

Cuando las energías renovables alcanzan sus límites de crecimiento

B :: 02/03/2025

Polémico texto que explica que, contrariamente al ingenioso tropo de marketing, las «renovables» no son renovables ni mucho menos, de ahí las comillas en su nombre

La generación de *electricidad a partir de fuentes «renovables» ha alcanzado recientemente máximos históricos en Europa. Según Carbon Brief: «El crecimiento de la energía eólica y solar durante la última década llevó la generación de combustibles fósiles de la UE en 2024 a su nivel más bajo en 40 años, a pesar del declive a largo plazo de la energía nuclear». Aunque esto es sin duda una buena noticia para aquellos que creen que las «energías renovables» son una salida al desastre medioambiental que ha creado la civilización industrial, la intensidad material de las energías renovables --unas quinientas veces mayor que la de las turbinas de gas-- hará imposible su despliegue posterior. ¿Alguien quiere hablar de los límites del crecimiento?*

Empecemos con algunos titulares recientes que contrastan con el alegre informe de Carbon Brief citado anteriormente. «El fracaso de la subasta de Dinamarca revela grietas en la industria eólica marina europea», de *Bloomberg*. «El sector solar alemán en apuros por el exceso de paneles que ejerce presión sobre la industria», del *Financial Times*. Entonces, díganos, si la energía eólica y solar es un éxito tan rotundo en toda la UE, ¿por qué las empresas que las construyen y compran ya no quieren nada de eso? ¿Y por qué un director ejecutivo adjunto de un grupo de presión de la industria solar hace comentarios como este: «No se puede tener una transición ecológica con números rojos. El sector necesita ser rentable». -- Dries Acke, SolarPower Europe

Bueno, como de costumbre, la madriguera del conejo es *mucho más profunda* de lo que se revela en los principales medios de comunicación. Las «energías renovables» tienen muchos defectos inherentes que tienen su origen en la física, la química, la tecnología de fabricación y las condiciones atmosféricas (es decir, el clima). Sin embargo, señalarlos no tiene nada que ver con negar el cambio climático. (Que conste: acepto plenamente la ciencia que hay detrás del cambio climático y que está causado en su totalidad por nosotros, los simios de fuego, que quemamos combustibles ricos en carbono).

Sin embargo, esa no es la cuestión aquí. Como experto en fabricación y cadena de suministro, que lleva casi dos décadas trabajando en el campo del abastecimiento y la producción de equipos electrónicos, me sentí obligado a educar al público sobre los límites inherentes a las «tecnologías verdes». No me malinterpreten: utilizados con sensatez en aplicaciones especiales, y solo como un ligero impulso al sistema energético, la energía eólica y solar podrían resultar útiles para nuestra civilización en su largo camino hacia el abismo.

Por otro lado, querer construir una red eléctrica completa con energías renovables y esperar que de alguna manera mantenga el negocio como de costumbre es una idea mágica

con esteroides... Como creer que los combustibles fósiles estarán con nosotros para siempre, o que no pueden causar daño al mundo vivo y al clima de este planeta. Es hora de enfrentarnos a la realidad.

No renovables

Contrariamente al ingenioso tropo de marketing, las «renovables» no son renovables ni mucho menos, de ahí las comillas en su nombre. En el mejor de los casos, son «reconstruibles», pero en la mayoría de los casos ni siquiera eso. En pocas palabras, muchos de los materiales con los que se fabrican no son reciclables ni pueden fabricarse sin utilizar grandes cantidades de combustibles fósiles. Así que, mientras que la energía del sol y el viento sigue siendo prácticamente ilimitada, los recursos necesarios para construir los muchos componentes esenciales, pero completamente no reciclables, de las turbinas eólicas y los paneles solares no lo son.

Tomemos dos ejemplos: las palas de las turbinas eólicas y las células solares de polisilicio. Las palas de las turbinas están hechas de un material compuesto: una combinación de fibra de vidrio (fabricada quemando gas natural) y resina epoxi (producida directamente a partir de petróleo crudo y líquidos de gas natural). Del mismo modo, las células de polisilicio utilizadas en los paneles solares se fabrican fundiendo cristales de cuarzo con carbón, produciendo al menos dos moléculas de CO₂ por cada átomo de silicio liberado de su forma original (SiO₂). Una vez más, centre su atención no (solo) en las emisiones de carbono, sino en el hecho básico de que tanto la fabricación de resina como la de silicona requieren grandes cantidades de átomos de carbono debido a sus propiedades químicas únicas y a su amplia disponibilidad. Y aunque se podría utilizar carbón vegetal en ambos procesos, la escala de construcción de «energías renovables» simplemente impide que esta práctica se generalice.

Si no fuera por el carbón, el petróleo y el gas, tendríamos que talar bosques enteros para fabricar unos pocos paneles solares y palas de turbinas. Y lo que es peor, estaríamos dispuestos a repetir esta situación década tras década, ya que los paneles y turbinas viejos fallan y deben ser reemplazados. Verá, este es el mayor problema de las «soluciones»: crean «problemas» aún mayores que los que «resuelven».

Además de su naturaleza intensiva en carbono, tanto la resina epoxi como las obleas de silicio policristalino no son reciclables. Se pegan (se unen químicamente 1) al vidrio durante el proceso de fabricación: fibra de vidrio en el caso de las palas de las turbinas eólicas y vidrio plano en el caso de los paneles solares. El problema es que estos enlaces químicos no pueden deshacerse físicamente sin destruir por completo el material que queremos salvar primero. Todo lo que podríamos conseguir al intentar quemar o fundir esos residuos es contaminación tóxica del aire y vidrio fundido altamente contaminado. (Podríamos experimentar con varios ácidos y disolventes, pero lo más probable es que al final estuviéramos produciendo más lodo tóxico que materia reciclada útil).

Estos componentes indispensables para las turbinas eólicas y los paneles solares terminan casi invariablemente en vertederos, donde filtran toxinas (como el arsénico) en las aguas subterráneas durante décadas, si no siglos. La naturaleza compuesta de estas tecnologías requerirá, por tanto, la extracción continua de materias primas, junto con la quema continua

de combustibles fósiles y el vertido de residuos tóxicos; mientras tengamos combustibles fósiles de sobra y minerales que extraer 2.

Las «energías renovables» son *consumibles* -- al igual que las barras de combustible de uranio -- productos tóxicos de un sistema industrial inherentemente tóxico e insostenible.

Una cuestión de densidad

Cuando se trata de energía, la densidad es lo más importante. Cuanto más condensada esté una forma de energía, más cosas podemos hacer con ella: viajar más lejos, transportar más carga, levantar más peso, alcanzar temperaturas más altas, por nombrar solo algunas aplicaciones. Desafortunadamente, nada de esto puede decirse de la energía eólica y solar. Ambas tecnologías requieren toneladas de materiales de construcción: principalmente acero, hormigón y vidrio (además de los materiales especiales mencionados anteriormente). Debido al peso de todo este material, y al calor relativamente suave y la luz dispersa que proviene del Sol, los paneles solares no producen más de 20 vatios por cada kg de su masa, incluso en un día soleado. Mientras tanto, las turbinas eólicas, con sus enormes bases de hormigón y altas torres de acero, generan apenas 6 vatios por cada kg de su peso. (Las baterías obtienen resultados ligeramente mejores, con 240 W/kg).

A modo de comparación, el combustible diesel produce 13 000 vatios por cada kg de combustible quemado. *Un motor diesel normal que pese 150 kg puede producir fácilmente 110 kW de potencia, mientras que la misma hazaña requeriría 5,5 toneladas de paneles solares iluminados directamente por el sol al mediodía.* Por eso no hay coches que funcionen con energía solar ni aviones comerciales propulsados por turbinas eólicas.

Amigos, estamos hablando de una diferencia en el rango de *múltiples órdenes de magnitud*, no de algo que pueda salvarse con algunos ajustes aquí y allá. La densidad de energía súper baja de las «energías renovables» hace necesario su envío en cantidades absolutamente asombrosas, con toda la minería, logística, fundición, fabricación y construcción que ello implica. Muchas de estas actividades, especialmente la fabricación de acero, cobre, hormigón y vidrio, requieren altas temperaturas (muy por encima de los 1000 °C) y, por lo tanto, la quema de combustibles de alta densidad energética (carbón, petróleo y gas natural).

Por eso, las «energías renovables» no pueden construirse y desplegarse técnicamente *a escala* utilizando únicamente energía «renovable». Una cosa es operar una planta de montaje de paneles solares o componentes de turbinas eólicas. Producir, fundir y dar forma a las materias primas necesarias para fabricar células solares y piezas de maquinaria es un negocio completamente diferente, que requiere un generoso subsidio de los combustibles fósiles.

La réplica habitual a estas afirmaciones es que *«entonces utilizaremos el exceso de electricidad generada por el viento y el sol para producir hidrógeno, que no solo arde a altas temperaturas (cerca de 2000 °C), sino que puede fabricarse a partir del agua»* (sic). El problema, de nuevo, radica en la física y la escala: producir H₂ a partir del agua mediante electrólisis requiere mucha electricidad 3, un tercio de la cual se desperdicia instantáneamente (por no mencionar la energía necesaria para bombear y purificar el agua

antes de poder utilizarla).

Otro problema es el almacenamiento: el hidrógeno es extremadamente ligero y fino a temperatura ambiente y a presión normal, lo que requiere la superrefrigeración del combustible (junto con la compresión a alta presión) para lograr volúmenes de almacenamiento razonables. De nuevo, cosas que requieren mucha energía. Pero el mayor obstáculo de todos, como de costumbre, es la escala 4:

Si convirtiéramos TODA la electricidad producida por la civilización humana (a nivel mundial) en hidrógeno, obtendríamos *menos de la mitad* del calor --liberado al quemar hidrógeno en hornos y fundiciones-- que el que producimos actualmente solo quemando carbón... Piénselo un minuto.

De peras a manzanas

La intermitencia es otro inconveniente de las «energías renovables», que nos impone el clima y la rotación de la Tierra. Es de conocimiento común que la civilización necesita electricidad incluso cuando no brilla el sol o no sopla el viento. Sin embargo, el público apenas conoce la gravedad con la que la velocidad del viento y la disponibilidad de luz diurna afectan al factor de capacidad general (o la «disponibilidad») de las energías renovables. Sin embargo, tras revisar datos de la vida real 5, se descubre que la «disponibilidad» media global de la generación solar es de apenas un 14,3 %. La misma proporción para Alemania es aún peor, situándose en apenas un 10,4 %.

Sí, ha leído bien: instale paneles con una capacidad de 100 kW (placa de características) y obtenga 10,4 kW a cambio anualmente. (La energía eólica sale un poco mejor, con un 26,7 % de media). A modo de comparación, si en su lugar instalara una turbina de gas, podría producir energía de forma bastante fiable con un factor de capacidad de alrededor del 90 % (con un 10 % reservado para mantenimiento e inspección). Por lo tanto, citar cifras de capacidad instalada es tan útil como comparar manzanas con peras.

Por otro lado, si incorporamos la «disponibilidad» real de las «energías renovables» en el cálculo de la relación potencia/peso, obtenemos un valor práctico de 2 W/kg para los paneles solares instalados en Alemania y de 1,6 W/kg para las turbinas eólicas en una media mundial. De nuevo, en comparación con una moderna turbina de gas con una producción eléctrica de más de 1000 vatios por cada kg de material incorporado, estas cifras son realmente minúsculas.

De nuevo, la diferencia no es de un par de puntos porcentuales, sino que equivale a una disminución de quinientos veces en la densidad energética. Y recuerde, todo ese hormigón, acero, vidrio, cobre, plata, metales de tierras raras y aluminio que componen el peso de las «energías renovables» tuvieron que ser extraídos, fundidos y moldeados en su forma final mediante la quema de combustibles fósiles, y luego transportados al lugar en camiones diesel y barcos. (Mientras tanto, el gas natural podría obtenerse perforando un pozo).

Y estos son solo los promedios, que ocultan la verdadera historia detrás de la intermitencia. La producción solar alcanza su punto máximo al mediodía, mientras que la eólica es como un ruido aleatorio en el sistema. Ninguno de los dos es realmente predecible, pero crean

enormes sobrecargas de carga cuando se conectan de repente. Cada vez que las nubes se despejan sobre un gran parque solar, el repentino aumento de la producción de energía envía una onda de choque a través de la red, dañando los equipos sensibles cercanos. Del mismo modo, cuando vuelven las nubes, se produce un microapagón (que dura unos milisegundos hasta que se conecta la energía de reserva).

Estas fluctuaciones en el suministro de electricidad han obligado a muchas empresas con equipos de fabricación sensibles a instalar protectores contra sobretensiones y unidades de suministro de energía ininterrumpida que cuestan decenas o cientos de miles de euros (dependiendo del tamaño) o a comprar unidades de generación alimentadas con gas natural para producir su propio suministro estable de electricidad. Las «energías renovables» imponen muchos costes ocultos tanto a los operadores de la red como a las empresas que operan tecnologías sensibles (como granjas de servidores para IA o equipos de fabricación de chips).

Economía

Además de los costes en que incurren las empresas, la incorporación de más y más «energías renovables» a la red ha dado lugar a una creciente volatilidad de los precios, lo que amenaza el propio modelo de negocio que sustenta los parques eólicos y solares. Y aquí es donde llegamos a la economía de todo el proyecto. Mientras que invertir en la extracción y quema de combustibles fósiles era una obviedad desde una perspectiva empresarial (sin tener en cuenta los costes medioambientales como externalidades, por supuesto), no se podía decir lo mismo de las energías renovables.

Gracias a la intensidad de materiales y energía de su producción, las numerosas partes no reciclables y sus relaciones potencia-peso ultrabajas, el despliegue de estas tecnologías requiere una inversión inicial masiva, subsidios, exenciones fiscales y garantías sólidas de que los operadores de la red comprarán la electricidad que producen.

A pesar del crecimiento de la generación eólica y solar, la producción total de electricidad en la UE se ha estancado desde principios de la década de 2000, lo que indica el fin del crecimiento económico en el viejo continente. Fuente: Our World in Data

Sin embargo, recientemente han surgido algunos problemas graves en ambos lados del cálculo de la rentabilidad de la inversión. En cuanto a la inversión, el aumento de los precios del carbón, el gas natural y el petróleo ha provocado directamente un aumento de los costes de fabricación y construcción. (Recuerde que la mayoría de los materiales por peso en las «energías renovables» son vidrio, hormigón y acero, todos los cuales requieren enormes cantidades de combustibles fósiles para su fabricación). Y aunque los costes han ido disminuyendo a lo largo de las dos últimas décadas, gracias a China y a sus abundantes suministros de carbón, esta tendencia parece haberse detenido y revertido en muchas regiones del mundo, incluida Europa.

La inflación de los costes se agravó aún más al imponer aranceles sobre el CO₂ de las materias primas importadas, lo que consiguió el efecto contrario al que pretendía el legislador. Del mismo modo, el aumento de los tipos de interés encareció mucho la obtención de grandes sumas de dinero (necesarias para construir parques eólicos y solares).

En el otro lado de la ecuación, al intentar vender la electricidad producida, la sobreproducción de energía ha dado lugar a precios negativos durante el día en muchos casos. Dado que la generación de energía a partir de «energías renovables» no es planificable --de ahí su apodo: fuentes de energía «dependientes del clima»--, cuando el viento finalmente se levanta, se lleva todas las nubes y cada turbina eólica y panel solar comienza a producir electricidad de repente, los precios de la electricidad entran en territorio profundamente negativo. (Sí, eso significa que el operador de la red comienza a castigar a los productores por producir electricidad en exceso, lo que los obliga a reducir la producción).

Tomemos el Reino Unido como ejemplo. Para aliviar la situación de los operadores eólicos y solares a escala de red, se ideó un plan de compensación que costó a los consumidores británicos 1300 millones de libras solo en 2024. Abordar el problema de la reducción, por otro lado, requeriría una costosa expansión de la red, estimada en 40 000 millones de libras al año.

Lo mismo ocurre en Alemania y en muchos otros lugares con una alta tasa de adopción de la energía eólica y solar. Tanto la parte de inversión como la de rendimiento de la ecuación se volvieron locas: el aumento de los costes de los combustibles fósiles y los altos tipos de interés arruinaron la parte de inversión, mientras que la sobreproducción de electricidad diurna arruinó la parte de rendimiento. De nuevo, esto no es nada novedoso: las características físicas de estos dispositivos se conocen desde hace más de un siglo, y las consecuencias económicas de alcanzar una penetración solar superior al 15 % y eólica superior al 30 % también se demostraron claramente hace más de una década (Hirth, 2013) 6.

Almacenamiento

Las baterías de iones de litio, por otro lado, necesitaban equilibrar la producción de energía y el consumo costaba una fortuna cuando se construían a escala de red, y por lo tanto solo se instaló una cantidad muy limitada de ellas hasta ahora (almacenando solo minutos de suministro eléctrico). Al igual que en el caso del fracaso de la subasta danesa, donde demasiada capacidad de energía eólica ha reducido los precios hasta el punto de que las nuevas instalaciones se volvieron inviables, la instalación de más baterías reduciría los incentivos económicos de nuevas inversiones en almacenamiento a escala de red. Añadir más baterías reduce el arbitraje de precios (la diferencia entre los precios negativos durante el día y los precios altísimos por la noche) y, por lo tanto, el incentivo para construir más. Esto sin mencionar la diferencia entre la demanda de verano y la de invierno.

El almacenamiento a largo plazo no es viable desde el punto de vista económico; basándonos únicamente en la diferencia de precios, simplemente no vale la pena almacenar electricidad durante medio año. El almacenamiento de energía y la «expansión de la red» se han convertido en un unicornio mágico, al igual que la captura y el almacenamiento de carbono: basándonos en la ciencia, es muy necesario, pero ni el balance energético ni los cálculos económicos lo respaldan...

Eso nos deja con los combustibles fósiles como la forma más barata de almacenamiento de energía. «*Pero, pero, pero... ¿y la energía hidroeléctrica de bombeo?*». -- uno podría

preguntar. Bueno, aunque la energía hidroeléctrica de bombeo parece prometedora sobre el papel, deberíamos haber empezado a construirla hace mucho tiempo para estar a la altura de la magnitud y la urgencia de la situación actual.

Además, tampoco son soluciones mágicas: países como Alemania o Dinamarca, al igual que gran parte de la zona densamente poblada de EEUU, carecen del terreno necesario para construir este tipo de almacenamiento. Para que sean eficaces, los sitios de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo tendrían que construirse en lugares donde exista una gran diferencia de altura (600 m o más) entre los embalses inferior y superior en una distancia corta. Además, no estaría de más que el emplazamiento tuviera opciones de rellenado: construir un almacenamiento de este tipo en medio del desierto no es la opción más acertada.

Además de encontrar la ubicación adecuada, construir la cantidad necesaria de almacenamiento hidroeléctrico por bombeo también requeriría millones de toneladas de acero y hormigón. Ambas materias primas (hierro y cemento) necesitan carbón y gas natural para su fabricación, y diesel para el transporte de los materiales de construcción hasta el lugar. Y como estos lugares estarían lejos de los principales centros de población (en las montañas), no olvidemos todas las líneas eléctricas de alta tensión de larga distancia, los transformadores, etc., necesarios para que funcionen. Una vez más, no es algo que se pueda apoyar en una producción de combustibles fósiles estancada y en unas condiciones económicas cada vez peores.

Nos encontramos en un dilema civilizatorio, en el que la extracción de combustibles fósiles, que se encuentra estancada (y cada vez menos rentable), se ha topado con el deseo de «hacer algo» con sus emisiones. Por otro lado, la tan cacareada «solución» --la eólica y la solar-- requeriría una inversión aún mayor en carbón, petróleo y gas, para producir las prodigiosas cantidades de materias primas necesarias para construir estas maravillosas tecnologías. Lo mismo ocurre con la energía nuclear, los reactores de fusión experimentales y el tan necesario almacenamiento de electricidad: todos requerirían un suministro interminable de combustibles fósiles para su fabricación y mantenimiento. De forma indefinida, ya que muchos de los componentes implicados no pueden reciclarse por simples razones tecnológicas.

Cuanto antes afrontemos la realidad y aceptemos que fueron los combustibles fósiles los que hicieron posible la civilización industrial depredadora, antes podremos empezar a adaptarnos a su eventual agotamiento y, al menos, empezar a mitigar los numerosos daños que su uso causó al planeta. Poner nuestras esperanzas en unicornios como las «energías renovables» o la «captura y almacenamiento de carbono» solo retrasa la adopción de medidas significativas y acelera la reducción de las últimas reservas viables de combustibles fósiles y minerales. No es una buena idea, si me pregunta.

Notas

1 Para ser absolutamente precisos: el epoxi pasa por su propio proceso de endurecimiento químico (más allá de su unión a la fibra de vidrio), un proceso unidireccional que no puede

detenerse ni revertirse a voluntad.

2 Lo mismo puede decirse de prácticamente todas nuestras tecnologías, desde los vehículos eléctricos hasta los reactores de fusión experimentales. Todas contienen piezas hechas de materiales no reciclables, que utilizan uniones irrompibles, así como metales que requieren mucho calor para fundirse y refundirse, lo que hace necesario continuar con la minería, la fundición y la fabricación... Todo ello alimentado por combustibles fósiles, por supuesto.

3 La conversión de hidrógeno en electricidad, por otro lado, también es un desperdicio (suele tener una eficiencia del 50 %), lo que nos deja con una mera eficiencia de ida y vuelta del 32 % (en el mejor de los casos).

4 La civilización industrial surgió (y creció tanto) debido a las cantidades realmente épicas de combustibles fósiles quemados en el proceso. Solo en 2023, por ejemplo, los humanos quemaron 8770 millones de toneladas de carbón. (Y eso es solo carbón...) Eso fue literalmente una montaña de carbón de 4 km de ancho y 2 km de alto (o 13 000 pies por 6500 pies) que se convirtió en humo a lo largo de 2023. La quema de todo ese montón gigante liberó 49 789 teravatios de calor, mientras que la generación mundial de electricidad fue de 29 479 teravatios de todas las fuentes el mismo año. Por otro lado, generar 1 kg de hidrógeno a partir del agua requiere 50 kW de electricidad, mientras que la misma cantidad de hidrógeno (si se quema) libera 33 kW. Por lo tanto, si utilizáramos toda la electricidad generada por la humanidad en 2023 para producir H₂, se habrían producido 589,58 millones de toneladas de hidrógeno (además de un apagón total para todo el planeta). Sin embargo, la quema de esa cantidad colosal de hidrógeno habría liberado solo 19 456 teravatios de calor, lo que sustituye apenas el 39 % del calor liberado por el carbón.

5 El último informe del Instituto de la Energía titulado *Statistical Review of World Energy* nos proporciona las cifras. Al comparar «Energía renovable: generación por fuente» (página 47) y «Energía renovable solar: potencia fotovoltaica instalada» (página 48), podemos obtener una visión sincera del factor de capacidad real de los paneles fotovoltaicos. Todo lo que tenemos que hacer es dividir los teravatios reales suministrados por las «energías renovables» entre la capacidad nominal total (puramente teórica) de dichas tecnologías.

6 La cuota de la energía solar en la producción de electricidad fue del 7,5 % en 2022 en la UE, mientras que la eólica produjo el 15 % de toda la energía eléctrica del bloque. Aunque estas cifras son solo la mitad de lo que Hirth sugirió como límite económico, ya han empezado a surgir problemas con las continuas inversiones en el sector, ya que tanto la producción como el consumo de combustibles fósiles han alcanzado sus propios límites de crecimiento.

thehonestsorcerer.medium.com / espai-marx.net

<https://www.lahaine.org/mundo.php/cuando-las-energias-renovables-alcanzan>