

ECONOMÍA ENERGÉTICA CIRCULAR: UNA OPCIÓN DE DESCARBONIZACIÓN DE LA ENERGÍA

Alfonso J. Vázquez Vaamonde

Doctor en Química industrial. Profesor de Investigación del CSIC

RESUMEN

Se plantea un ciclo de transferencia de la energía solar desde las plantas de aprovechamiento de la energía solar fotovoltaica más térmica de concentración utilizando como combustible (vector de energía) la reducción del óxido férrico a hierro en polvo que es el combustible. La energía de combustión de este elemento al oxidarse es la fuente de energía a disposición del consumidor que en la caldera quema (oxida) al hierro a óxido férrico del mismo modo que hasta ahora oxidaba al carbono a dióxido de carbono. La ventaja de este procedimiento es que es circular pues, con la aplicación de la energía solar, el producto de la combustión se puede regenerar en combustible.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROYECTO

En nuestra primitiva etapa de seres trashumantes íbamos tras la comida, los animales salvajes, que emigraban del norte al sur en el invierno y viceversa. Al convertirnos sedentarios nuestros asentamientos se hacían en zonas donde había agua, algo imprescindible, pero también condiciones para practicar la agricultura y explotar los animales domésticos. La mayor complejidad de nuestra civilización a medida que íbamos creando más productos, edad de la cerámica, edad de los metales, etc., hasta hoy, ha conducido a que la mayor parte de las materias primas que necesitamos para atender nuestras necesidades, agua, alimentos, energía y materiales de uso y consumo, etc., no existan donde vivimos y por ello necesitamos transportarlos del lugar donde se producen.

A los acueductos les siguió el transporte de la energía, en forma de carbón; mucho más tarde las canalizaciones de gas ciudad permitió tener en el propio domicilio una fuente de energía y el fin de la iluminación con velas; el paso siguiente fue el de la red eléctrica y los más recientes oleoductos y gasoductos que ya no eran ciudadanos sino estatales y aun interestatales. En paralelo seguía transportándose la energía de modo intermitente concentrada en sólidos (carbón y madera) o líquidos (petróleo, gas natural licuado) por vía marítima y terrestre. Todos ellos tenían como base la oxidación del carbono y del hidrógeno que es una reacción exotérmica.

La existencia de impurezas, sobre todo el azufre, cuya oxidación simultánea al contaminar el medioambiente perjudicaba la salud, exigió su eliminación de esos combustibles aumentando su coste de producción. Finalmente, el inmenso consumo energético de nuestro mundo, desde los 12.000 KWh per cápita de los EE.UU. hasta los 43 KWh de Benin ha conducido a que el contenido en dióxido de carbono, CO₂, del medioambiente sea tal que está ocasionando problemas a nivel mundial fruto del calentamiento global de la Tierra. En consecuencia, aunque el problema que emerge de la comparación de ambas cifras es el de el injusto reparto de la riqueza, 300:1 en n número redondos, la sociedad se ha planteado la descarbonización de la producción de la energía. Las vías posibles son: *primera*, el uso de

combustibles que no produzcan CO₂ vía energías renovables e inextinguibles¹; *segunda*: buscando aplicaciones al dióxido de carbono que permitan su eliminación; *tercera*: la recuperación de las extensiones forestales desaparecidas durante todos los siglos en los que la energía procedía, sobre todo de la industria de la madera, que es un sumidero del CO₂:

Como consecuencia de ello se ha producido un incremento de la explotación de energía hidráulica, eólica, maremotriz y nuclear, pero también la energía solar por la doble vía fotovoltaica produciendo directamente electricidad, o térmica, energía solar de concentración, para su aplicación térmica directa o para la producción de electricidad. El proyecto que aquí se presenta es una combinación de las vías primera y segunda, pero cambiando la naturaleza del combustible, substituyendo el carbono por el hierro.

Hace algunos años iniciamos un proyecto para obtener metales a partir del calentamiento de sus óxidos en atmósfera de hidrógeno. Los primeros trabajos los hicimos en la Plataforma Solar del Almería donde redujimos óxido de hierro magnetita en una atmósfera de 5 % de hidrógeno en nitrógeno (un porcentaje mínimo por razones de seguridad en el laboratorio). Este porcentaje de hidrogeno puede ser mucho más elevado, incluso el ciento por ciento, con lo que la reacción sería mucho más rápida.

Posteriormente llevamos a cabo otros ensayos de reducción del óxido férrico, Fe₂O₃, en el Horno Solar del Odeillo (Francia) donde, a más alta temperatura, redujimos el óxido férrico a hierro metálico, Fe. También hicimos otros ensayos de reducción con hidrógeno del óxido cúprico CuO obteniendo cobre metálico, Cu.

En este artículo se plantea un proceso cíclico que podría resolver el problema de la energía utilizando la energía solar y convirtiendo al hierro en el portador de la energía. Sin duda el hidrógeno es un mayor portador de energía, pero el transporte del hidrógeno tiene muchos más problemas asociados que el transporte de hierro.

2. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

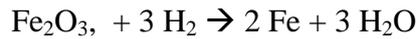
El proceso íntegro tiene tres partes: *Primera*: obtención del hidrógeno a partir de la electrolisis del agua. Este proceso se hace en una planta de electrolisis. La energía eléctrica necesaria se obtiene de una fuente de energía inextinguible, bien la Energía Eléctrica Eólica (EEE) o la Energía Solar Foto Voltaica (ESFV). Cualquiera de ambos es *un proceso de aplicación de energía sin producción de CO₂*.



Simultáneamente a la producción de hidrógeno ocurre la de oxígeno. Puesto que éste no es el objetivo del proceso, la producción de oxígeno se debe considerar como un “subproducto” que, al tener una amplia demanda en el mercado convierte este proceso en *un proceso de producción con residuos cero*.

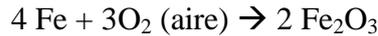
Segunda: obtención de hierro metálico, Fe, por reducción del óxido férrico, Fe₂O₃, con ese hidrogeno, H₂. Este proceso que se hace a temperatura elevada en una instalación de Energía Solar de Concentración. En ella la energía solar eleva la temperatura del óxido férrico a la adecuada para que en atmósfera de hidrógeno se reduzca a hierro y agua conforme con la ecuación:

¹ Es un error conceptual denominar *energía renovable* a la Energía Eólica o a la Energía Solar. Ninguna de ambas se renueva. Sí son renovables la energía procedente de la madera porque el dióxido de carbono, CO₂ que se produce al quemarse es el mismo que sirve para que crezcan de nuevos los árboles; también la energía hidráulica porque el agua de los ríos llega al mar o a los lagos y previa evaporación y condensación en las nubes acaba regresando a la tierra en forma de nieve, lluvia o granizo. A las energías eólica y solar lo que les distingue es que son “*energías inextinguibles*” dicho en términos prácticos para el ser humano. Su extinción exigiría la desaparición previa del sol y mucho antes de que eso ocurriera nosotros habríamos desaparecido



La producción de agua cierra su circuito porque es la materia prima para la producción de hidrógeno, H₂, (etapa primera) y de oxígeno como subproducto, como ya hemos dicho.

Tercera: obtención del óxido férrico a partir del hierro reducido por su reacción con aire a la temperatura adecuada donde existe el oxígeno suficiente para oxidarlo, es decir, quemarlo y que nos de la energía de combustión correspondiente. *Esta cesión de su calor de oxidación o combustión se produce como ocurriría con el carbón o cualquiera de los otros combustibles, en el lugar de aplicación: fábrica, viviendas y edificios institucionales públicos o privados, conforme con la ecuación:*



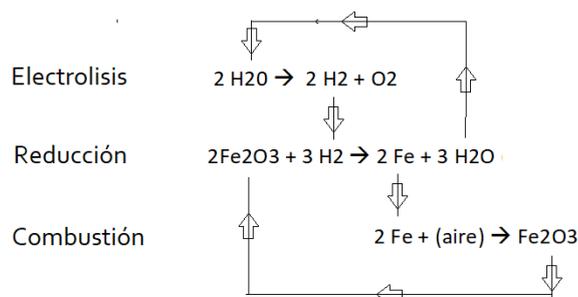
La energía es el producto del proceso; dicho más propiamente el proceso consiste en que el hierro es el vector de transporte de la energía solar, de suministro solo durante el día, aprovechando el proceso exotérmico de combustión a la hora y en el lugar que mejor nos convenga. La oxidación se denomina combustión cuando a la materia prima que se oxida se la denomina combustible y lo que se quiere provechar de ella no es el material oxidado sino su contenido energético.

El hierro, el metal reducido, es el vector energético que equivale al transporte de energía eléctrica por la red, o al de gas por el gasoducto o al de fuel en camiones, pues transporta la energía solar del lugar donde se concentra en él al lugar donde se consume la energía para el calentamiento de lo que nos interese por la combustión, oxidación, del metal. El óxido férrico tiene la ventaja de que es la materia prima de la que se obtiene el combustible que, al no consumirse, porque se recicla, no se extrae de la naturaleza. Eso evita todo el coste de la minería, en el caso del carbón, o de la extracción de gas o petróleo, en el caso de combustibles hidrocarbonados, o de uranio en el caso de la energía nuclear y la correspondiente alteración del medio.

Como el proceso es circular (fig. 1) puede considerarse que se iniciarse a partir de óxido férrico o del hidróxido férrico hidratado, que es subproducto de muchos otros procesos, entre ellos los de laminación en caliente donde se produce cascarilla de laminación o de los baños de decapado, una etapa imprescindible en los procesos de recubrimiento de metales y en otros muchos procesos metalúrgicos.

La segunda fase del proceso consiste en “quemar” el hierro, es decir oxidarlo, convirtiéndolo en óxido férrico cerrando el circuito iniciado con la reducción del óxido.

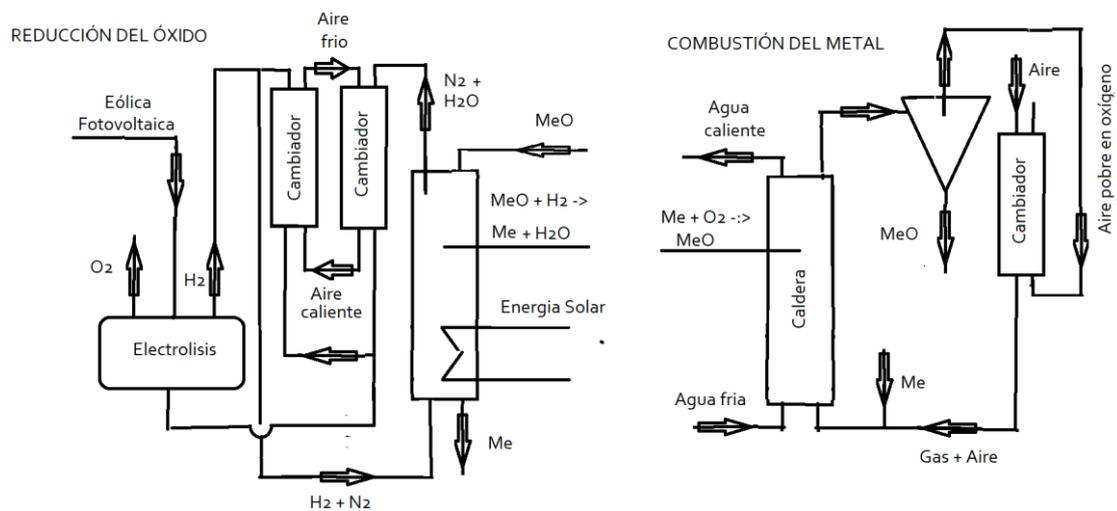
Figura 1. Doble circuito del hierro y del hidrógeno



El esquema es el mismo de la combustión clásica de carbón en el que lo que se oxida es el carbono materia prima extraída de las minas. O el gas (fundamentalmente CH₄) o de cualquier otro hidrocarburo C_xH_y que al oxidarse se convierte en agua y dióxido de carbono. Éste residuo de la

combustión es gaseoso y no se puede reducir a carbono de nuevo para volver a quemarlo, algo que sí se puede hacer con el óxido de hierro.

Figura 2.- Esquema de los dos procesos: izq.; reducción del óxido; der.: combustión del metal



Desde el punto de vista del consumidor de energía el proceso tiene cuatro etapas:

- 1ª etapa: comprar polvo de hierro como combustible a quien le venderá el óxido férrico que él produzca como parte de un doble contrato de compraventa. Esta compra es equivalente a la compra del combustible.
- 2ª química: quemar el combustible, hierro en polvo, obteniendo óxido férrico y aprovechar el calor de combustión del metal a óxido que es el calor de formación del óxido férrico, 1.116,7 KJ/mol vs. 353,92 KJ/mol que es el calor de formación del dióxido de carbono. Este proceso de combustión se hará en el lugar del usuario, sea esta una empresa, institución pública o privada o una comunidad de vecinos, etc.
- 3ª recoger el polvo de óxido férrico en un ciclón tras la caldera de combustión
- 4ª venderle el polvo de oxido férrico al fabricante del del combustible para que produzca hierro metálico, Fe, el combustible que él mismo le volverá a comprar.

Para el fabricante de combustible, el proceso tiene siete operaciones:

- 1ª.- comprar el polvo de oxido férrico al usuario del polvo de hierro que él le había vendido como parte de un doble contrato de compraventa. Esta compra equivale a la compra del carbón.
- 2ª.- electrolizar el agua para la producción de hidrógeno y oxígeno.
- 3ª.- reducir el polvo de oxido férrico a polvo de hierro con el hidrógeno.
- 4ª.- condensar el agua producida como consecuencia de la reducción.
- 5ª.- vender al usuario como combustible el polvo de hierro.
- 6ª.- vender en el mercado libre el oxígeno, subproducto de la electrolisis.
- 7ª.- comprar en el mercado libre las pérdidas del óxido férrico recogido en el ciclón y las pérdidas de agua producidas en la condensación de la generada en el proceso de reducción del óxido férrico con hidrógeno.

3. CIRCULARIDAD DEL PROCESO

Desde el punto de vista de las materias implicadas, el proceso es perfectamente circular pues una vez comprada el agua y el óxido no se necesita ninguna nueva compra de materias primas, salvo para compensar las pérdidas del proceso.

Desde el punto de vista económico el coste de las materias primas para iniciar el proceso y de las necesarias para compensar las pérdidas del mismo es inferior al beneficio de la venta de oxígeno, O₂, producido en las electrolisis.

Desde el punto de vista energético, el proceso es económico. La energía solar (vía FV) o eólica y la energía solar (ESC) tienen el coste de la amortización de la instalación y gastos corrientes de funcionamiento.

En resumen:

- 1°.- No hay coste de materias primas pues *NO se consumen* en el proceso (hierro y agua)
- 2°.- Es reducido el coste energético de la energía solar consumida en el proceso
- 3°.- Hay un ingreso por la venta del oxígeno obtenido como “subproducto” al electrolizar el agua para obtener el hidrogeno reductor del óxido de hierro.

4. CONCLUSIÓN.

Los metales y su combustión, oxidación constituyen una opción técnica inexplorada pese que se disponían de todos los conocimientos científicos y tecnológicos para haberlo considerado mucho antes. No podemos olvidar, dejando a un lado el ejemplo de los espejos ustorios de Arquímedes, que desde finales del S. XVIII en que Antonio de Lavoisier había fundido el platino usando energía solar esta fuente de energía había sido bastante desaprovechada hasta finales del S. XIX.

Por otra parte, vale la pena, a partir del diagrama de Ellingham, plantearse las distintas ventajas alternativas que pueden ofrecer todos los metales susceptibles de reducirse por hidrógeno y de ser quemados, oxidados, siguiendo el mismo esquema circular expuesto en este trabajo.

Figura 3.- Diagrama de Ellingham

