demanda total de calor.¹⁰⁸ En los Países Bajos, por ejemplo, el exceso de calor asciende a 156 TWh al año,¹⁰⁹ mientras que la demanda de agua y calefacción espacial es de tan solo 152 TWh al año.¹¹⁰ La situación es similar en el resto del mundo. Por ejemplo, si observamos el sector industrial del norte de China, hay alrededor de 813 TWh de exceso de calor solo durante la temporada de calefacción.¹¹¹ ¡Imagínese cuál es la cantidad total de exceso de calor en todos los sectores de toda China!

Caso: Exceso de calor de la producción de hidrógeno



El exceso de calor del hidrógeno producido a través de la electrólisis puede capturarse y utilizarse para calentar hogares y suministrar calor a las industrias. La producción de hidrógeno de bajas emisiones será masiva en 2050: la AIE estima que la demanda global de electricidad para la electrólisis será de 14 800 TWh.¹¹² Aproximadamente **dos tercios de la electricidad inyectada se convierten en hidrógeno y el resto se desperdicia como calor. A partir de esta pérdida energética, en teoría, en 2030 se podrá recuperar y convertir en energía de distrito alrededor del 17 %**, lo que permitirá a las ciudades aliviar la carga de las energías renovables para la generación de calor.¹¹³

La Figura 8 presenta las fuentes de la demanda global de energía en el Perspectiva energética de Bloomberg. Está claro que la demanda de energía para la producción de hidrógeno será enorme. Por este motivo, debemos asegurarnos de utilizar el máximo calor residual posible del proceso de electrólisis. Sin embargo, este potencial de calor solo se puede utilizar si planificamos sabiamente nuestra producción de hidrógeno, construyendo plantas de electrólisis cerca de los sistemas de District Energy planificados o existentes. De hecho, esto ya se puede hacer hoy. Varios proyectos ya están en marcha y pronto podrán distribuir el exceso de calor de las plantas de electrólisis a través de los sistemas District Energy para calentar viviendas.^{114 115} Varios factores influyen en la cantidad de exceso

de calor que realmente se puede obtener. Por ejemplo, utilizar todo el potencial requeriría una ampliación de la energía de distrito y la producción de hidrógeno debe producirse cerca de un sistema de energía de distrito. Además, muchas regiones tienen poca o ninguna demanda de calor. Sin embargo, los potenciales teóricos para recuperar el exceso de calor de la electrólisis son tan enormes que debemos tenerlos en cuenta a la hora de planificar la infraestructura energética futura.

A escala mundial, teóricamente podemos recuperar 1228 TWh de calor de la electrólisis de hidrógeno en 2050 y redistribuirlo en forma de calor de distrito, si las instalaciones de producción de hidrógeno se encuentran cerca de un sistema de energía de distrito adecuado. **Para poner esto en perspectiva, 1228 TWh de calor equivalen a casi dos tercios del calor global actualmente generado a partir del carbón, la mayor fuente de calor.**¹¹⁶ Solo en la UE, ya en 2030 podrían recuperarse unos 83 TWh, cantidad suficiente para cubrir la calefacción doméstica actual de Alemania más de 1,5 veces.¹¹⁷ En China, en 2060 podrán recuperarse 296-427 TWh, lo que equivale a entre el 18 % y el 26 % de la generación de calor actual de China.¹¹⁸ Por supuesto, estos son potenciales teóricos, pero demuestran que, si se tienen en cuenta los sistemas District Energy y el exceso de calor en la planificación del sistema energético a largo plazo, este puede ser un factor clave para alcanzar el objetivo de 1,5 °C.

Demanda de electricidad a partir de la producción de hidrógeno

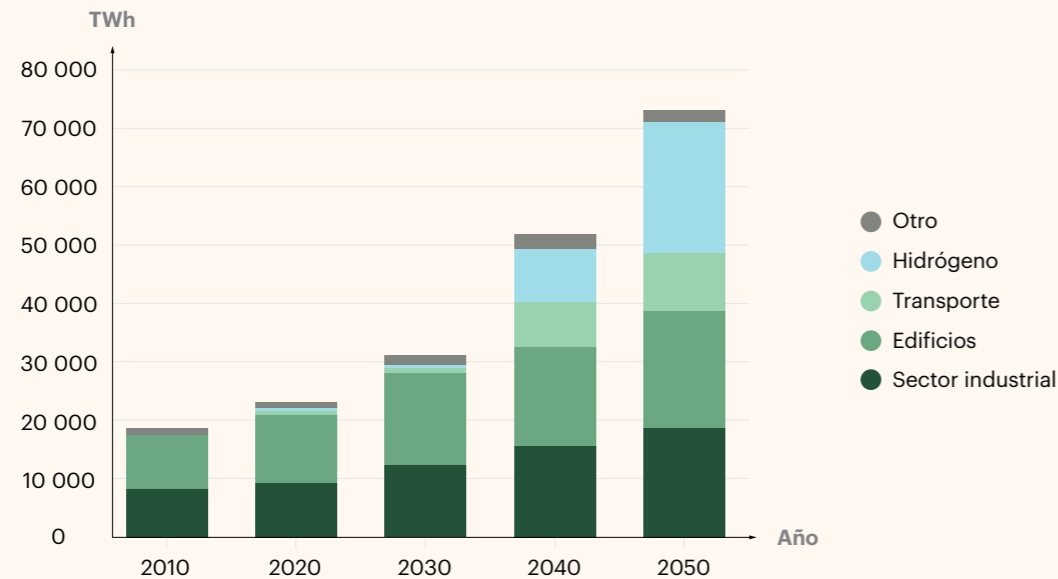


Figura 8: Fuentes de la demanda global de energía en el Escenario de cero emisiones netas de Bloomberg NEF¹¹⁹

Vincular consumidores y productores de energía

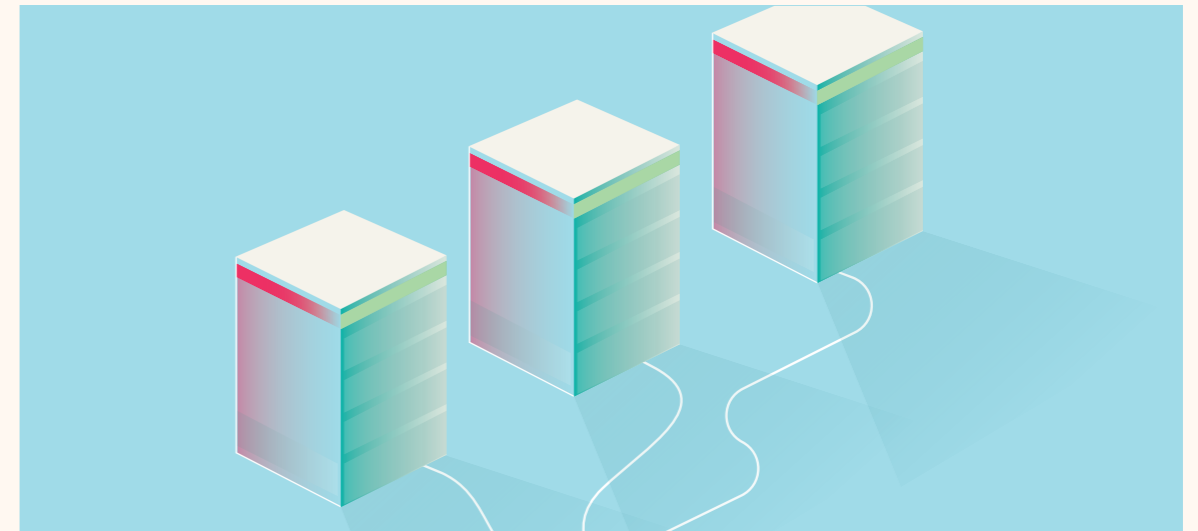
Los productores de calor pueden reutilizar el calor que producen dentro de sus propios procesos internos para aumentar la eficiencia. Por ejemplo, el exceso de calor a menudo se puede encontrar en los procesos de fabricación o donde se producen procesos de calentamiento, refrigeración, congelación y quema. Y la forma más sencilla de utilizar el exceso de calor es reintegrarlo en los mismos procesos. Por ejemplo, en los supermercados, el exceso de calor producido por los congeladores y frigoríficos puede utilizarse para suministrar agua caliente o para calentar el propio supermercado. La forma principal de utilizar el calor residual internamente es instalar una unidad de recuperación de calor. Vale la pena considerar una unidad de recuperación de calor en casi todos los casos en los que la energía térmica no utilizada se produce como un «producto residual».

En las ciudades, la integración sectorial puede ocurrir a pequeña escala a través de la planificación urbana o a mayor escala a través de las redes de District Energy. La planificación urbana puede aprovechar el potencial de la integración sectorial y el exceso de calor conectando a los productores de energía con los consumidores de energía a través de una red inteligente. Pueden producirse grandes sinergias cuando un productor de exceso de calor, por ejemplo, un centro de datos se encuentra cerca de entidades que pueden comprar y utilizar grandes

cantidades de exceso de calor (por ejemplo, la horticultura). Analizar las posibilidades de tales sinergias entre los productores de energía y los usuarios en la planificación urbana se denomina planificación de agrupaciones industriales y contribuye a descarbonizar nuestro sistema energético. Además, se ha demostrado que la colaboración entre empresas cercanas proporciona beneficios económicos tanto al comprador como al vendedor.

En muchas partes del mundo, los sistemas de District Energy suministran calefacción y refrigeración a hogares y empresas. Una red de District Heating aprovecha el calor de una combinación de fuentes, como las renovables (solares, geotérmicas y de biomasa) y las fósiles como las centrales eléctricas, y lo distribuye a través de tuberías a los usuarios finales en forma de agua caliente. Hoy en día, la mayoría de la producción mundial de calor de distrito depende de combustibles fósiles. Sin embargo, **una de las principales fortalezas de los sistemas de District Energy es su capacidad para integrar diferentes fuentes de calor que pueden expulsar los combustibles fósiles de la mezcla de calefacción y refrigeración.** A medida que evoluciona la tecnología de District Energy, es posible integrar en el sistema un número cada vez mayor de fuentes de exceso de calor. Hoy en día, el llamado sistema de District Energy de 4.ª generación permite integrar fuentes de calor de muy baja temperatura en el sistema de District Energy y proporcionar calefacción a edificios nuevos que pueda funcionar a bajas temperaturas.

Caso: El potencial del exceso de calor de los centros de datos



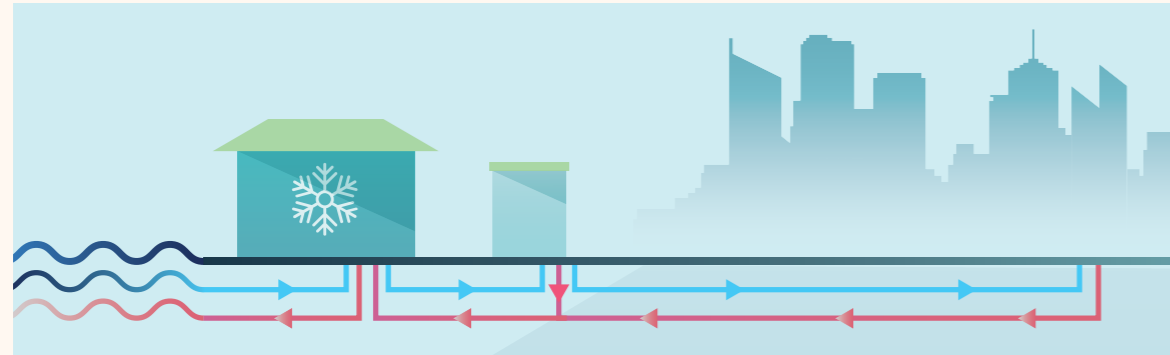
Los datos se han convertido en la sangre vital de la economía digital global actual, formando la columna vertebral del flujo de información e impulsando una amplia gama de actividades, desde la infraestructura y el transporte hasta el comercio minorista y la fabricación. Según la AIE, en 2021 los centros de datos consumieron 220-320 TWh de electricidad, o alrededor del 0,9-1,3 % de la demanda global final de electricidad¹²⁰, lo que equivale al consumo de electricidad de Australia o España.¹²¹

Los centros de datos también son importantes productores de exceso de calor. Los servidores de un centro de datos generan calor equivalente a su consumo de electricidad, y la refrigeración necesaria de estas máquinas también produce un gran exceso de calor. En comparación con otras fuentes de exceso de calor, **el flujo de exceso de calor de los centros de datos es ininterrumpido y, por lo tanto, constituye una fuente muy fiable de energía limpia.** Hay varios ejemplos que muestran que el exceso de calor de los centros de datos se puede reutilizar para calentar edificios cercanos a través de una microrred o bien se puede exportar a la red de District Energy y usarse con múltiples fines.

En la ciudad de Fráncfort del Meno, hay varios proyectos en marcha con la finalidad de ayudar a la ciudad a extraer el exceso de calor de los centros de datos y utilizarlo para toda su demanda de calor de hogares y oficinas privados. Se ha calculado matemáticamente que el calor residual de los centros de datos de Fráncfort podría, para el año 2030, cubrir toda la demanda de calor de la ciudad procedente de hogares privados y edificios de oficinas.¹²²

En Dublín, Amazon Web Services ha construido la primera solución sostenible a medida de Irlanda para suministrar calor con bajas emisiones de carbono a un suburbio de Dublín en crecimiento. El recientemente terminado centro de datos suministrará calor inicialmente a 47 000 m² de edificios del sector público. También suministrará calor a 3000 m² de espacio comercial y 135 apartamentos de alquiler asequibles.¹²³

Caso: Los sistemas de refrigeración de distrito utilizan la mitad de energía que los aires acondicionados



En un sistema de refrigeración de distrito, el agua enfriada se suministra desde una central de refrigeración a edificios comerciales y residenciales a través de tuberías. El agua fría para la refrigeración de distrito se suministra a través de recursos naturales de agua fría (mar, lagos, ríos o depósitos subterráneos) o se produce a partir del calor residual de la generación de energía o las industrias, o a través de enfriadores eléctricos centrales. El agua fría del sistema de refrigeración de distrito se puede producir por la noche y distribuirse en las horas pico durante el día. Esto reduce la necesidad de capacidad del enfriador durante las horas pico de demanda y reduce los costes operativos, ya que la electricidad es más barata y las temperaturas ambiente son más bajas por la noche.

Alrededor del 10 % de la demanda mundial de electricidad proviene de la refrigeración de espacios, y la AIE estima que, para 2050, alrededor de dos tercios de los hogares del mundo podrían tener un aire acondicionado.¹²⁴ Según estudios internacionales, la demanda de refrigeración de edificios comerciales y residenciales crecerá exponencialmente en los próximos años, especialmente en países de altos ingresos y economías emergentes como India, China e Indonesia.¹²⁵ Sin embargo,

los sistemas de refrigeración de distrito utilizan la mitad de energía que los aires acondicionados y también reducen el consumo de gases fluorados perjudiciales para el medio ambiente.¹²⁶

Los sistemas de refrigeración de distrito existentes en ciudades como París, Dubái, Helsinki, Copenhague y Port Louis han demostrado que la refrigeración de distrito puede ser más del doble de eficiente que los sistemas descentralizados tradicionales.¹²⁷ En Dubái, por ejemplo, el 70 % de la electricidad la consumen los aires acondicionados, y para satisfacer la demanda de refrigeración, la ciudad ha desarrollado una de las mayores redes de refrigeración de distrito del mundo. Para 2030, el 40 % de la demanda de refrigeración de la ciudad se cubrirá con refrigeración de distrito.¹²⁸ Y **en los casos en los que se pueda utilizar agua de lagos o del océano (también llamada «refrigeración libre»), la demanda de energía podría reducirse hasta en un 90 % en comparación con las operaciones de refrigeración convencionales.**¹²⁹ Un ejemplo de este sistema se encuentra en Toronto, Canadá, donde el agua de la base del lago Ontario se utiliza para un suministro de refrigeración de distrito a gran escala.¹³⁰

Integrar sectores

1 Gran parte de la energía del mundo se desperdicia en forma de exceso de calor

Para 2030, hasta el 53 % de la energía global se desperdiciará como exceso de calor. Sin embargo, el clima puede beneficiarse enormemente si aumentamos los esfuerzos para recuperar este exceso de calor. De hecho, **recuperar todo el potencial teórico del exceso de calor puede reducir las emisiones globales en un 10-19 %.**

2 Poner en contacto a los productores con los consumidores de energía

Al capturar el exceso de calor y redistribuirlo a través de la planificación urbana inteligente y los sistemas de District Energy, **los grandes consumidores de energía, como los centros de datos, los supermercados, la producción de hidrógeno y las plantas de tratamiento de aguas residuales, pueden convertirse en importantes proveedores de energía.**

3 El aumento de la producción de hidrógeno crea un gran potencial de exceso de calor

Para 2050, la AIE estima que la demanda mundial de electricidad para la electrólisis será de 14 800 TWh. Si no se actúa, aproximadamente un tercio de esta electricidad se desperdiciará en forma de exceso de calor. Sin embargo, **a escala mundial, teóricamente podremos recuperar 1228 TWh de calor en 2050 para la calefacción urbana,** lo que equivale a casi dos tercios de la generación global de calor actual a partir del carbón.

Política

Recomendaciones

Ahora es el momento de que los responsables de las tomas de decisiones a todos los niveles establezcan el marco normativo y económico adecuado para alcanzar las cero emisiones netas en 2050. La eficiencia energética 2.0 no solo tiene el potencial de reducir las emisiones de carbono, sino también de ofrecer un ahorro económico sustancial, tanto para la sociedad como para los clientes. Pero, para que esto se convierta en una realidad, el marco normativo debe implementarse ahora.

Estas recomendaciones de políticas son los pasos necesarios para garantizar que las soluciones para nuestro sistema energético del futuro no solo se diseñen, sino que también se implementen.



Incluir soluciones de flexibilidad en la política energética a todos los niveles para mediar la relación entre la oferta y la demanda de energía renovable y garantizar la seguridad energética.

La nueva red inteligente debe incluir tecnologías de cambio de carga y reducción de picos. Introducir las directrices de flexibilidad con relación a la demanda (DSF) en las normativas de la construcción y la industria que guían a los consumidores para implementar soluciones de flexibilidad más rápidamente. Proporcionar a los consumidores y productores acceso a los datos de consumo, facilitando la participación activa y las oportunidades para que los operadores de sistemas integren aún más las soluciones de flexibilidad de la demanda. Implementar mecanismos de fijación de precios para incentivar el uso de energía durante las horas no pico.

- **En edificios e industrias**, implementar la regulación de estándares de flexibilidad locales, nacionales e internacionales, que guíen a los consumidores de electricidad a implementar soluciones de flexibilidad más rápidamente. Proporcionar a los consumidores incentivos económicos para aumentar activamente la flexibilidad ofreciendo la instalación de contadores inteligentes a través de subvenciones gubernamentales o normativas de construcción. Permitir a los operadores del sistema acceder a los datos de consumo de electricidad de edificios, industria y hogares.
- **En el mercado energético**, implementar estándares de mercado de flexibilidad para garantizar una fácil integración de nuevos dispositivos y fuentes locales de energía renovable, que conduzcan a un mercado competitivo para fabricantes, operadores de sistemas y empresas de servicios públicos. Por ejemplo, el estándar S2 de la UE permite la comunicación e interoperabilidad entre dispositivos, a la vez que recupera información de la red para coordinar el consumo energético y sincronizarlo con la producción, lo que garantiza una implementación eficaz de las soluciones DSF.



Ahorrar energía y electrificar todos los aspectos del transporte, las industrias y los edificios.

Aumentar la eficiencia en todos los sectores junto con una revisión eléctrica a gran escala de nuestra infraestructura es el primer paso crucial que debemos dar. La reducción del desperdicio de energía en todos los sectores comienza con el mapeo del uso de la energía para identificar áreas de mejora. Establecer un mandato de planificación energética, establecer objetivos y planes ambiciosos y factibles a corto, medio y largo plazo, e introducir un marco normativo adecuado para incentivar las inversiones.

- **En los edificios**, diseñar e implementar códigos energéticos obligatorios para acelerar la transición hacia edificios con cero emisiones de carbono. Establecer estrategias de renovación a largo plazo, incluida una regulación e incentivos adecuados para estimular la renovación, utilizar energías renovables e impulsar las tasas de renovación de los edificios existentes. Incentivar la sustitución de los sistemas técnicos de construcción que funcionan con combustibles fósiles para la calefacción de espacios, el agua caliente sanitaria y la refrigeración por aquellos que utilizan energía renovable, como bombas de calor o redes de District Energy.
- **En las industrias**, establecer estándares mínimos de rendimiento energético para equipos clave, como motores y bombas, que puedan aumentar los niveles de eficiencia industrial. Asegurarse de que los impuestos y la política fiscal animen a las industrias a ser más eficientes energéticamente, por ejemplo, utilizando políticas que fomenten la acción a través de la fijación de precios por emisiones de carbono. Iniciar programas que garanticen que las PYME obtengan una visión general y creen un plan para su descarbonización. Desarrollar programas que integren auditorías energéticas con instrucciones sobre cómo transmitir eficazmente iniciativas ecológicas. Invocar medidas obligatorias de eficiencia de amortización a corto plazo identificadas a través de auditorías energéticas.
- **En el transporte**, aumentar la eficiencia y la electrificación a través de inversiones, regulaciones e incentivos. Crear un mercado para las tecnologías de electrificación completa estableciendo estándares de alta intensidad de carbono para maquinaria y vehículos nuevos. Estructurar la tributación de los vehículos para incentivar la compra de vehículos eficientes y planificar el aparcamiento de vehículos eléctricos y las estaciones de carga. Incluir el proceso de construcción en las evaluaciones del ciclo de vida de la estación de carga. Proporcionar incentivos para reequipar los motores diésel de larga vida útil existentes para mejorar la eficiencia energética. Utilizar la normativa local y las opciones de permisos para crear zonas y obras de construcción de emisiones bajas o nulas. Electrificar el tráfico de mercancías y entregas de última milla en los centros urbanos. Construir una infraestructura de carga y garantizar que los incentivos financieros prioricen la carga inteligente para aprovechar al máximo la digitalización y permitir que los vehículos eléctricos contribuyan a resolver los retos de flexibilidad y almacenamiento.



Invertir en la actualización de la red eléctrica para adaptarse a un aumento de la energía renovable en el sistema.

Las inversiones en la red son necesarias para satisfacer la creciente demanda de electricidad y el mayor suministro de energía renovable. Para volver a ponerse en marcha y alcanzar el escenario de cero emisiones netas para 2050, las inversiones en el futuro sistema energético deben duplicarse para 2030.¹³¹ Dichas inversiones reducirán los costes sociales y reducirán tanto los costes energéticos como las facturas de energía de los consumidores. Se podrían llevar a cabo varias iniciativas para contrarrestar el envejecimiento de la infraestructura de la red y abordar la urgente expansión. La mayoría de las redes de distribución de energía están situadas alrededor de centrales eléctricas centralizadas y deben actualizarse para distribuir energía de la flota local de parques eólicos y paneles solares. Implementar un enfoque de «un solo proveedor», en el que los inversores en energías renovables solo tengan que enviar la solicitud del proyecto a una entidad, que coordinará todos los procesos de autorización con las autoridades pertinentes.

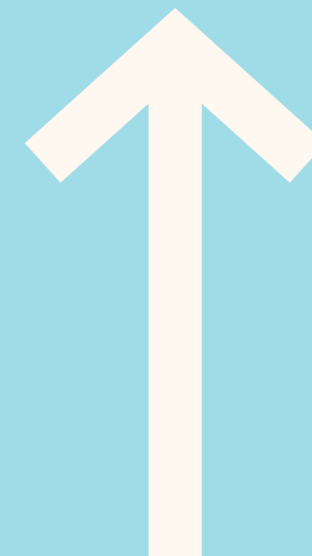
- **En la planificación de la red**, se debe priorizar la adopción de fuentes de energía renovables procedentes de aplicaciones como turbinas eólicas, energía fotovoltaica y otros proyectos de infraestructura a largo plazo que se espera que se introduzcan en las próximas décadas. La financiación pública asignada a la innovación y la investigación debería centrarse en la integración eficiente del sistema de tecnología de energías renovables. Esto podría implicar el desarrollo de nuevos productos y procesos, la prueba y demostración de nuevas aplicaciones y modelos, y una amplia colaboración entre la academia, la industria y la sociedad civil.
- **En la transición a la futura red de energía**, proporcionar condiciones marco legales que permitan que las tecnologías de red inteligente, como medidores inteligentes, sensores, inversores, conmutadores y software, se implementen de forma rápida y eficiente. Mejorar la coordinación y cooperación regional para garantizar la adopción de energía renovable en la red. Aumentar el intercambio de información, recursos y servicios, así como la armonización de políticas y normativas. Mediante la fijación de precios, normas y estándares para la energía y los servicios auxiliares, un diseño mejorado del mercado ayudaría a incentivar y añadir mecanismos para una asignación eficiente y justa de los costes y beneficios de la integración de las energías renovables.
- **Para asegurar el suministro de energía**, invertir en instalaciones de conversión y almacenamiento de electricidad para aprovechar todo el potencial y la disponibilidad de energía renovable en la red. Las instalaciones de electrólisis de hidrógeno desempeñarán un papel esencial tanto en el almacenamiento como en la conversión; sin embargo, su uso debe optimizarse mediante una planificación minuciosa. Regular dichas instalaciones y garantizar que se cumplan altos estándares de eficiencia para limitar el uso de energía y planificar la integración del exceso de calor de las instalaciones de electrólisis.



Invertir en la integración de sectores.

Las barreras del mercado impiden que los actores del mercado aprovechen el potencial del exceso de calor. Es necesario eliminar estas barreras, por ejemplo, apoyando un tratamiento equitativo del calor residual y las fuentes de energía renovables utilizadas en las redes de calefacción. Rediseñar los mercados energéticos para permitir la participación de las tecnologías de integración sectorial en mercados específicos e internalizar todas las externalidades positivas de las tecnologías bajas en carbono.

- **En los gobiernos nacionales**, establecer objetivos para alcanzar un cierto umbral de integración sectorial. Establecer un objetivo para la reutilización de la energía residual y su uso como guía para el mercado energético y fomentar un enfoque holístico de la integración sectorial. Eliminar las barreras administrativas para incentivar que los usuarios se conecten a las redes de District Heating y animar a los servicios públicos de District Heating a aumentar su eficiencia.
- **En la planificación urbana y rural**, implementar una planificación energética obligatoria para permitir la evaluación del potencial de energía residual y hacer el mejor uso posible de los recursos disponibles localmente. La planificación de la red como herramienta debe guiarse por un principio de «eficiencia energética en primer lugar», que reduciría la necesidad de nuevas inversiones en la red, tanto a nivel nacional como internacional. Impulsar un mayor uso del exceso de energía haciendo obligatorio que las entidades planifiquen el uso de dicho exceso de calor. La planificación del calor debe ser detallada e incluir posibles fuentes futuras de exceso de calor, como instalaciones de electrólisis. La planificación de la energía puede revelar el potencial a pequeña escala y el potencial de oportunidades a mayor escala, como la implementación de sistemas de District Heating.
- **En el mercado energético**, reducir el tamaño mínimo de la oferta para permitir a los actores más pequeños ofrecer sus servicios energéticos a la red eléctrica, creando mercados de flexibilidad locales para abordar los problemas de la red local. Incentivar la integración de sectores a través de la legislación fiscal en favor del uso del exceso de calor y garantizar que se tengan en cuenta las estructuras tarifarias de red adecuadas.



Referencias

- IEA (2022). World Energy Outlook. Table A.1.c: World energy supply. [list grouping here]
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, *Applied Energy*, Volume 235, p. 1325.
- Bakke, G. (2016). *The Grid*. Bloomsbury USA. P. xii.
- Clarke, A.C. (1962). *Hazards of Prophecy: The Failure of Imagination*. Profiles of the Future.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136. (Assuming the energy content of hydrogen to be 33.33 kWh/kg)
- IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
- IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
- BloombergNEF (2022). *New Energy Outlook*.
- Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, *Applied Energy*, Volume 235, p. 1325.
- Birol, F. in Sheppard, D. (2023). “World at ‘beginning of end’ of fossil fuel era, says global energy watchdog”. *Financial Times*.
- IEA (2022). World Energy Outlook. Table A.1.c: World energy supply, Table A.1.a: World energy supply, Table A.1.b: World energy supply.
- IRENA (2022). *Renewable Power Generation Costs in 2022*.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- IEA (2022). World Energy Outlook 2022 Free Dataset. Global data. Grouping of IEA PRODUCT lvl 2: Bioenergy covers ‘Modern bioenergy: solid’, ‘Modern bioenergy: liquid’, and ‘Modern bioenergy: gas’. Abated fossil energy covers ‘Natural gas: with CCUS’ and ‘Coal: with CCUS’. Unabated fossil energy covers ‘Natural gas: unabated’, ‘Oil’, and ‘Coal: unabated’.
- IEA. (2021). Net Zero by 2050 – A Roadmap for the Global Energy Sector. Table 2.5. p. 72.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- NAE Website - Great Achievements and Grand Challenges
- Danfoss (2023). FPC2023 Danfoss, p. 12.
- IDTechEx (2022). Electric Construction Machines Vital for Greener Construction
- JRC (2022). CO2 emissions of all world countries.
- KOMATSU (2010). Introduction of Komatsu genuine hydraulic oil KOMHYDRO HE.
- Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
- Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
- Construction Europe (2023). Danfoss Q&A: Technology to reduce excavator energy consumption.
- IEA (2023). Tracking Heating.
- IEA (2022). The Future of Heat Pumps: World Energy Outlook Special Report, p. 11.
- IEA (n.d.). How a heat pump works.
- IEA (2023). Heating. Home heating technologies.
- IEA (2023). Heating. Home heating technologies.
- IEA (2023). Electric Vehicles.
- IEA (2023). Electric Vehicles.
- U.S. Department of Energy – Where the Energy Goes: Electric Cars.
- IDTechEx (2023). Power Electronics for Electric Vehicles 2023-2033 (Sample pages) p. 6.
- Power Electronics Europe (2018). Issue 3 p 22-25. SiC-Based Power Modules Cut Costs for Battery-Powered Vehicles.
- Power Electronic News (2022). The Role of SiC in E-Mobility.
- Danfoss calculations.
- Penny, V. (2021). Electric Cars Are Better for then Planet – and Often Your Budget, Too. *New York Times*.
- Buitendach et al. (2021). Effect of a ripple current on the efficiency of a PEM electrolyser. *Results in Engineering*. 10. 1-13.
- Sepulveda, N.A. et al. (2021). The design space for long-duration energy storage in decarbonized power systems. *Nature Energy*. 6. p. 506-516.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- Rosenow, J. & Eyre, N. (2022). Reinventing energy efficiency for net zero. *Energy Research & Social Science*. 90. 1-5.
- Eyre, N. (2021). From using heat to using work: reconceptualising the zero carbon energy transition. *Energy Efficiency*. 14:77, 1-20.
- Rosenow, J. & Eyre, N. (2022). Reinventing energy efficiency for net zero. *Energy Research & Social Science*. 90, p. 3.
- Langevin et al. (2023). Demand-side solutions in the US building sector could achieve deep emissions reductions and avoid over \$100 billion in power sector costs. *One Earth*. 6(8). 1005-1031.
- Danfoss. Leanheat – for building owners
- Danfoss. Leanheat – for building owners
- European Commission (2020). Directorate-General for Energy. Küpper, G., Hadush, S., Jakeman, A. et al. Regulatory priorities for enabling demand side flexibility. Publications Office. p. 6. <https://data.europa.eu/doi/10.2833/410530>
- Ea Energy Analyses (2023). Value of Demand Flexibility in the European Power Sector.
- The EU produced 2641 TWh of electricity in 2022, of which 19.6% or 517 TWh stemmed from natural gas. (EU (2023). Infographic - How is EU electricity produced and sold?.)
- JRC (2023). Consumption Footprint Platform | EPLCA.
- Reuters (2023). Europe's spend on energy crisis nears 800 billion euros.
- IEA (2023). Tracking grid-scale storage.
- JRC (n.d.). RMIS – Raw Materials Information System: Battery supply chain challenges.
- Clean Energy Wire (2021). More renewables curbed to stabilise German power Grid – report.
- IEA (2023). Energy Efficiency: The Decade for Action, p. 13.
- Wärtsilä (2018). Blackout economics.
- Shuai, M. et al. (2018). Review on Economic Loss Assessment of Power Outages. *Procedia Computer Science*. Vol. 130. pp. 1158-1163.
- Macmillan, M. et al. (2023). Shedding light on the economic costs of long-duration power outages. *Energy Research & Social Science*. Vol. 99. 103055.
- Environmental Investigation Agency and Shecco (2018). Technical report on energy efficiency in HFC-free supermarket refrigeration, p. 10.
- Danfoss (2023). Building better supermarkets for the world.
- Clean Energy Wire (2021). More renewables curbed to stabilise German power Grid – report.
- IEA (2023). Energy Efficiency: The Decade for Action, p. 13.
- IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
- IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
- BloombergNEF (2022). *New Energy Outlook*.
- Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 13.
- IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136. (Assuming the energy content of hydrogen to be 33.33 kWh/kg)
- IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
- IRENA (n.d.). Policies for green hydrogen.
- BloombergNEF (2022). *New Energy Outlook*.
- Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 13.
- In 2030 we will need 90 Mt (10.79 EJ/9 million kg) hydrogen (IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.). The lowest price is USD 1.3 to 3.5/kg hydrogen (IEA (2021). Global Hydrogen Review: Executive Summary.). 90 billion kg hydrogen X USD 1.3 to 3.5/kg hydrogen = USD 117-315 billion investments needed.
- European Commission (n.d.). Hydrogen. Assuming a lower heating value of hydrogen of 33.3 kWh/kg.
- In 2017, the US nuclear power plant R.S. Ginna (American Geosciences Institute (n.d.). How much electricity does a typical nuclear power plant generate?) produced 4,697,675 MWh or 4,697 TWh electricity. EU will plans to produce and import a total of 666 TWh hydrogen. 666 TWh/4.697 TWh = 142 nuclear plants like R.S. Ginna.
- Agora Energiewende (2023). Breaking free from fossil gas: A new path to a climate-neutral Europe, p. 11.
- Global Wind Energy Council (2023). Global Offshore Wind Report 2023. p. 2.
- Hydrogen Science Coalition (2022). Hydrogen for heating? A comparison with heat pumps (Part 1).
- Hydrogen Science Coalition (2022). Hydrogen for heating? A comparison with heat pumps (Part 1).
- Danfoss estimates based on Buitendach et al. (2021). Effect of a ripple current on the efficiency of a PEM electrolyser. *Results in Engineering*, 10, p. 1-13.
- London’s annual electricity consumption in buildings and transport in 2018 was 37.82 TWh (Mayor of London (2022). London annual energy usage.) and we will need 14 800 TWh of electricity for hydrogen production in 2050 (IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.). 1 % of 14 800 TWh is 148 TWh. 148 TWh/37.82 TWh = 3.8, almost four times London's electricity consumption in 2018.
- IEA (2021). How rapidly will the global electricity storage market grow by 2026?.
- PNNL (2021). Energy Storage Cost and Performance Database.
- IEA (2023). Grid-scale Storage.
- Danfoss (n.d.). Thermal energy storage.
- J. Andersson et al. (2019). Large-scale storage of hydrogen. *International Journal of Hydrogen Energy*. Vol. 44. Issue 23. p. 11901-11919.
- CLOUGLOBAL (2023). Pros and Cons of Hydrogen Energy Storage: Is Worth the Investment?.
- Energinet (2023). Hydrogen Market Assesment Report for Denmark and Germany. p. 12.
- Sepulveda, N.A. et al. (2021). The design space for long-duration energy storage in decarbonized power systems. *Nature Energy*. 6. p. 506-516.
- Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 16.
- Choudhury, S. (2021). Flywheel energy storage systems: A critical review on technologies, applications, and future prospects. *Int Trans Electr Energy Syst*. 2021; 31(9).
- Deloitte (2023). Green hydrogen: Energizing the path to net zero. p. 16.
- EESI (2019). Energy Storage 2019.
- IEA (2023). Grid-scale Storage.
- PNNL (2021). Energy Storage Cost and Performance Database.
- Blakers, A. et al. (2021). A review of pumped hydro energy storage, *Progress in Energy*, Volume 3, Number 2.
- Conolly D. & Maclaughlin S. (2011). Locating Sites for Pumped Hydroelectric Energy Storage. In *Proceedings of the International Conference on Sustainable Energy Storage*.
- Anna Normyle & Jamie Pittock (2020) A review of the impacts of pumped hydro energy storage construction on subalpine and alpine biodiversity: lessons for the Snowy Mountains pumped hydro expansion project, *Australian Geographer*, 51:1, 53-68, DOI: 10.1080/00049182.2019.1684625
- IEA (2023). Grid-scale Storage.
- IEA (2023). Grid-scale Storage.
- Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, *Applied Energy*, Volume 235, p. 1325.
- Firth, A., et al. (2019). Quantification of global waste heat and its environmental effects, *Applied Energy*, Volume 235, p. 1330.
- Euroheat & Power (2023). DHC Market Outlook, p. 3
- Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University, p. 54
- Connolly, D., et al. (2013). Heat Roadmap Europe 2: Second Pre-Study for the EU27. Department of Development and Planning, Aalborg University

108. Heat demanded by residential and service sector buildings, also called “low-temperature heat demand”, according to 2015 data from the Heat Roadmap Europe 4. This demand doesn't cover industrial heat demand as required input temperatures are too high for excess heat recovery technologies.
109. <https://heatroadmap.eu/peta4/>
110. Heat Roadmaps – Heat Roadmap Europe
111. Luo, A., Fang, H., Xia, J., & Lin, B. (2017). Mapping potentials of low-grade industrial waste heat in Northern China. Resources, Conservation and Recycling, 125, 335-348
112. IEA (2022). World Energy Outlook, p. 136.
113. Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.
114. TVIS (2022). Fjernvarme til 1300 husstande mere fra Danmarks første PtX-aftale.
115. COWI (2023). Kassø PTX (E-methanol) - Miljøkonsekvensrapport. p. 24
116. The global recoverable excess heat from electrolysis is 1.228 TWh in 2050 (8.3% of 14.800 TWh) or 4.420.800 TJ. The global heat generation from coal in 2020 was 7.039.840 TJ (IEA (2022). Energy Statistics Data Browser, filter: Energy topic: Electricity and heat, Indicator: Heat generation by source, Country or region: World).
117. The European Union plans to produce 10 million tons of renewable hydrogen through electrolysis by 2030 (EU (2022). Energy – Hydrogen). Assuming 33.3 kWh/kg hydrogen, this is 333 TWh hydrogen. Roughly 2/3 of the electricity input for electrolysis is converted to hydrogen, and 1/3 is wasted as heat. $333 \text{ TWh} / (2/3) = 499.5 \text{ TWh}$ electricity input. 16.6% of the electricity-input for electrolysis can be recovered to district heating in 2030 (Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.). $499.5 \text{ TWh} \times 0.166 = 82.9 \text{ TWh}$ recoverable for district heating from electrolysis in EU in 2030. 51.5 TWh heat was distributed to private households and residential buildings in Germany in 2017 (Statistisches Bundesamt (2017). Balance sheet of heat supply, total). $82.9 \text{ TWh} / 51.5 \text{ TWh} = 1.6$, more than 1.5 times Germany's domestic heating in 2017.
118. In 2060, China's hydrogen production will be 90 to 130 million tons, of which 80% will be produced through electrolysis (IEA (2022). Opportunities for Hydrogen Production with CCUS in China: Executive summary). Assuming 33.3 kWh per kg hydrogen, the hydrogen produced from electrolysis will contain $2.376\text{-}3.432 \times 10\text{-}12 \text{ kWh}$, or $2.376\text{-}3.432 \text{ TWh}$. About 2/3 of the electricity input for electrolysis is converted to hydrogen and the rest is wasted as heat, so the electricity demand for electrolysis is $2.376 \text{ to } 3.432 \text{ TWh} / (2/3) = 3.564\text{-}5.148 \text{ TWh}$. 8.3% of the electricity input for electrolysis is recoverable excess heat in 2050 (Danish Energy Agency (2017). Technology Data – Renewable Fuels. p. 128.). Assuming this is representative for 2050, we can say: $3.564 \text{ TWh} \times 0.083 = 296 \text{ TWh}$, and $5.148 \text{ TWh} \times 0.083 = 427 \text{ TWh}$. China's 2020 heat generation is 5.953.612 TJ, or 1.654 TWh (IEA (2022). Energy Statistics Data Browser., filter: Energy topic: Electricity and heat, Indicator: Heat generation by source, Country or region: People's Republic of China). $100 / 1.654 \text{ TWh} \times 296 \text{ TWh} = 17.9\%$, and $100 / 1.654 \text{ TWh} \times 427 \text{ TWh} = 25.8\%$.
119. BloombergNEF (2022). New Energy Outlook 2022.
120. IEA (2022). Data Centres and Data Transmission Networks
121. Australia's electricity consumption was 237 TWh and Spain's was 234 TWh in 2021 (EIA (n.d.). International. Electricity Consumption.), well within the range of global electricity consumption from data centers in 2021 (220-320 TWh)
122. eco (2021). Data centres as Gamechangers for Urban Energy Supply: City of Frankfurt am Main Could Cover Most of its Heating Needs by 2030 with Waste Heat
123. DCD (2021). Heatworks breaks ground on AWS district heating scheme in Dublin, Ireland
124. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 26 & 59
125. IEA (2018). The Future of Cooling, p. 11
126. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
127. Danfoss (2016). Making the case for district cooling, p. 3
128. MarkNtel (2023). UAE District Cooling Market Research Report: Forecast (2023-2028)
129. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2022). Guide for Resilient Energy Systems Design in Hot and Humid Climates.
130. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (2022). Guide for Resilient Energy Systems Design in Hot and Humid Climates.
131. IEA (n.d.). Smart-grids.

whyee.com

Obtenga más información sobre cómo las soluciones de eficiencia energética pueden acelerar la transición ecológica.