

- **Primera pregunta para Jose Ignacio Linares (ICAI):** *José Ignacio, el proyecto HyBECCS combina bioenergía con captura de carbono, y por lo tanto emisiones negativas. ¿Qué ventajas presenta esta tecnología respecto a otras formas de producción de hidrógeno y cómo contribuye específicamente a la reducción neta de CO<sub>2</sub>? ¿Qué potencial real tienen estas tecnologías en el mix energético de España y qué factores podrían acelerar su implantación?*

Llamamos [HyBECCS](#) al biohidrógeno producido a partir del reformado con vapor de biometano, incorporando en el proceso la captura y almacenamiento del CO<sub>2</sub> emitido. La primera ventaja es que empleamos una tecnología totalmente madura (SMR), con la que se produce cerca del 100% del H<sub>2</sub> gris que actualmente consume España (600 kt) y lo que hacemos es reemplazar el gas natural por biometano, que es la misma molécula. Eso ya lo hizo en un piloto hace unos años Repsol en Cartagena, con éxito, y ha anunciado que lo va a hacer ahora en Puertollano para producir HVOs (diesel renovable, Nexa). Este proceso sólo permitiría producir H<sub>2</sub> neutro (verde), pero basado en biometano y tecnología madura y escalada, 24/7, en lugar de en electrólisis con RES intermitentes y a escala media, sin madurez suficiente en algunos casos.

La segunda ventaja es [el precio \(LCOH\)](#), que es menor que en el caso electrolítico: entre 3,5 a 4,5 €/kg el biohidrógeno frente a más de 6 €/kg el electrolítico ([índice ibérico actual](#)).

En cuanto a emisiones, damos un paso más: la captura de CO<sub>2</sub> en el SMR es la más barata de las que existen debido a la alta concentración del CO<sub>2</sub> (aprox. 60 €/t). Al ser un CO<sub>2</sub> biogénico, es neutro, de ahí que se generen emisiones negativas si se captura y se almacena, dado que se ha retirado de la atmósfera. La introducción de la captura y almacenamiento genera costes, pero si se pueden valorizar las emisiones negativas tenemos un ingreso de hasta 1,6 €/kg, teniendo así un LCOH neto de entre 2 y 3 €/kg.

Si asumimos un potencial razonable de generación de biometano en España de 100 TWh (autóctono) podríamos producir aproximadamente 2 Mt de HyBECCS, que habrían generado 20 Mt CO<sub>2</sub> negativas, capaces de compensar emisiones de sectores difíciles de abatir, sin necesidad de realizar intervenciones en ellos. De hecho, en España las emisiones de proceso (no ligadas a la combustión) de los sectores difíciles de abatir son precisamente unas 20 Mt.

- **Segunda pregunta para Jose Ignacio Linares (ICAI):** *Desde tu posición académica, ¿qué áreas consideras más prometedoras para optimizar la tecnología HyBECCS y qué papel juegan las universidades y centros de investigación en este avance? ¿cómo se está preparando el talento joven para abordar estos retos? ¿Estamos formando a los futuros profesionales con la visión sistémica que exige una transición energética basada en la gestión integral del CO<sub>2</sub>?*

El HyBECCS se puede introducir gradualmente: primero en las plantas SMR actuales y para dedicarlo a los usos actuales del H<sub>2</sub>, reemplazando esos 600 kt de H<sub>2</sub> gris que consumimos ahora en España. Con eso ya convertimos ese H<sub>2</sub> gris en verde, ahorrando 6 Mt CO<sub>2</sub>, que es lo que ha planteado Repsol en Puertollano.

En una segunda fase se puede añadir CCS. Puede hacerse sólo en algunas plantas y compensar el CO<sub>2</sub> fósil emitido por unas con las emisiones negativas de otras. Hemos hecho el [estudio en una tesis doctoral en curso](#) y nos sale que podríamos hacer neutra la producción actual de H<sub>2</sub> con sólo 14 TWh de biometano y generando un sobrecoste de menos de 0,5 €/kg de H<sub>2</sub>, empleando tan solo 2 almacenamientos geológicos. También [hemos valorado el empleo de HyBECCS en autobuses urbanos](#): la flota de Madrid podría ser neutra manteniendo el 40% de los actuales buses de gas natural, siendo el resto de FCEV alimentado con HyBECCS, procediendo el biometano tan sólo de la FORSU de Madrid.

En cuanto a la formación, la ventaja es evidente: hablamos de una tecnología que está ahí, que es comercial, y que se enseña desde hace años: SMR. Hay menos experiencia en la formación de CCS, pero tampoco es nada nuevo. El biometano también es conocido. Por tanto, se trata de integrar conocimientos que ya se transmiten, quizás intensificando algunos de ellos. Dicha integración se introduce fácilmente desde la parte más dinámica de los estudios: TFM y tesis doctorales, como hacemos en ICAI.

## Reflexión final

*Todas vuestras intervenciones muestran enfoques distintos pero complementarios para abordar la gestión del CO<sub>2</sub>: captura en origen, almacenamiento, valorización, soluciones negativas... Si tuvierais que construir una hoja de ruta conjunta para escalar estas soluciones en España en los próximos 5 años, ¿por dónde empezaríais? ¿Qué alianzas, cambios regulatorios o prioridades serían clave?*

En el caso del HyBECCS la hoja de ruta pasa por desbloquear los tres cuellos de botella a los que se enfrenta: despliegue del biometano, fomento del CCS y avance en la regulación para valorizar las emisiones negativas.

El biometano presenta la ventaja de ser autóctono y tiene ventajas en el tratamiento de residuos, pero avanza despacio. No así en la EU, pero en España estamos retrasados. Mayor producción permitiría poder elegir dónde aplicar el HyBECCS; en caso contrario, habría competencia en el uso del biometano. En cuanto al CCS, parece que ya se considera en las soluciones de descarbonización, algo que era impensable hace 5 años. Es preciso que el IGME consolide los estudios previos que tiene y que se empiecen a hacer instalaciones, como la de Repsol en Tarragona.