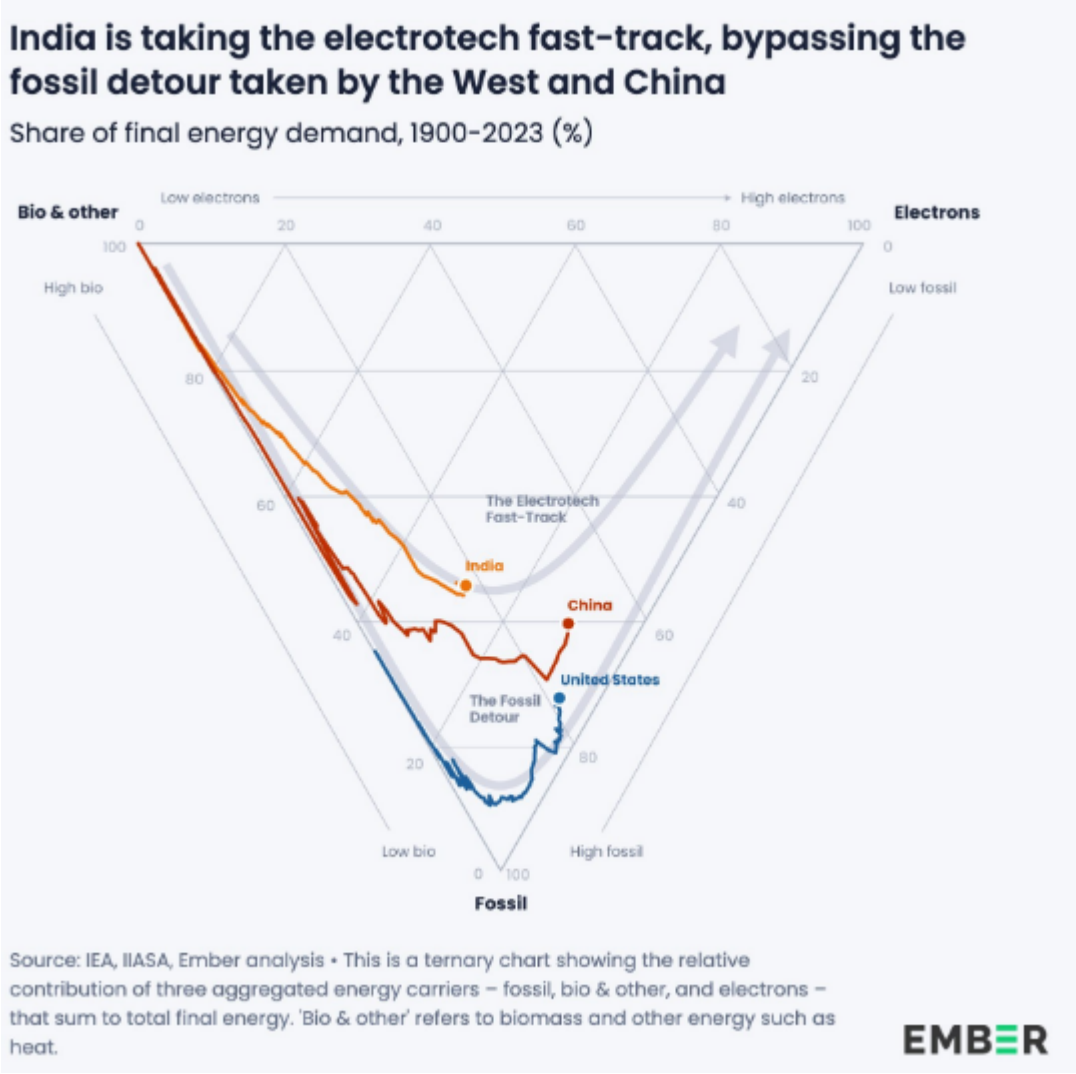
Imprimir

Ya está terminando la COP 31 de Cambio Climático en Turquía, que ha mantenido con dificultad la consigna 35 X 35: lograr que la electrificación mundial llegue al 35% en el año 2025 aunque con pocos recursos disponibles y la oposición de los países productores de petróleo de favorecer las energías renovables; coincide la COP 31 con la reunión de Xi Yinping, Donal Trump y Vladimir Putín en Shenzhen, desvaneciendo su importancia tanto por el peso de los mandatarios como por los temas delicados que tratan. Una gran mayoría de los que discuten la transición energética plantea que consiste en la eliminación gradual o acelerada de los combustibles fósiles por otra fuente de energía, preferiblemente renovable; sin embargo, algunos tratan de introducir la generación eléctrica con fósiles, desvirtuando la propuesta 35 X35, que es básicamente el salto esperado hacia energía solar principalmente, que de todos modos se está viviendo en el mundo afuera de la COP31, por la racionalidad misma de los mercados y por el avance prodigioso del conocimiento e innovación, -que si bien se inició en los Estados Unidos y Europa en el siglo pasado, fue tomada y potenciada por la China y, más recientemente por la India.
Jan Rosenow nos recuerda en el principal artículo que hemos estudiado para este escrito, que "(u)n sistema energético electrificado puede proporcionar los mismos servicios energéticos que los actuales, pero con un 61 % menos de desperdicio y casi la mitad de la energía primaria"; lo cual abre la perspectiva que la dimensión real de la transición es menor de lo que parece en el sentido cuantitativo pues se requiere instalar menos para lograr lo mismo; Con electricidad se logra hacer lo mismo que con energía fósil de base, para ofrecer energía a todos los usuarios;

Algunos autores se preocupan por el posible "efecto rebote", que consiste en que el consumo energético podría aumentar precisamente porque se desperdiciaría mucho menos energía y por tanto su costo disminuiría y ello motivaría el aumento de consumo; ante ello, es fundamental tener presente que en sociedades tan inequitativas como las nuestras, un mayor consumo estaría relacionado de manera directa con un ascenso en la dignidad y calidad de la vida,-, como lo ilustra el "índice de pobreza multidimensional energética-, que señala la cantidad mínima necesaria de energía para gozar el progreso, pero ello muy regulado por señales adecuadas tanto económicas como normativas, de ahorro y uso más

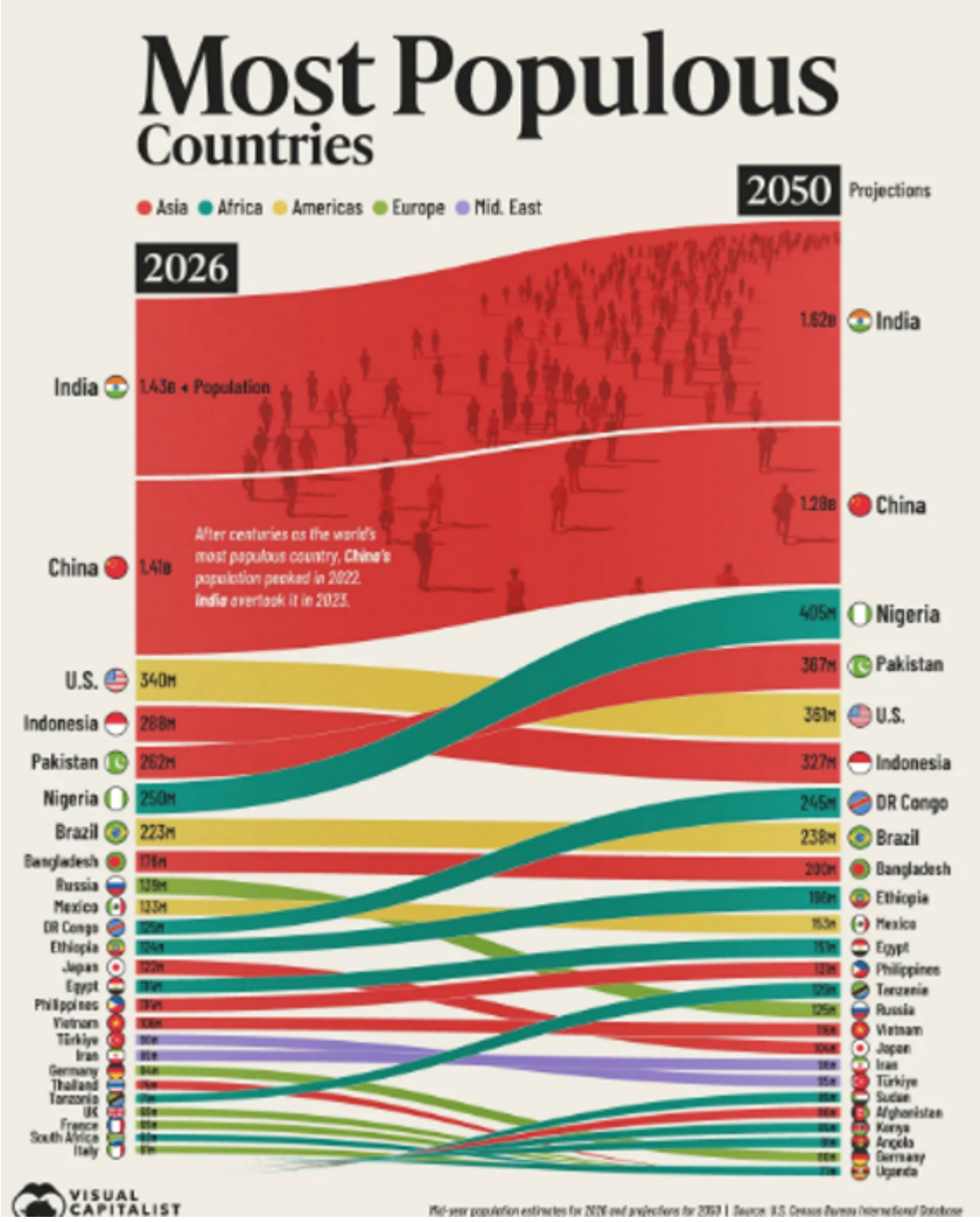
eficiente de energía. Con la electrificación con energías renovables de sol y viento, tanto los costos explícitos de su generación y oferta, como las externalidades negativas del consumo eléctrico con combustibles fósiles, disminuirían y la sociedad viviría mejor. Adicionalmente, cuando estudiamos la población actual mundial y observamos que la India y China y en general el Asia son los países de mayor cantidad de habitantes y son los que están creciendo más desde lo económico, la electrificación tiene enorme sentido, especialmente porque la India tomó la decisión de "saltarse" los combustibles fósiles en su transición, como se observa en la gráfica siguiente:



El dominio actual de China en las tecnologías “limpias” es un Electroescudo es abrumador. Si se compara el poder manufacturero a escala de gigavatios de China frente a la suma de EE.UU. y la UE, resulta la siguiente tabla:

- 2x capacidad solar
- 14x capacidad de módulos solares
- 6x capacidad eólica
- 5x baterías de red
- 6x capacidad de celdas de batería
- 5x cargadores públicos de VE
- 16x camiones eléctricos fabricados
- 000+ km de red UAT frente a cero

Con sólo una única excepción donde EE.UU.+UE logran mantener una ventaja que es la de la IA por ahora. En el “electroestado” chino, la energía es un problema de manufactura. La tecnología permite el escalamiento, mientras que la extracción de Commodities empieza a decaer.



PRIMER ERROR: VISIÓN ESTÁTICA Y RÍGIDA DE LA ENERGÍA

Vivimos en una economía basada en los combustibles fósiles, como lo demuestran hasta el momento los automóviles que conducimos, los edificios en los que vivimos y trabajamos y las fábricas que producen los bienes que consumimos, que siguen dependiendo en gran medida del petróleo, el gas y el carbón, lo que representa todavía alrededor del 80 % del consumo energético mundial; pero ese panorama está evolucionando rápidamente. De manera equivocada se argumenta que sustituir los combustibles fósiles por energías limpias es poco realista pues dicha proporción sólo podrá modificarse de manera gradual y además el consumo energético está ascendiendo en el mundo, y ahora con la Inteligencia Artificial y los centros de datos asociados la demanda sería mucho mayor.

Se señala que la sustitución de los combustibles fósiles por energías renovables en pocas décadas "requeriría una transición de una velocidad y una magnitud sin precedentes" e incluso que sustituir los combustibles fósiles por energía eólica, solar y baterías es «pura fantasía», pues entre 1990 y la actualidad, la proporción del consumo de energía primaria procedente de combustibles fósiles solo ha disminuido del 85% a alrededor del 80% y que la transición energética no se está produciendo realmente pues aunque hay un aumento de las energías limpias esto sólo está abasteciendo el crecimiento de la demanda en alguna proporción; sin embargo, esos argumentos se basan en una interpretación del tamaño histórico del sistema energético sin cualificar las características propias de las diferentes fuentes energéticas porque confunden profundamente los aportes o cantidades utilizadas de energía primaria con los servicios energéticos finales que las sociedades realmente utilizan, lo cual distorsiona profundamente la realidad, como lo explico a continuación.

Rosenow y su grupo de investigación cuantifican claramente este error de gran magnitud, al precisar que "un sistema energético altamente electrificado puede proporcionar el mismo nivel de servicios energéticos útiles que el sistema actual basado en combustibles fósiles, al tiempo que reduce las pérdidas a nivel de todo el sistema en un 61 %". Las afirmaciones de que un cambio a gran escala para alejarse de los combustibles fósiles es poco realista debido a la enorme magnitud de su uso, no tienen en cuenta las diferencias fundamentales en la eficiencia energética, los procesos de conversión y las aplicaciones finales y a eso es que debemos apuntar. Los autores citan al canadiense Paul Martin, quien ha calificado esta

omisión como la “falacia de la energía primaria”. La energía primaria representa el contenido energético total de los recursos naturales antes de que se sometan a cualquier proceso de conversión, como es el caso del petroleo antes de usarse en los motores de combustión interna.

El error surge cuando se equiparan equivocadamente al mismo nivel los altos aportes de energía primaria necesarios para lograr un movimiento o acción, con los servicios energéticos finales, desconociendo la termodinámica. Los autores citan igualmente a Amory Lovins, reconocido experto energético, quien nos recuerda que “la gente no quiere energía. Lo que quiere es duchas calientes y cerveza fría”; es decir, los servicios finales de la energía, sin discriminar o valorar su origen o fuente y si esto se puede proveer a mucho menor costo y consumo energético es lo ideal. Es fundamental replantear nuestra visión de la energía, porque alrededor de dos tercios del consumo mundial de energía primaria,- que ha sido la fósil principalmente-, se pierden durante los procesos de combustión y conversión para obtener electricidad que sea disponible al consumidor final. Esta dimensión crítica nos demuestra lo ineficiente que ha sido la provisión de energía, como también la ceguera sobre su contribución al cambio climático, que es sin lugar a dudas el gran problema social, ambiental, político y económico del siglo 21.

Es evidente entonces que medir los sistemas energéticos únicamente en términos de energía primaria requerida distorsiona profundamente las comparaciones, porque exagera la contribución real de los combustibles fósiles al consumo final eléctrico y energético, al mismo tiempo que subestima de mala manera la eficiencia de las energías renovables y el ahorro energético que se puede lograr mediante la electrificación. Esto tiene consecuencias profundas y prácticas por dos razones; la magnitud de la energía fósil requerida para proveer la electricidad que necesita y espera la gente esconde su ineficiencia termodinámica en los motores y además proyecta una dimensión muy equivocada de la necesidad real de tecnologías de energía limpia porque lleva muy erróneamente a la conclusión que sustituir los combustibles fósiles requiere la misma cantidad de energía que la energía primaria que se ha requerido hasta ahora; como consecuencia de ello, las políticas centradas en maximizar la reducción de emisiones de carbono mediante modificaciones a la combustión

interna y captura de co2, podrían desalentar y desviar innecesariamente la inversión en energías renovables y electrificación. Sorprende que Bob Lobjorn no haya reparado en ello.

Nada de esto es nuevo para los investigadores y gestores energéticos, como nos lo recuerdan Rosenow y su equipo; La distinción entre energía primaria, final y útil está bien establecida y una parte de la literatura sobre escenarios llevan mucho tiempo evitando este error, pero en la discusión pública y política, se manejan las cifras de energía primaria como sinónimo de la demanda requerida; los indicadores de energía más populares se desarrollaron en un sistema energético dominado por los combustibles fósiles, en el que se considera “normal” que una parte importante de la energía de entrada se pierda como calor residual durante la combustión y la generación de electricidad como dando por hecho que la limitación termodinámica es la que dicta totalmente la práctica; pero esa no es la realidad tecnológica de las energías solar y eólica en el siglo 21, en el cual el avance científico es abrumador. Este error se debe a dos factores físicos que se asumieron como “Normales”: las pérdidas del lado de la oferta, que se producen cuando la energía primaria se convierte en electricidad y en combustibles refinados, y las pérdidas del lado de la demanda, que se producen cuando la energía final se convierte en servicios energéticos útiles en el punto de uso. Todo ello requiere una profunda revisión de la práctica de la ingeniería.

El lado de la oferta.

Actualmente, el 60 % de la electricidad mundial se genera a partir de centrales térmicas de combustibles fósiles, con una eficiencia media ponderada del 37 % para el carbón, del 49 % para el gas, del 40 % para el petróleo y del 40 % en todas las centrales eléctricas de combustibles fósiles. NO hay duda alguna que la mayor parte del combustible que se quema para generar electricidad termina convirtiéndose en calor residual y aunque la ingeniería se ha concentrado en aumentar la eficiencia se ha asumido que es casi imposible lograrlo más allá de lo logrado. “Por cada unidad de electricidad que una central eléctrica de combustibles fósiles envía a la red, se desechan aproximadamente una unidad y media en forma de calor a través de torres de refrigeración y chimeneas” justamente cuando necesitamos no alentar más el planeta. El viento, la energía solar y la energía hidroeléctrica generan electricidad

directamente sin combustión, lo que evita por completo estas pérdidas de conversión, porque lo realmente importantes para la verdadera utilidad de la electricidad es la cantidad total de electricidad generada, no las fuentes de energía primaria. Eso es una verdad evidente de mucha fuerza que debe cambiar la forma de pensar de la profesión de ingeniería.

Rosenow y su equipo nos recuerdan también que "un argumento recurrente es que la energía solar y eólica total disponible en el medio ambiente debería considerarse como energía primaria", lo cual además es brutalmente inconsistente con los métodos estadísticos establecidos. La AIE, siguiendo las Recomendaciones de la ONU para las Estadísticas Energéticas, define la energía primaria para la energía eólica, solar e hidroeléctrica como la electricidad generada en el punto de producción y por tanto, una correcta contabilidad de la energía solar y eólica incidente, exigiría aplicar el mismo principio a los combustibles fósiles para lograr una medición coherente y comparable totalmente; es decir, sólo alrededor del 6 % de la radiación solar se convierte en biomasa a través de la fotosíntesis, y solo un pequeño porcentaje de esa cantidad se transforma en combustibles fósiles a lo largo de escalas de tiempo geológicas. Un enfoque de este tipo inflaría enormemente las cifras de energía primaria de todas las fuentes de energía y haría imposibles las comparaciones significativas; lo que en cambio es relevante para lograr una comparación justa y objetiva, es medir la energía realmente producida frente al insumo de energía primaria usado directamente.

La demanda y la eficiencia eléctrica.

La falacia de la energía primaria no tiene en cuenta, ignora flagrantemente, las ineficiencias inherentes de la conversión de energía basada en combustibles fósiles y las importantes mejoras de eficiencia que se pueden lograr mediante la electrificación. "Muchas tecnologías de energía limpia, en particular las basadas en la electrificación directa, pueden ofrecer los mismos servicios energéticos o mejores, al tiempo que requieren una cantidad de energía mucho menor" según lo plantea el propio Rosenow, quien llama a esto la "*electroeficiencia*", o sea la ganancia de eficiencia que se obtiene al sustituir la combustión por tecnologías eléctricas, en lugar de mejorar las tecnologías de combustión que ya tenemos. Esto es

fundamental tanto en la lucha contra el cambio climático como en la economía de la energía.

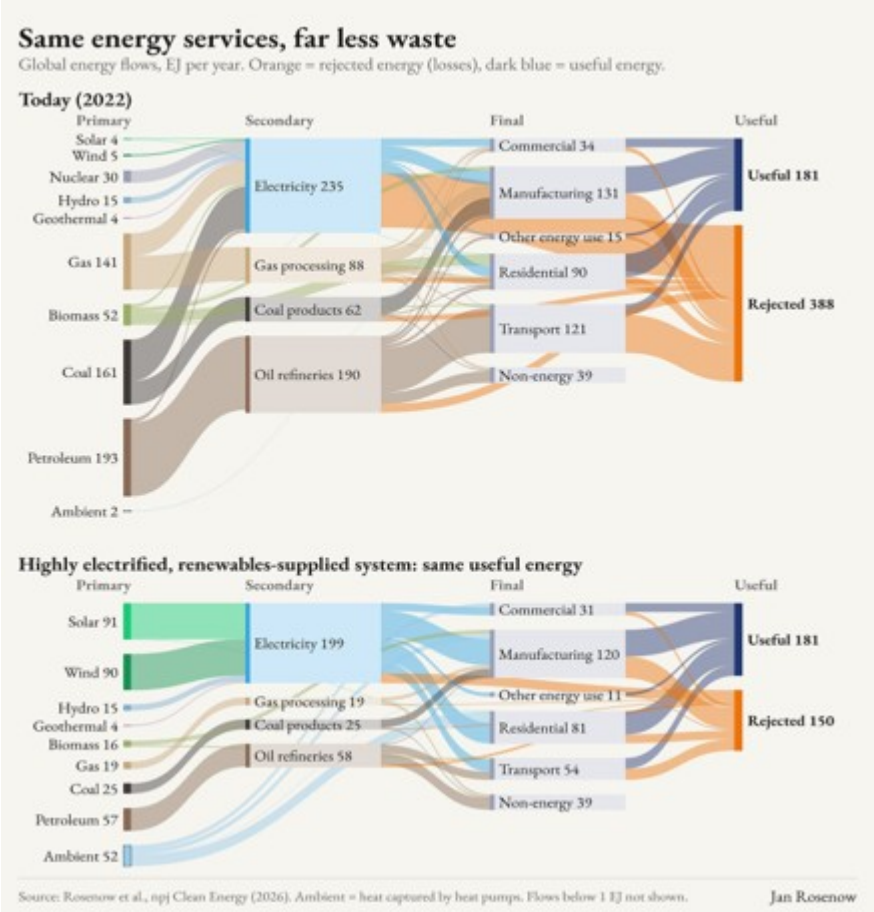
El ejemplo obvio acerca de lo anterior es la transición de los vehículos con motor de combustión interna a los vehículos eléctricos; mientras los vehículos de gasolina y diésel funcionan con una eficiencia media de alrededor del 20% al 30%, lo que significa que del 70% al 80% de la energía del combustible se pierde en forma de calor residual, en cambio, los vehículos eléctricos convierten la electricidad en movimiento con una eficiencia de alrededor del 70%, y el frenado regenerativo recupera alrededor del 22% de la energía gastada, lo que proporciona una eficiencia general de alrededor del 90%. Esto los hace aproximadamente tres veces más eficientes que los vehículos de combustión. Tanto técnica como económicamente este argumento es muy poderoso: podemos ahorrarle a la sociedad tanto dos terceras partes del costo económico directo del consumo energético, como eliminar las emisiones a la atmósfera, que son “externalidades” negativas no solo por la contribución al cambio climático, sino por los daños a la salud humana, a los cultivos y a los ecosistemas por la emisión no sólo de CO2, sino también de N2O, SF6, y numerosos otros gases como HFCs, todos con implicaciones muy serias.

Las edificaciones en las zonas con estaciones de frio y calor son otro factor fundamental: Las bombas de calor[1] pueden proporcionar la misma cantidad de calor útil con entre tres y cinco veces menos energía en comparación con las calderas de combustibles fósiles y sin emisiones atmosféricas negativas o un aire acondicionado, porque , en lugar de generar calor mediante la combustión, o frio mediante la compresión y descompresión de líquidos que se congelan a temperaturas menores que el agua, trasladan el calor ambiental o residual utilizando electricidad o el frio. La comparación es aún más marcada con las chimeneas y las estufas ineficientes, de las que todavía depende una cuarta parte de la población mundial.

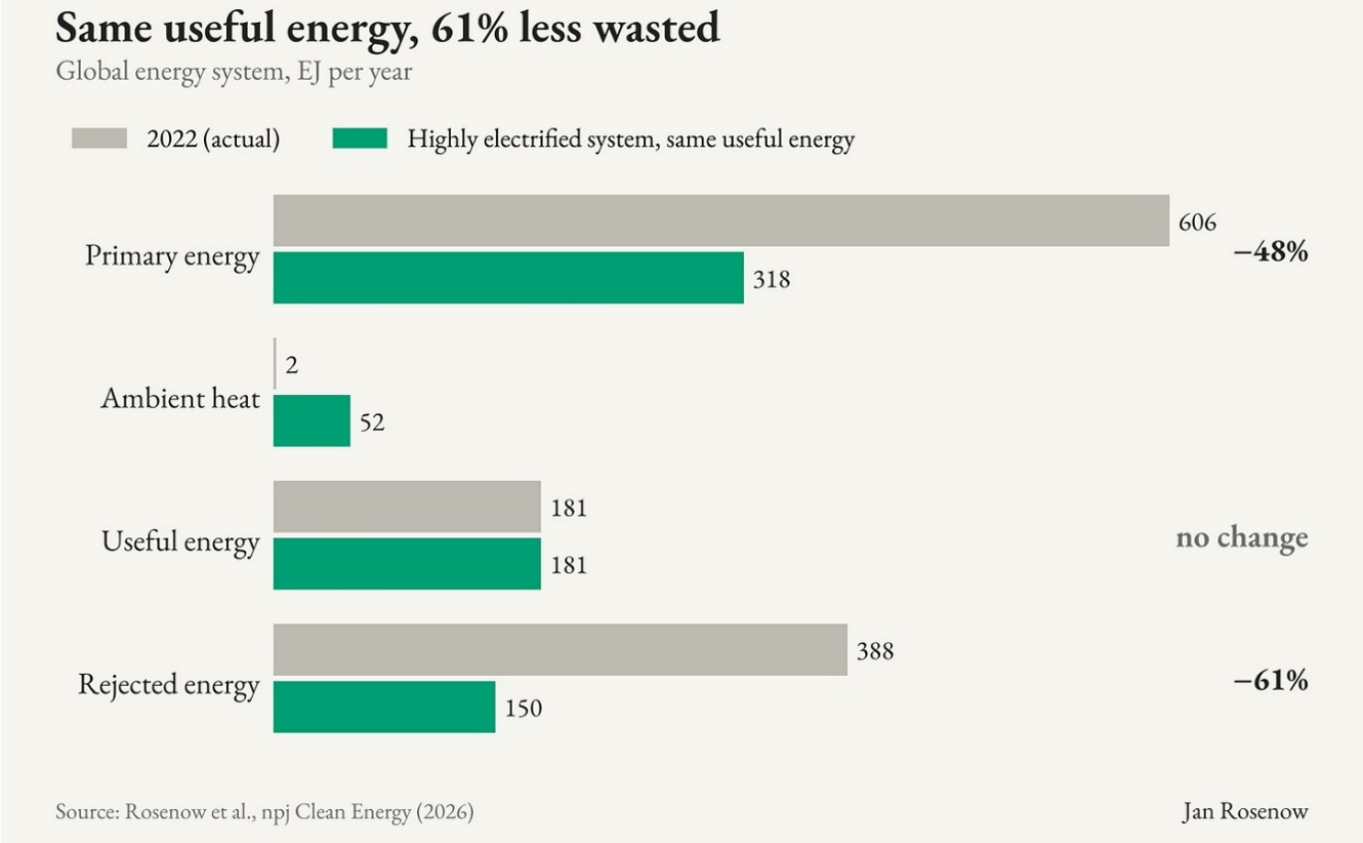
En el caso de la industria, se estima que más del 90 % del calor utilizado en los procesos industriales podría ser generado mediante electricidad. Los procesos de las industrias alimentaria, textil y química podrían adaptarse para utilizar bombas de calor de alta temperatura o calefacción eléctrica directa, y las bombas de calor industriales podrían reutilizar y mejorar el calor residual que actualmente no se aprovecha[2].

Jan Rosenow, Nick Eyre, Jeffrey Rissman, del Laboratorio Nacional Lawrence Livermore y Chelsea Bruce-Lockhart de Ember, elaboraron diagramas globales del flujo de energía basados en el marco del flujo de energía mundial del LLNL y los balances energéticos de la AIE, lo cual considero una contribución fundamental para la discusión actual, pues rompe la "falacia de las fuentes de energía". Los investigadores citados comparan el sistema actual basado en combustibles fósiles con un escenario altamente electrificado y simplificado que proporciona exactamente el mismo nivel de servicios de energía útil, pero sin la entropía del combustible fósil. Si bien, consideran que "no es una predicción ni una proyección, sino un experimento mental", tienen el rigor de utilizar tecnologías electrificadas solo para los usos finales en los que la electrificación ha demostrado ser comercialmente viable, y simulan el suministro de la electricidad adicional principalmente a partir de energía solar y eólica.

Los investigadores citados rastrean toda la cadena, desde la energía primaria hasta la energía final útil, e indican explícitamente la energía que se pierde en cada etapa. Además, añaden algo que los análisis del flujo de energía global no muestran generalmente que es el calor ambiental captado por las bombas de calor, lo cual considero un aporte no sólo novedoso sino crucial para el cambio necesario de análisis que requerimos, pues sin esto, el diagrama de Sankey[3] no conservaría la energía.



Al comparar los dos escenarios anteriores, sin y con mayor electrificación, los autores mencionados encuentran que, a pesar de que la energía útil (FINAL) producida no varía, las pérdidas a nivel de todo el sistema (energía disipada) disminuyen un 61 % cuando se logra electrificar. La contribución del calor ambiental captado por las bombas de calor aumenta aproximadamente veinte veces. Según la contabilidad convencional del balance energético, las entradas de energía primaria disminuyen un 48 %, o 288 EJ al año. Este nuevo enfoque debería ser adoptado, en mi opinión, como una base fundamental de nuestra política energética y de la enseñanza de ingeniería energética en el país, sin demora alguna.



Esta reducción refleja mejoras muy significativas en la eficiencia estructural, SIN disminución de los servicios energéticos. Nadie conduce menos, calienta menos ni fabrica menos cosas por el cambio de fuente energética si no hay una señal de precio; por el contrario, este cambio podría conducir a un mayor consumo energético para mejorar la dignidad y calidad de vida de los usuarios de la energía en países con marcada “pobreza” o inequidad, en la medida en la cual las señales de mercado e institucionales no propicien el desperdicio energético[4].

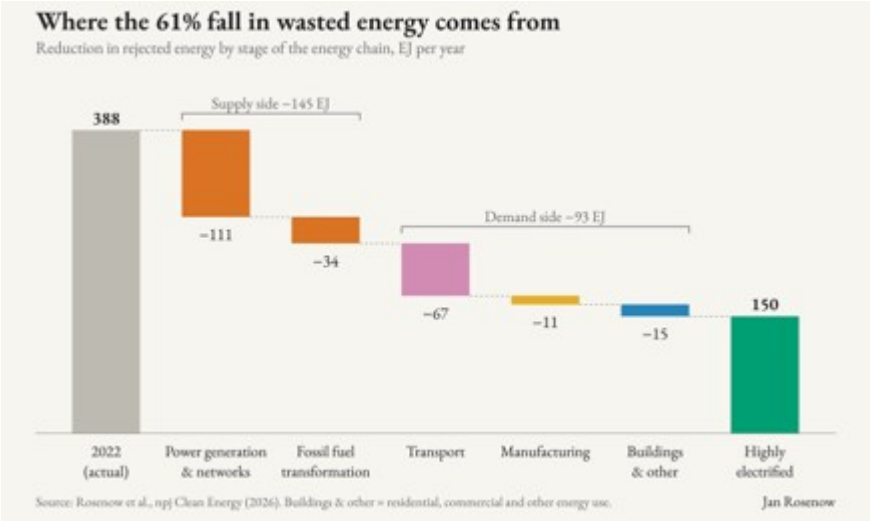
Reducción de Consumo y Ahorro Energético

Según Rosenow y sus colegas, “la reducción se debe principalmente a cuatro factores:

- En primer lugar, las pérdidas en la generación de electricidad (incluidas la transmisión, la

distribución y el almacenamiento) disminuyen en 111 EJ, pasando de 135 EJ a 24 EJ, ya que la generación de energía térmica se sustituye en gran medida por electricidad renovable. En el sistema actual, las pérdidas en las centrales eléctricas superan el consumo final total de electricidad.

- En segundo lugar, las pérdidas de energía en el transporte disminuyen en 67 EJ, pasando de 94 EJ a 28 EJ, lo que refleja la mayor eficiencia de los sistemas de propulsión eléctricos.
- En tercer lugar, el uso de la energía ambiental en edificios e industria aumenta de alrededor de 2 EJ a 52 EJ, ya que las bombas de calor sustituyen el calor ambiental de baja temperatura por las fuentes de energía primaria.
- En cuarto lugar, las pérdidas en otras transformaciones de combustible disminuyen en 34 EJ, pasando de 46 EJ a 12 EJ. Esta es la energía utilizada para extraer, procesar, refinar y transportar los combustibles fósiles: minería de carbón, producción de petróleo y gas, refinación de petróleo, producción de coque y oleoductos".



Fuente: Rosenaw et. Al., npj Clean Energy (2026)

Ambas caras son fundamentales: la Oferta o generación de la energía, como la Demanda o consumo de la energía para lograr el cambio general que podemos lograr. Las mejoras en el lado de la oferta se derivan de la forma en que se genera la electricidad. Las mejoras en el lado de la demanda se derivan de la forma en que se utiliza la energía. Como un punto

estratégico fundamental, los autores insisten en las Bombas de calor, que parecen pequeñas en el análisis porque su beneficio no se refleja en menores pérdidas, pues las bombas de calor utilizan calor ambiental gratuito, que aumenta de 2 a 52 EJ y sustituye a los combustibles fósiles y por ello requerimos profundizar mucho más en este tema en Colombia y el mundo.

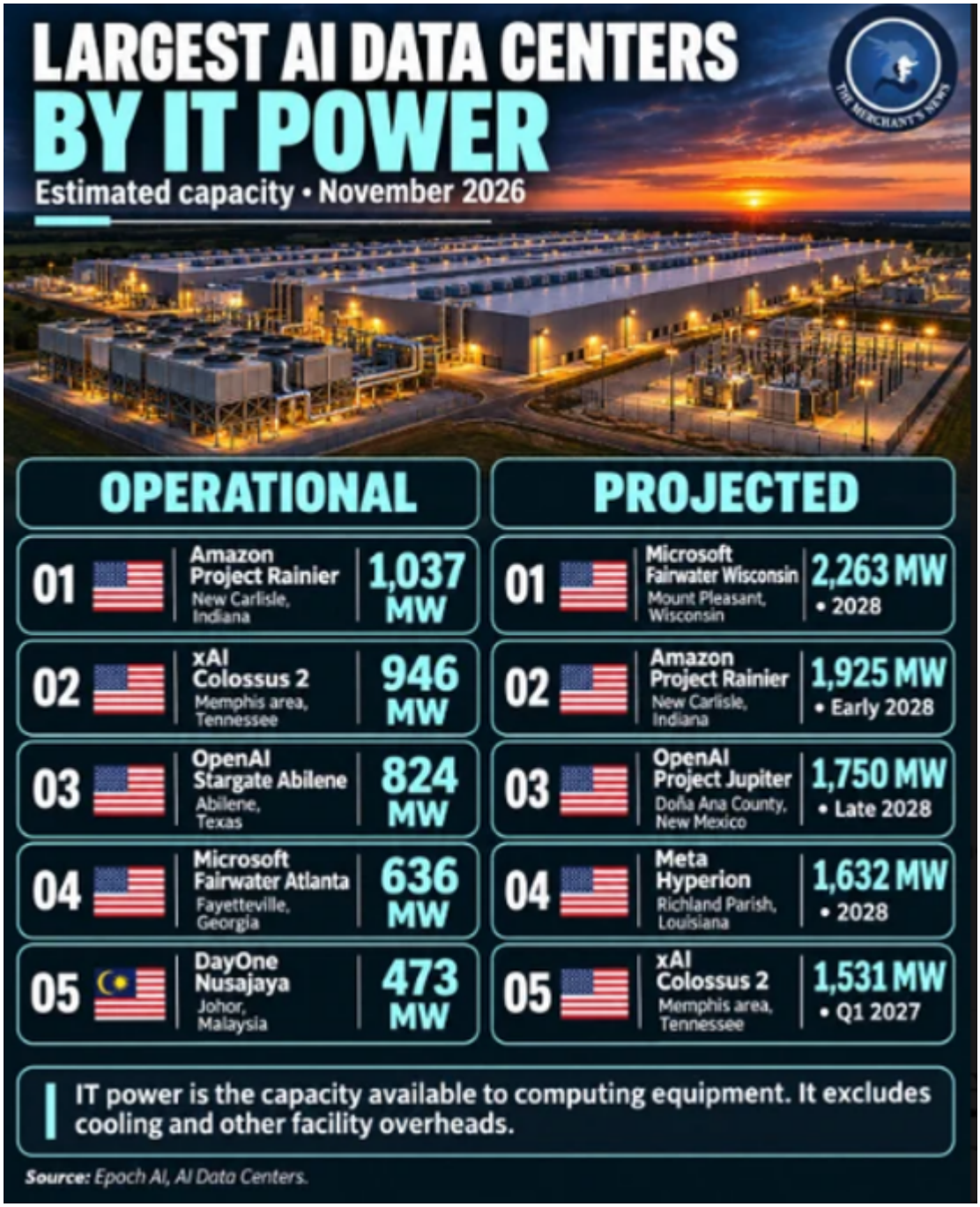
El efecto “rebote”

Los autores no desconocen que las mejoras en la eficiencia reducen el costo de los servicios energéticos y, por lo tanto, pueden inducir al aumento del consumo; lo cual se ha denominado por algunos autores el “efecto rebote”; sin embargo, aunque este efecto rebote es real, la evidencia no respalda el efecto contrario (la paradoja de Jevons) excepto en circunstancias específicas, según los autores. Señalan que el “efecto rebote directo para los servicios energéticos domésticos en los países de la OCDE es generalmente inferior al 30 %, y las estimaciones a nivel de toda la economía suelen compensar aproximadamente la mitad de los ahorros logrados mediante mejoras tecnológicas, en lugar de superarlos”; en los países en los cuales el índice de pobreza multidimensional energética es alto, este aumento de consumo energético pero logrado con mayor eficiencia energética es positivo pues resulta en mejoría real y sustantiva de la calidad y dignidad de la vida.

Una nueva demanda: Los centros de Datos de la IA

De manera crítica, no podemos desconocer la llegada de los Centros de Datos que significa un aumento enorme de demanda real que influye tanto en los precios de la electricidad por la necesidad de generación como de trasmisión y distribución y que afecta a las comunidades que las aceptan y acogen, como también por la generación; el cuadro siguiente, demuestra las magnitudes reales o esperadas de los centros de datos en construcción o proyectados en Estados Unidos, algunos de los cuales se basan en el consumo de gas, garantizado por el “fracking”. Por ello, se requiere un análisis profundo acerca de su posible localización y efectos precisamente en temas como los de calentamiento y de ruido generado por los sistemas de enfriamiento,-pues la demanda de agua y energía y la

disrupción de la tranquilidad y condiciones de vida alrededor de estos está resultando en rechazos generalizados-, y en el costo de la energía eléctrica, que depende de las fuentes energéticas que se escojan. Si bien la Inteligencia artificial y su demanda de centros de datos es ya una realidad, la sociedad debe discutir a fondo estos temas, sobre los cuales volveremos próximamente, pues su significado transciende enormemente los reclamos sobre estos factores, ya que afecta el futuro de la humanidad. Como referente, toda Colombia tiene instalados alrededor de 24 GWs de potencia, entre las Hidroeléctricas, termoeléctricas a carbón, diesel y gas y las renovables, que estarían aportando alrededor de 4 GWs si todo lo programado entra en operación.



En síntesis, los “efectos de rebote” conducen al aumento de la demanda de servicios energéticos, – lo cual hay que analizar en cada contexto socioeconómico-, mientras que la electrificación reduce la cantidad de energía primaria necesaria para proporcionar dichos

servicios, y también,- de manera fundamental, sus implicaciones en el cambio climático y la calidad ambiental-. Es cierto que una mayor demanda de calefacción o movilidad pueden aumentar el consumo de electricidad por un costo menor por un menor consumo, pero no anulan las mejoras reales y positivas del aumento radical de la eficiencia energética y disminución de su contribución al calentamiento climático y a la calidad ambiental, logradas al sustituir las tecnologías de combustión por tecnologías eléctricas.

En el caso de Colombia, frente al fenómeno de El Niño y la disminución de agua para las centrales hidroeléctricas, la posibilidad de racionamiento y la necesidad de compra internacional de UT-, un escenario específico de altos costos de suministro eléctrico también por la necesidad de usar combustibles fósiles tanto en la termoeléctricas como en plantas de emergencia a diesel. Además, según los mismos autores, “los multiplicadores de eficiencia dejan un amplio margen: con un coeficiente de rendimiento de una bomba de calor de tres a cuatro, la demanda de calefacción podría aumentar a la mitad y la energía primaria para ese servicio seguiría disminuyendo considerablemente”.

Los autores aclaran que “ (e) l sistema electrificado es una representación estilizada de un escenario hipotético, no una solución completa para alcanzar las emisiones netas cero. Mantenemos la energía útil constante y no incluimos opciones como el hidrógeno para los sectores en los que es difícil reducir las emisiones”. La integración de grandes cantidades de energías renovables variables requiere una expansión considerable de la red eléctrica, flexibilidad en la demanda y almacenamiento estacional si no se considera adecuadamente el almacenamiento tanto distribuido como independiente; Si bien incluyen las pérdidas de almacenamiento, no lo hacen con un alto nivel de detalle, cuestión que está cambiando aceleradamente por los avances disruptivos en Baterías[5].

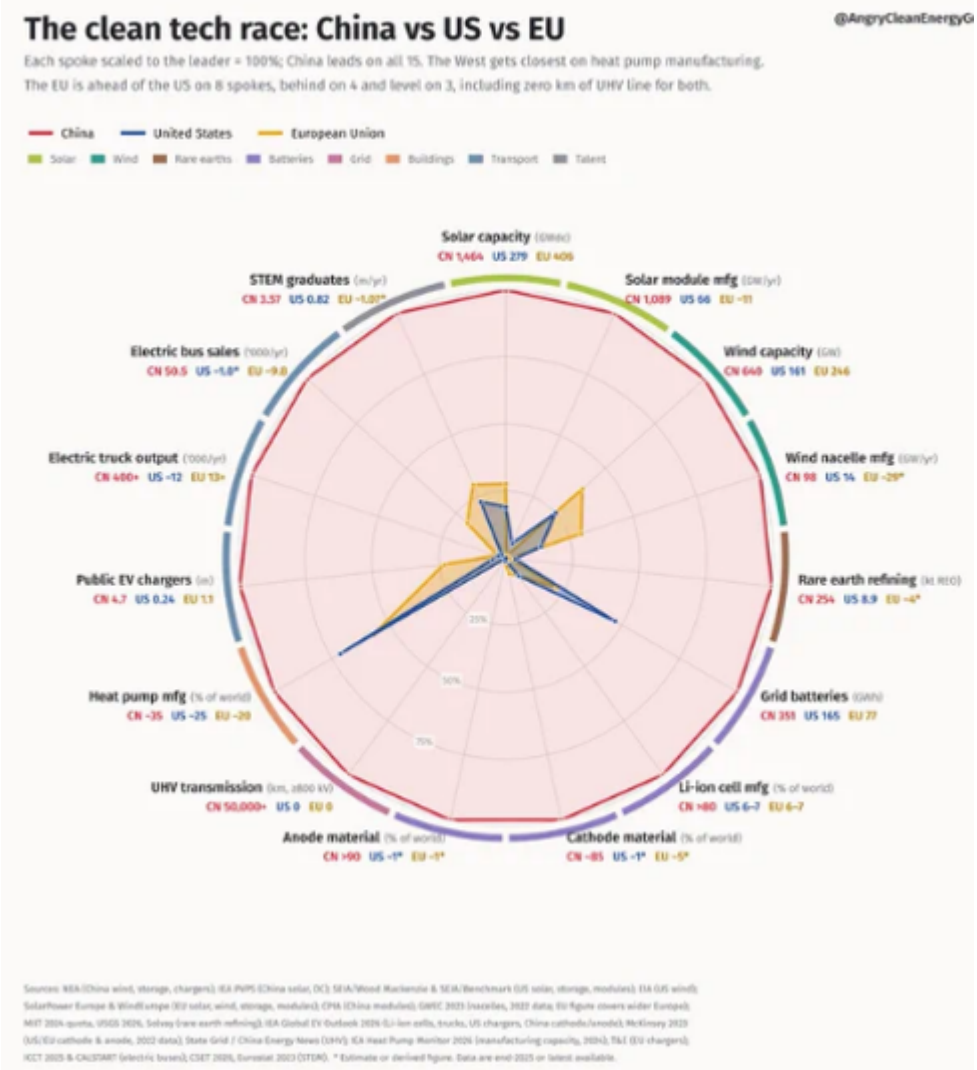
Los materiales, el uso de la tierra, la minería y el transporte son factores importantes, aunque la evidencia sugiere que un sistema basado en energías renovables requerirá (Cada vez) menos minería y menos transporte que el sistema de combustibles fósiles actual”. Sin embargo, no debemos desconocer la enorme flexibilidad de la energía solar y almacenamiento en baterías, que permiten soluciones rápidas, por el sector privado e incluso

los consumidores individuales; En Ecuador, el gobierno emitió la directiva de que cada industrial o empresario debería solucionar “como fuera” su problema de racionamiento eléctrico y obligó a la adquisición,-una vez más de generadores de emergencia a diesel, desconociendo la oportunidad de una acción más coordinada en la cual los incentivos tributarios, la disposición de líneas de crédito blando y la apertura a tecnologías solares y de almacenamiento de disponibilidad inmediata, aunque parece ser que ya están apareciendo una legislación y normativas que proveen incentivos y facilitan la adquisición y adopción de sistemas de energías renovables especialmente de energía solar con baterías.

La implementación solar e incluso la eólica, pueden llevarse a cabo lo suficientemente rápido, lo cual “depende del capital, las cadenas de suministro, los permisos, las redes y la aceptación pública”. Si bien los autores no abordan el tema, lo que sí establece el análisis es que una de las objeciones más citadas, que es la de que “un sistema electrificado y abastecido con energías renovables tendría una huella energética primaria demasiado grande e inmanejable”, no es válida para nada pues, como lo está demostrando la experiencia internacional es todo lo contrario. La revisión del artículo señala que las cifras exactas dependen de las hipótesis y pueden variar en algún porcentaje, pero la dirección y la magnitud son consistentes.

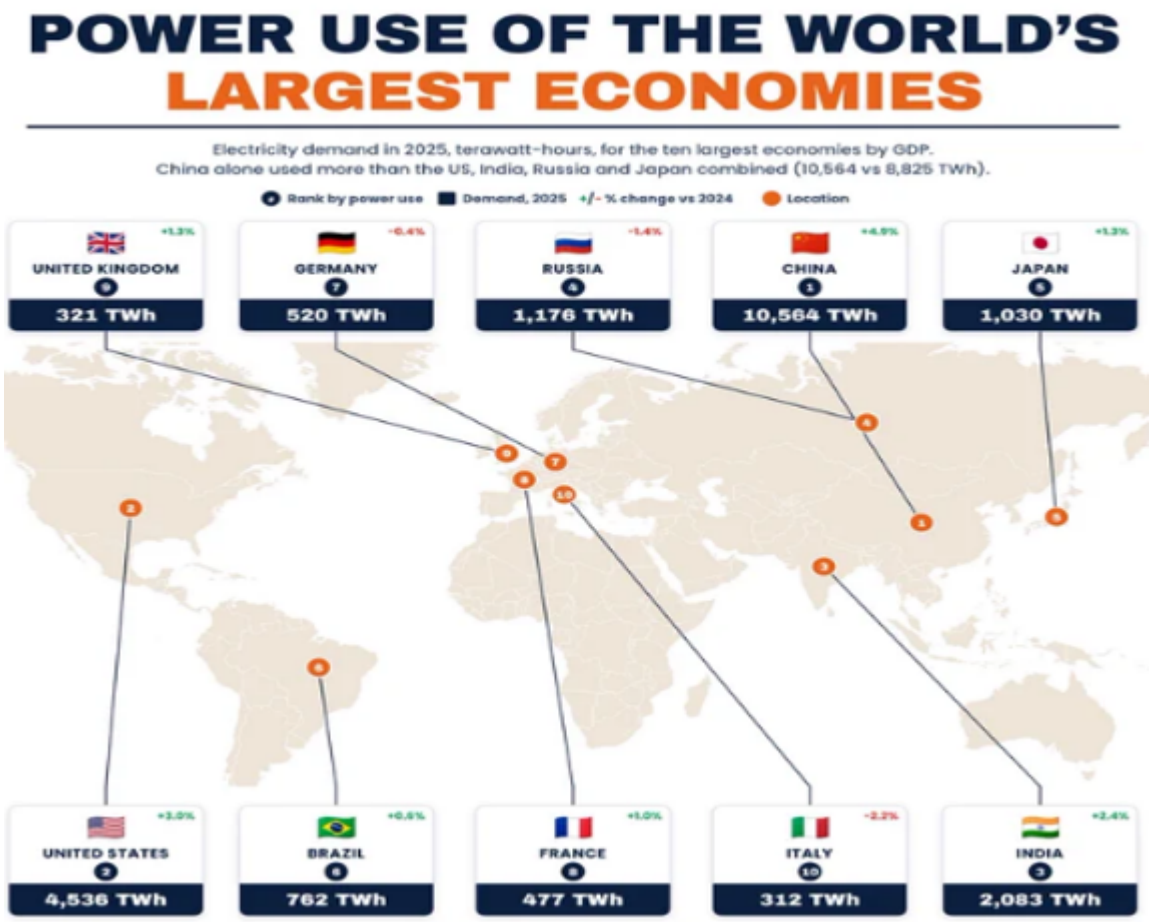
En lo que respecta a la oferta, se derivan directamente de la diferencia entre la eficiencia de conversión térmica, que es de aproximadamente el 40 %, y la de las energías renovables no combustibles, que es de aproximadamente el 100 %. En lo que respecta a la demanda, se derivan de las tasas de eficiencia en el uso final de bombas de calor, vehículos eléctricos y calor industrial, que se observan empíricamente en lo que ya está en el mercado y son muy buenas; adicionalmente, todas las tecnologías se pueden adquirir fácilmente.

La diferencia actual en tecnología y en políticas



El cuadro que se muestra arriba es dramático en referencia a la diferencia tecnológica de las energías renovables actualmente si comparamos China, Estados Unidos y la Unión Europea. Como se aprecia en los quince factores críticos de las tecnologías solar, eólica, bombas de calor, tierras raras, materiales de ánodos y cátodos, trasmisión, cargadores, camiones, buses, vehículos ligeros, ect., mientras la China está en 100% , los Estados Unidos y la Unión Europea sólo alcanzan una fracción de ello en las baterías de red y la manufactura de bombas de calor, que son imprescindibles para la lucha contra el cambio climático. Este es un llamado de atención profundo, severo ante la falta de atención e interés aparente frente al reto más crítico del siglo 21. La tabla siguiente es abrumadora en relación con el consumo

de energía eléctrica de las economías más grandes del mundo actualmente, y explica el resultado de invertir sin parar en investigación, desarrollo tecnológico e innovación en los temas estratégicos de la energía solar y eólica por ejemplo, como se observa en el diagrama siguiente, en el cual China más que duplica el consumo de los Estados Unidos y sólo sumadas las nueve economías diferentes a China, la superan un poco: Mientras China consume 10564 TWh, los nueve restantes sumados llegan a 11217 TWh.



La reducción de las pérdidas de energía a nivel de todo el sistema es uno de los cambios estructurales más importantes en el sistema energético cuando este se electrifica con energía renovable y es necesario que llevemos este tema ya al debate público y a las políticas. Las métricas de energía primaria incorporan supuestos adecuados para los

sistemas basados en combustibles fósiles pero se vuelven cada vez más engañosas a medida que avanza la electrificación. El mismo Rosenow compara varias estimaciones de los mismos servicios energéticos, menos energía primaria: Griffith (EE.UU.): 47% CCC (Reino Unido): hasta 40% ETC (global): más del 50% el del equipo de Rosenow (global): 48% Un sistema electrificado necesita alrededor de la mitad de la energía que el actual basado en energías fósiles. La transición es más pequeña de lo que parece; la buena ingeniería y el cambio cultural, basado en el respeto a la ciencia y el conocimiento son fundamentales.

Deberíamos priorizar las pérdidas del sistema y la energía útil como unidades reales de medida en la práctica de la buena ingeniería del siglo 21; la transición es fundamental pero sus dimensiones reales no son tan grandes como lo que el sistema actual de combustibles fósiles hace creer. La electrificación con energías renovables es mucho más rápida y menor en dimensiones porque es mucho más eficiente y sobre todo fácil de instalar y operar; la decisión más inteligente y estratégica es acelerar radicalmente la energía solar con baterías, como la opción más económica, rápida, sencilla y accesible. La India está recorriendo un camino muy interesante, que aprende del de China. Debemos aprender estratégicamente de ellos.

---

[1] Una bomba de calor es un sistema termodinámico que transporta energía térmica de un lugar a otro en lugar de generarla, mientras que un aire acondicionado convencional solo enfría extrayendo calor del interior y expulsándolo al exterior de un artefacto: En el caso de la refrigeración convencional, un fluido refrigerante que cambia de estado de líquido a gas y viceversa, el refrigerante absorbe el calor del interior del espacio que se quiere enfriar a través de un serpentín de evaporación y lo transporta hacia el exterior donde lo libera al ambiente. En modo calefacción , en invierno, gracias a la válvula de inversión, se revierte el sentido del refrigerante, cambiando el ciclo que ahora absorbe el calor disponible en el aire exterior y o transfiere al interior del contenedor o vivienda. La bomba de calor funciona en ambos sentidos, entregando varias (4 Kw) unidades de energía térmica por cada unidad (1 Kw) de energía eléctrica consumida, siendo más eficientes que los aires acondicionados.

[2] Mismo artículo de Rosenow y Colegas

[3] Los diagramas de Sankey llevan el nombre del capitán irlandés Matthew Henry Phineas Riall Sankey, quien utilizó este tipo de diagrama en 1898 en una publicación sobre la eficiencia energética de la máquina de vapor.[1] Las primeras cartas en blanco y negro se utilizaron simplemente para mostrar un tipo de flujo (por ejemplo, vapor). Más adelante, se incluyó el uso de colores para diferentes tipos de flujos, lo que añadió más grados de libertad a los diagramas de Sankey. Uno de los diagramas de Sankey más famosos es el mapa de la campaña de Napoleón en Rusia de 1812. Se trata de un diagrama de flujo, superponiendo un diagrama de Sankey en un mapa geográfico. Fue creado en 1869 por Charles Minard. Los diagramas de Sankey se suelen utilizar para visualizar las transferencias de energía, material o coste entre procesos, a través de flechas que muestran la pérdida o dispersión por transferencia. También se utilizan para visualizar las cuentas de energía o de flujo de materiales a nivel regional o nacional. Este tipo de diagramas pone un énfasis visual de las transferencias importantes o flujos dentro de un sistema, y son de gran ayuda en la localización de las contribuciones dominantes para un flujo total. A menudo, los diagramas de Sankey muestran cantidades conservadas dentro de los límites de un sistema definido, típicamente energía o masa, pero también se puede utilizar para mostrar los flujos de cantidades no conservadas tales como exergía; estos últimos se llaman diagramas de Grassmann.

[4] Sobre este tema debemos discutir mucho más en Colombia.

[5] Los avances en las baterías de estado sólido, de cloruro de sodio y de otras combinaciones de litio con hierro y otras sustancias son dramáticos.

Carlos Hildebrando Fonseca Zárate, *Fuente inicial: Artículo "La falacia de la energía primaria en las transiciones energéticas", publicado en npj Clean Energy (DOI: 10.1038/s44406-026-00055-3).*

Foto tomada de: DW News