

NO TODO SON NUBARRONES EN EL MUNDO DE LA GENERACIÓN ELÉCTRICA

Introducción

Últimamente estamos muy preocupados con la energía en general y con la electricidad (la luz, coloquialmente) en particular. Lo cierto es que tenemos buenas razones para ello. El impacto de los combustibles fósiles en el cambio climático viene de lejos y el alza de los precios arrastrada por el efecto de la pandemia y después por la guerra de Ucrania lo estamos sintiendo en la factura doméstica de la electricidad y en el surtidor de gasolina. Además, la aparición de la inflación súbita y amenazadora por su magnitud que induce el precio de la energía también contribuye a nuestras preocupaciones.

Pese al escenario sombrío yo creo que el problema energético va por buen camino y que tenemos por delante un futuro de energía abundante, barata y limpia. Eso está bien, aunque tardará unos cuantos lustros y, mientras tanto, tendremos que rascarnos el bolsillo, sin descartar que echemos mano de la leña en invierno.

Para aclarar la situación actual y su posible evolución a lo largo de los próximos años paso a compartir algunos datos interesantes que pueden encontrarse fácilmente en la web de Red Eléctrica Española y en otras fuentes sobre la generación y consumo de hidrógeno.

En la tabla de abajo puede verse la composición simplificada de las fuentes de generación eléctrica en España y también la efectividad de estas fuentes (lo que aparece como % sobre generación). Así, por ejemplo, la energía nuclear supone el 6,4% de la capacidad instalada, pero el 21% de la electricidad generada, mientras que no sorprendentemente el peso de la electricidad de origen solar es muy inferior al de su capacidad instalada.

CAPACIDAD INSTALADA	MW	% sobre instalado	% sobre generación
Eólica	29.295	26,2%	23,5%
Solar	18.480	16,5%	10,0%
Hidráulico	17.094	15,3%	11,5%
Nuclear	7.117	6,4%	21,0%
Cogeneración y residuos	7.322	6,6%	13,2%
Origen fósil	32.423	29,0%	20,8%
Total	111.731	100,0%	100,0%

¿Cuál es la demanda agregada de electricidad en España? Pues depende del tramo horario, del día de la semana y de la época del año. Esto tiene mucha importancia a la hora de determinar qué fuentes de generación se utilizan en cada momento y para intuir cómo pueden evolucionar en el futuro. El gráfico de abajo sirve para ilustrar la demanda eléctrica en cuatro días del año coincidentes con el cambio de estación.

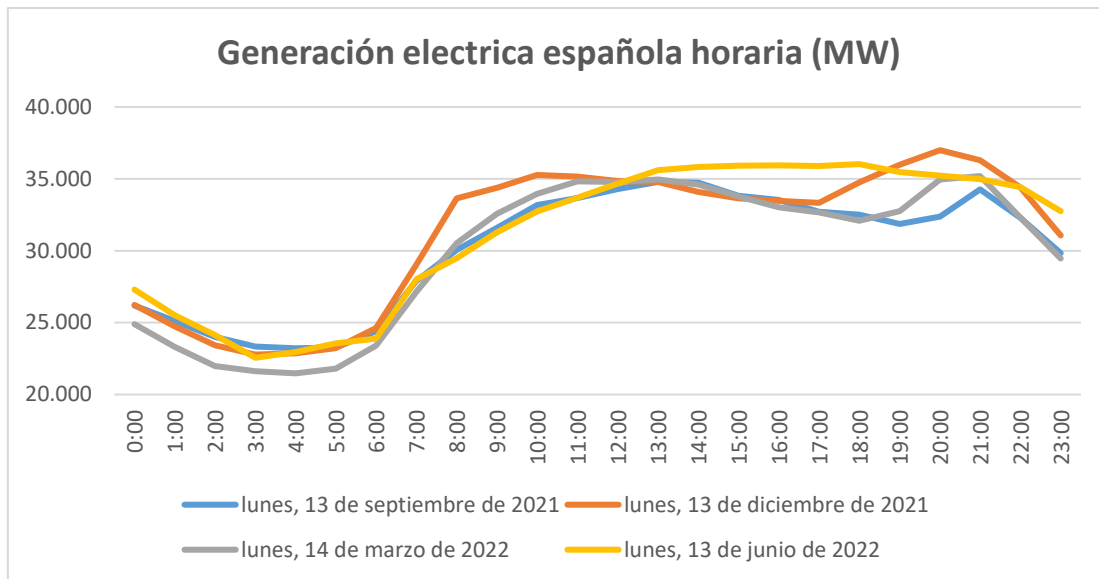


Gráfico 1

Como se ve, hay horas valle alrededor de las 4:00 y horas pico a última hora de la mañana, pero también a primera hora de la noche. Aquí se nota mucho la diferencia entre las distintas épocas del año. Siempre hay un pico coincidiendo con la actividad laboral e industrial, pero, especialmente en invierno, hay un pico claro hacia las 20:00-21:00, cuando ya estamos en casa con calefacción, iluminación, cenas y, tal vez, con tareas domésticas que implican la utilización de electrodomésticos. Este segundo pico nos determina la capacidad instalada que necesitamos, teniendo en cuenta, además, que la componente solar está escasamente disponible en ese momento.

Mix de generación eléctrica

Con esta introducción ya podemos pasar a ver con qué fuentes de generación se cubren nuestras necesidades eléctricas. Para ello he supuesto que en términos de demanda el día medio anual es la media entre los cuatro días reflejados en el gráfico de arriba.

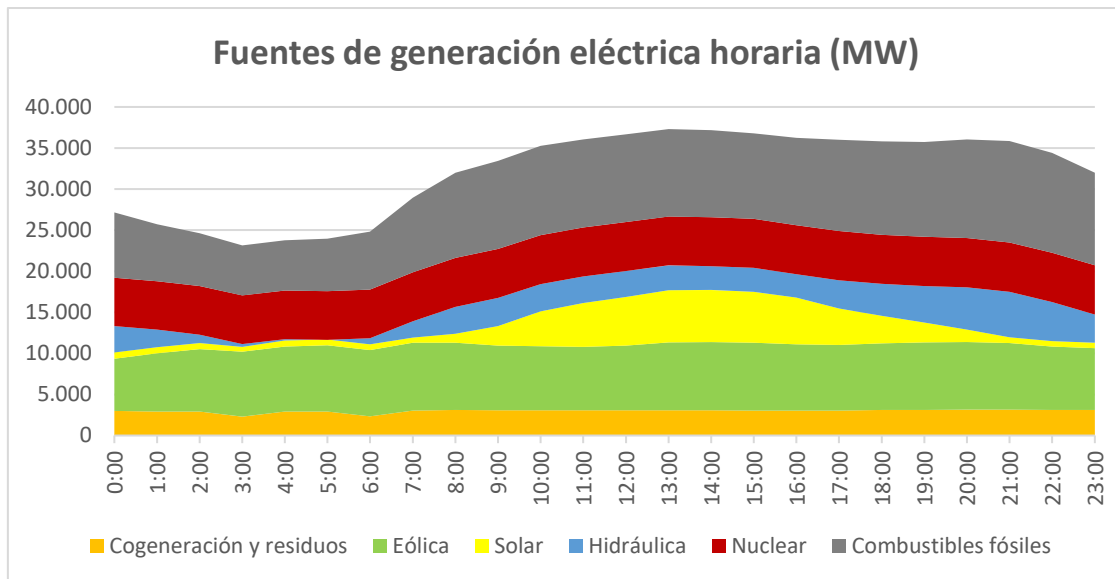


Gráfico 2

En este último gráfico hay algunos elementos interesantes en los que merece la pena profundizar para extraer conclusiones posteriores; a saber:

1. *Cogeneración y residuos.* Es muy estable. Aquí se trata de utilizar residuos de distinta índole como combustible y está muy vinculado a la actividad industrial que genera tales residuos. Es muy eficiente y genera el equivalente al 53% de su capacidad instalada, esto es, como si estuviera generando electricidad a plena capacidad el 53% del tiempo.
2. *Eólica.* También es muy estable, al menos a lo largo de un período anual, aunque varía bastante según la época de año. Puede pensarse lo contrario porque la generación depende del viento, que es caprichoso. Sin embargo, los molinos están distribuidos por toda la geografía nacional, en zonas cercanas al mar, en zonas de montaña y en zonas mesetarias, con una granularidad tal que facilita la estabilidad. Genera el equivalente al 24% de su capacidad instalada, justamente por su amplia distribución geográfica en molinos que individualmente tienen una potencia pequeña.
3. *Nuclear.* Muy estable. Las centrales nucleares tienden a funcionar siempre a plena potencia, salvo en los períodos de recarga de combustible (un par de meses cada 18 meses). Genera el equivalente al 87% de su capacidad instalada.
4. *Hidráulica.* Responde al ciclo anual de pluviosidad y también a las necesidades de los regantes. Es muy fácil ajustar la potencia abriendo o cerrando el “grifo” para que caiga más o menos agua y mover así las turbinas. Genera el equivalente al 20% de su capacidad instalada.
5. *Solar.* Dependiente del horario diurno que, además, es muy previsible. Se ve que para el día medio la generación eléctrica se centra entre las 9:00 y las 19:00, reduciéndose prácticamente a cero fuera de esa franja. Es cierto que sirve muy bien para cubrir las horas pico de la mañana, pero no para el pico de la primera parte de la noche. Genera el equivalente al 16% de su capacidad instalada.
6. *Combustibles fósiles.* Aquí topamos con una de las bestias del cambio climático por la emisión de dióxido de carbono (CO₂). Se regula bien la potencia en función de la

demanda. Pese al desarrollo de las energías solar y eólica todavía tiene un importante peso en el mix eléctrico español. Su participación en horas valle se reduce bastante, pero aumenta mucho especialmente a primera hora de la noche, cuando ya no se dispone de las fuentes solares y se alcanza el pico de demanda. Genera el equivalente al 19% de su capacidad instalada. Puesto que aquí no hay dependencia respecto a las incidencias diarias de la naturaleza, este dato tan bajo indica que hay una amplia capacidad ociosa que se compensa con otras fuentes de energía más baratas y menos dañinas para la naturaleza.

Qué mix de generación eléctrica nos interesa

Puestos a pedir, querríamos generar energía eléctrica de fuentes no contaminantes y con coste marginal cero (hidráulica, eólica y solar) que nos permitieran generar hidrógeno (H₂) con el exceso disponible, especialmente en horas valle. El H₂ así generado (verde por su origen) podría utilizarse para el transporte o para la generación eléctrica. Esto nos permitiría disponer de energía abundante, barata y no contaminante.

La forma de generar H₂ es mediante el proceso de hidrólisis por el que se separa el hidrógeno del oxígeno del agua. Este proceso consume energía y, de ahí, la conveniencia de tener otras fuentes de generación eléctrica con capacidad en exceso, al menos en horas no pico, cuyo coste marginal sea nulo.

La energía nuclear no es de coste marginal cero, pero lo cierto es que su componente marginal (el combustible) es relativamente bajo frente a sus costes fijos y, desde luego, muy inferior al de los combustibles fósiles. También hay que señalar que aunque dependamos de otros países para el suministro del uranio enriquecido no se requiere un flujo constante de combustible, al contrario de con el gas y el petróleo. Además, el mineral de uranio está muy distribuido en el planeta y los países con capacidad de enriquecimiento del isótopo fisible (U²³⁵) están política y culturalmente cercanos a nosotros. Pese a lo anterior, resulta difícil imaginar un futuro en el que, al menos en España, renazca la energía nuclear. No hay voluntad política y tampoco las compañías eléctricas parecen tener interés en incurrir en grandes inversiones a muchos años (del orden de 15 años), con el riesgo que ello implicaría.

Aquí es interesante recordar que el Parlamento Europeo considera como verdes a la energía nuclear y al gas. La primera no genera gases invernadero, ni en circunstancias normales libera ninguna otra sustancia contaminante; el segundo se acepta como verde siempre que sea en sustitución de otras fuentes más contaminantes, de modo que se promueva la reducción neta de emisiones de gases invernadero (CO₂). En cualquier caso, creo que esta última discusión es irrelevante en España porque no veo viable el incremento del parque nuclear (sí la previsible ampliación de la vida útil de las centrales actualmente en funcionamiento) y ya estamos muy bien dotados de centrales de ciclo combinado que utilizan gas (23% de la capacidad instalada, pero con un 17% de la generación y un funcionamiento del 19% del tiempo).

Escenarios teóricos futuros

A partir de aquí veamos cómo puede evolucionar el mix de generación eléctrica y cuáles pueden ser sus implicaciones. Para ello utilizaré varios escenarios teóricos, haciendo notar de antemano que todos ellos se refieren al día medio, pero no a cualquier día del año, y que no

estoy asumiendo un crecimiento en la demanda, aunque creo que las conclusiones siguen siendo válidas.

Para estos escenarios no entro en los costes de instalación ni en el tiempo que sería necesario para disponer de la necesaria capacidad instalada y de su distribución, como es el caso del H₂. Quiero hacer notar que los escenarios que presento implican una ampliación masiva de los parques eólico y fotovoltaico actuales, con la inversión que ello acarrearía y también con la necesidad de disponer de los materiales necesarios para su fabricación.

Escenario 1: Ampliación del parque eólico (Gráfico 3)

En este escenario se asume que aumenta la generación eólica todo lo necesario para eliminar de nuestras vidas la generación eléctrica mediante combustibles fósiles. Concretamente, sería necesario multiplicar la capacidad de generación eólica por 2,6, esto es, aumentar la generación eólica en un 160%, con las implicaciones paisajísticas y de disponibilidad de ubicaciones eficientes que esto acarrearía, salvo que desarrolláramos la energía eólica marina, cuyos costes de construcción son superiores.

En el gráfico 3 se ve una línea negra discontinua que muestra el perfil de la potencia horaria del día medio. Se observa que el pico de las 21:00 (Gráfico 2 arriba) coincide con la máxima generación en este escenario, pero que a lo largo del resto del día se genera más energía eléctrica que la necesaria. Esto se debe a que bajo este escenario se aumenta la capacidad instalada de energía eólica hasta el punto en que se elimina la necesidad de la de origen fósil, existiendo un excedente gratuito en otras horas, esto es, si tenemos la capacidad instalada y el combustible eólico (el viento) es gratuito lo lógico es utilizarlo.

La siguiente pregunta es qué hacemos con ese excedente. Podríamos reducir la generación de electricidad de otras fuentes, pero con el mix resultante de este escenario sólo podría tener sentido reducir la contribución hidráulica en el caso de que queramos mantener agua embalsada para mejores momentos por otros motivos. Otra posibilidad es utilizar ese exceso de generación para generar H₂. Podría considerarse que éste caería bajo la denominación de H₂ verde porque se generaría con fuentes de energía verde. Si seguimos esta opción podríamos generar 420MM de litros de H₂ al año (se requieren 57Kwh para generar un litro de H₂ mediante hidrólisis) si tuviéramos suficiente capacidad de hidrólisis. Este H₂ podríamos utilizarlo para generar 14.000 GWh (33 kwh por litro de H₂) en una inexistente hidro-central, equivalente a unos 18 días por año de consumo eléctrico en España. También podríamos utilizar ese H₂ para mover 2,8MM de vehículos con pila de hidrógeno (1 litro H₂/100 km y 15.000km/año) que cargarían combustible en las también inexistentes hidrolineras.

Así pues, el exceso de capacidad instalada para generación eléctrica nos permitiría varias opciones muy interesantes.

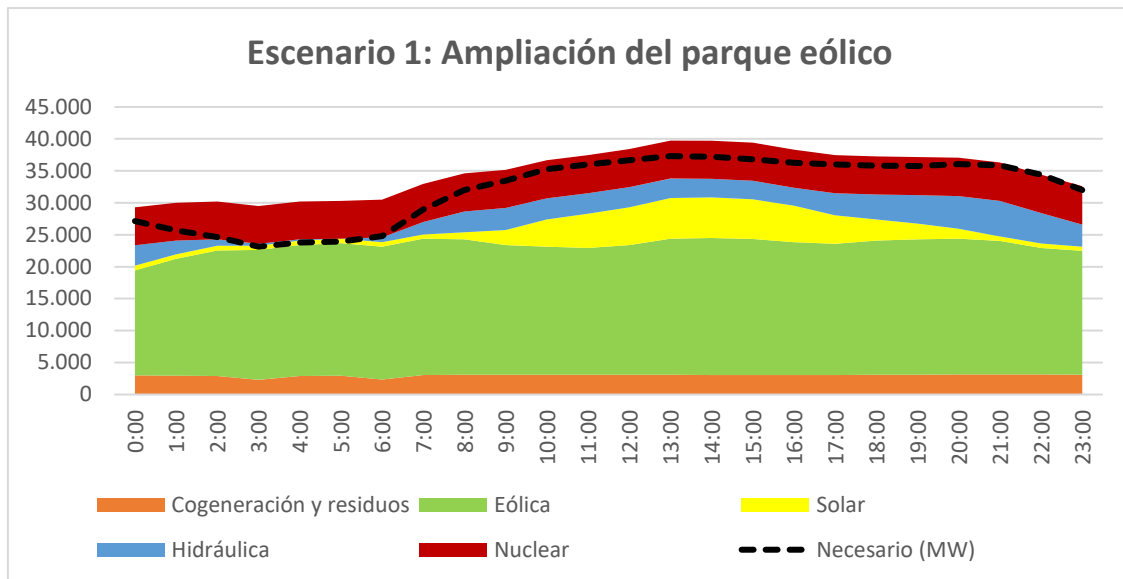


Gráfico 3

Escenario 2: Eólica + fotovoltaica residencial (Gráfico 4)

En este escenario hay una novedad interesante que he llamado *Fotovoltaica residencial*. Me refiero a los paneles que ya se están instalando y se ven en los tejados de muchas casas unifamiliares y que tienen una potencia instalada de 4kw por vivienda aproximadamente. No obstante, también se han empezado a instalar en edificios de apartamentos, aparte de en instalaciones industriales o de otro tipo. He supuesto que una cosa con otra hay potencial para 2 kw por hogar, habiendo en España 17,8MM de hogares. Esta capacidad adicional fotovoltaica aumenta la producción diurna, pero no contribuye a la eliminación de la generación fósil en el pico de primera hora de la noche; así pues para un escenario en el que también se tenga el objetivo de eliminar la generación fósil continuaría siendo necesaria la misma potencia eólica que en el Escenario 1. Aquí procede hacer algún comentario sobre la posibilidad de instalar baterías. Es cierto que desde el punto de vista del usuario tiene sentido porque durante la noche puede consumir la energía almacenada que generaron sus paneles durante el día, cuando posiblemente el consumo doméstico es escaso; sin embargo, desde el punto de vista global las baterías no se justifican porque drenaría la generación diurna cuando existe una gran demanda, aunque no sea en el consumo doméstico, o cuando se puede utilizar el exceso para la generación de H₂.

Este escenario es igual que el Escenario 1 en horario nocturno, pero la generación diurna es muy superior. Igual que en el Escenario 1 y sin repetir las mismas explicaciones se podrían generar 1.100 MM de litros de H₂ y tendríamos las siguientes alternativas:

- Tener en circulación unos 7,3 millones de vehículos movidos por una pila de H₂
- Generar 36.000 GWh, equivalente a 47 días de consumo por año

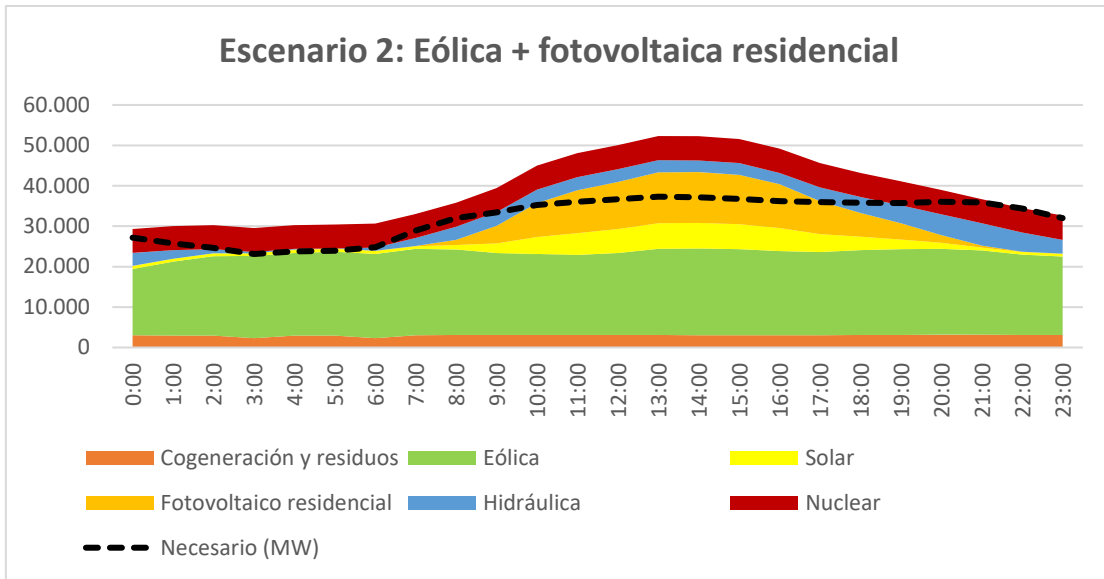


Gráfico 4

Escenario 3: fotovoltaica residencial (Gráfico 5)

Imaginemos ahora que seguimos con el mix de generación actual, pero añadiendo sólo lo que he llamado *Fotovoltaica residencial*. El resultado se ve en el Gráfico 5. Ahora las alternativas serían:

- Tener en circulación unos 4,5 millones de vehículos
- Generar 22.500 GWh, equivalente a 29 días de consumo por año
- Reducir la generación de electricidad mediante combustibles fósiles en un 45%, que sería equivalente a no utilizar esta fuente de energía eléctrica en las horas diurnas, esto es, la parte que está por encima de la línea discontinua.

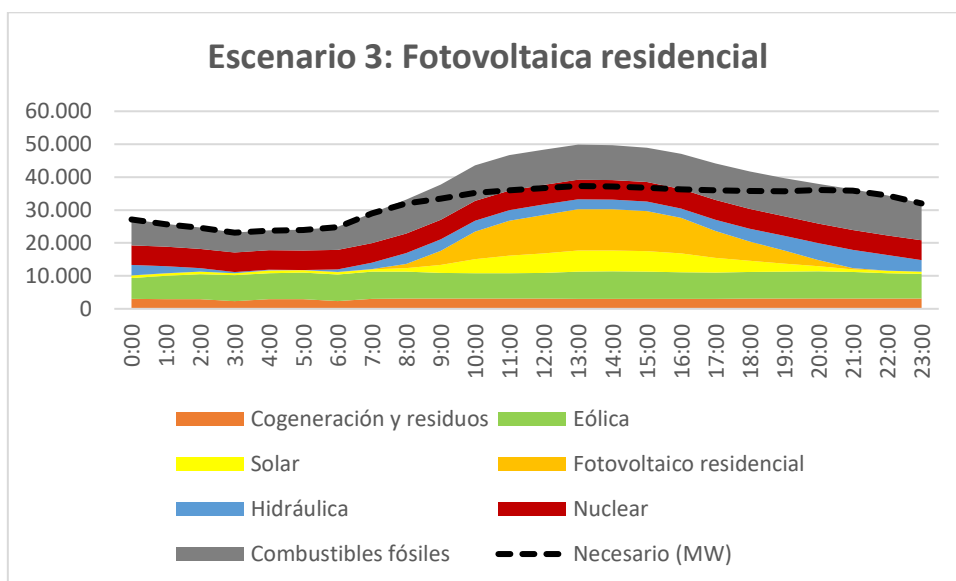


Gráfico 5

Escenario 4: Reducción combustible fósil (Gráfico 6)

Como último escenario planteemos el objetivo de reducir a la mitad el combustible fósil en la generación de electricidad, pero manteniendo las necesidades actuales, esto es, cubriendo la demanda de las horas pico. Para ello utilizaremos lo que he llamado anteriormente *Fotovoltaica residencial*, aumentando la producción eólica lo que sea necesario que es, concretamente, una ampliación del 78% del parque eólico actual. Ahora tendríamos las siguientes alternativas:

- Tener en circulación unos 5,8 millones de vehículos
- Generar 29.000 GWh, equivalente a 38 días de consumo por año
- Reducir la generación de electricidad mediante combustibles fósiles en un 50%, que sería equivalente a no utilizar esta fuente de energía eléctrica en las horas diurnas, esto es, la parte que está por encima de la línea discontinua.

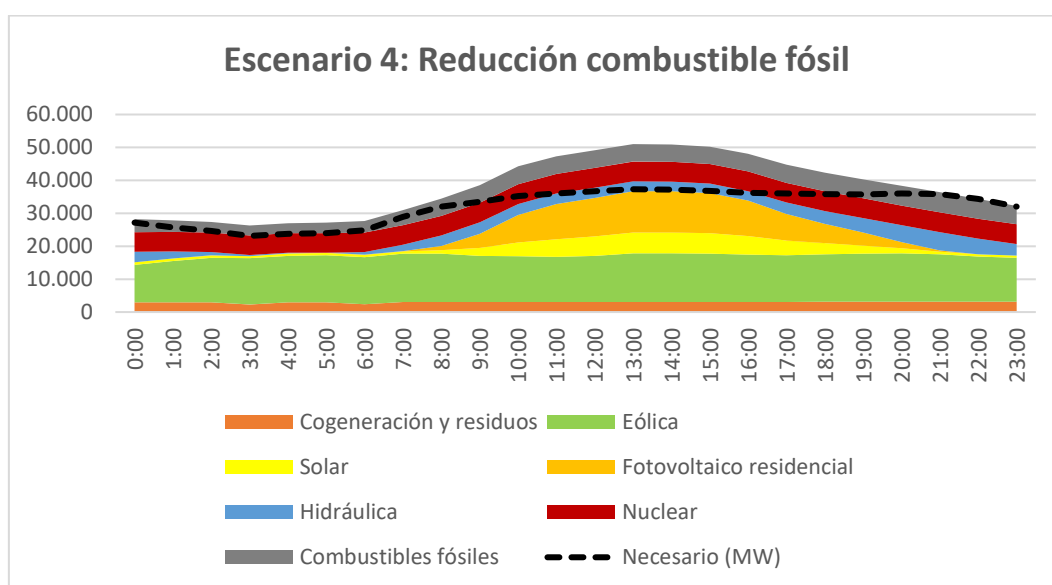


Gráfico 6

La tabla de abajo indica qué se puede hacer en cada escenario con el exceso de capacidad

Escenarios	Exceso de generación (GWh)	Litros de H ₂ (Mill)	Equivalente en días medios de consumo eléctrico	Equivalente número de vehículos con pila de H ₂ (Mill)
1. Ampliación del parque eólico	14.000	421	18	2,8
2. Eólica + fotovoltaica residencial	36.500	1.100	47	7,3
3. Fotovoltaica residencial	22.500	675	29	4,5
4. Reducción de combustible fósil	29.000	870	38	5,8

Conclusiones derivadas de los escenarios

Algunas consideraciones que considero relevantes tras lo explicado hasta ahora son:

- **Ampliación del parque eólico**

Dada la granularidad de esta fuente de generación su comportamiento tiende a ser bastante estable, al mismo tiempo que tiene un coste marginal nulo. Si somos capaces de incrementar la generación eólica para cubrir el pico de demanda de primera hora de la noche tendríamos un exceso de capacidad instalada de coste marginal nulo para la fabricación de H₂ verde que pueda utilizarse para la producción eléctrica o para el transporte, reduciendo así la utilización de los combustibles fósiles, la dependencia exterior y la volatilidad del precio de la energía.

Esta ampliación de una fuente estable de generación eléctrica difícilmente puede ser fotovoltaica (sólo es diurna), nuclear (no creo que llegue a existir voluntad política) o hidráulica (riesgo en la disponibilidad de recursos hídricos, sujeción a las necesidades de los regantes y dificultad política para la construcción de grandes presas)

Dada la magnitud de la ampliación eólica necesaria creo que deberíamos empezar a considerar en serio la generación eólica marina, aunque el precio de construcción subiría frente a la terrestre a la que estamos acostumbrados

- **Ampliación del parque fotovoltaico**

Ésta también es una energía de coste marginal nulo, pero se rige por el horario diurno y, por tanto, no puede eliminar en su totalidad la utilización de los combustibles fósiles en la generación eléctrica. Sin embargo su ampliación también es necesaria para la fabricación de H₂ verde.

- **Reducción de la dependencia**

Las fuentes de generación eléctrica de coste marginal cero reducen la dependencia exterior y la volatilidad en el precio de la energía.

- **Tarifa eléctrica**

Estamos acostumbrados a que la tarifa eléctrica sea inferior en las horas valle, coincidentes con las horas de noche (entre las 12:00 y las 6:00 aproximadamente) y con los fines de semana. Sin embargo, durante la noche se puede utilizar el exceso de capacidad para la generación de H₂ y durante el día tendremos mucha más capacidad de generación fotovoltaica. Ello podría llevarnos a un sistema tarifario no tan sujeto a los picos y valle de la demanda. Después de todo, si vamos evolucionando hacia una generación de energía más eficiente y barata puede no tener sentido tratar de modificar nuestros hábitos a través del precio.

En resumidas cuentas, aunque alguna combinación de los escenarios aquí expuestos pueda tardar lustros en llegar podemos estar en el camino de disponer de unas fuentes de energía abundantes, baratas, no contaminantes y libres del peaje político que acarrea la dependencia de los combustibles fósiles. La Edad de Piedra no acabó por falta de piedras y creo que la Edad del Petróleo tampoco lo hará por falta de petróleo, sino por el desarrollo tecnológico, igual que ocurrió con aquélla.

Fuentes:

1. Red Eléctrica Española (www.ree.es)
2. Acciona (www.acciona.com)
3. Reporte Sostenible (www.reportesostenible.cl)
4. Ro-des (www.ro-des.com)
5. Induambiente (www.induambiente.com)