



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

“Power-to-X”

## Descarbonización de energía con hidrógeno verde: Tecnología disponible y probada en la producción actual

diferentes sectores para maximizar el uso de recursos de energía renovable. El facilitador clave es la tecnología electrolítica de Membrana de Intercambio Protónico (PEM, en inglés) para la generación de "hidrógeno verde" desde el agua, a escala industrial. Luego, el hidrógeno se puede usar como un combustible sin emisiones o combinado con otros elementos como un componente molecular en materias primas industriales centrales.

Con un consenso casi unánime de los científicos climatológicos del mundo, los gases de efecto invernadero (dióxido de carbono y metano, líder entre ellos) están causando cambios climáticos que amenazan la viabilidad de la Tierra para los seres humanos, y se deben reducir masivamente, tan rápido como sea posible.

La escala de este imperativo no se puede satisfacer sin la descarbonización fundamental de la generación de energía global, la industria, los edificios y el transporte, pasando desde los combustibles fósiles a las fuentes de energía renovable. Juntos, estos sectores dan cuenta del 95% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, que excedieron 33 mil millones de toneladas en 2018, según la Agencia Internacional de Energía (IEA).<sup>1</sup>

Mientras el despliegue de fuentes de energía renovable (especialmente, eólica y solar) sigue creciendo rápidamente, están probando ser insuficientes en la reducción de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. Según lo ve la IEA, el uso de energías renovables debe crecer mucho más rápidamente si el mundo va a cumplir con sus metas climáticas a largo plazo.

**"... la porción de las energías renovables en la matriz energética tiene que aumentar desde un cuarto hoy a dos tercios en 2040. En la entrega de calefacción, las energías renovables tienen que aumentar del 10% de hoy a 25%. En el transporte, las energías renovables tienen que aumentar del 3,5% de hoy a 19%, incluyendo tanto el uso directo como el indirecto, por ej., electricidad renovable para la calefacción y los vehículos eléctricos".<sup>2</sup>**

Para lograr estas metas, el mundo necesita lo que se conoce como "acoplamiento sectorial". Esto permite que la energía renovable se transfiera a otros sectores que consumen energía en la economía global, descarbonizándoles efectivamente, también.

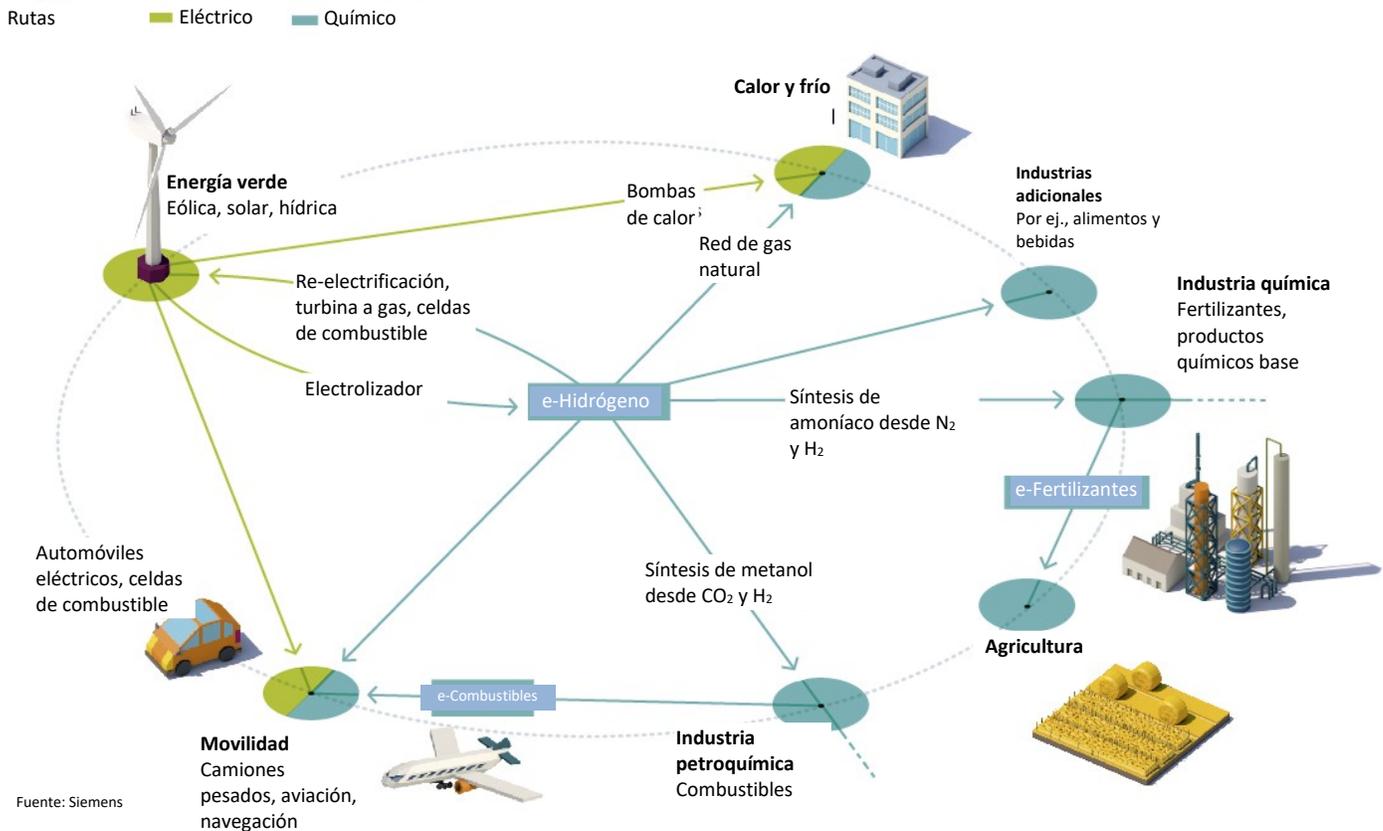
El acoplamiento sectorial es especialmente esencial para la descarbonización del mundo. La energía renovable está teniendo un impacto sobre el sector energético; sin embargo, el sector energético solo constituye el 40% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>. El 60% restante también se tiene que abordar. Una forma de acelerar la descarbonización de las otras industrias es a través del acoplamiento del uso de electricidad verde sobrante desde fuentes de energía renovable, para convertir varios compuestos en materias primas industriales, así como para desplazar a los combustibles fósiles en otras industrias y sectores pesados, conocido como acoplamiento sectorial.

### La descarbonización a escala es económicamente viable y operacional hoy en día

Diferentes tecnologías de almacenamiento de energía, como condensadores, circuitos compensadores y baterías, podrían ofrecer portabilidad de energía, especialmente importante para el transporte vehicular, marino y aéreo, pero tienen limitaciones en cuanto a la duración del almacenamiento, la escalabilidad y, en el caso de las baterías, el peso.

Afortunadamente, existe una opción de almacenamiento de energía alternativa, que muestra mucha promesa debido a su alta densidad de energía, su portabilidad y capacidad de almacenamiento: *el hidrógeno*. Más específicamente, estamos haciendo referencia al "hidrógeno verde" que se produce usando fuentes de energía renovable a través de una electrólisis avanzada sin emisiones de carbono.

### Acoplamiento sectorial y Power-to-X



El hidrógeno es el elemento más básico y abundante en el universo, y es el que da la energía al sol. Por sí mismo o como base de combustibles sintéticos, en base a carbono (pero neutral), el hidrógeno se puede integrar a la infraestructura de entrega de energía mundial mucho más fácilmente que otras tecnologías de almacenamiento de energía. Aunque se necesita más trabajo en esta área, las preocupaciones de seguridad se pueden abordar con salvaguardas mejoradas agregadas a las que se usan para proteger a las personas, la propiedad y el medioambiente de los peligros de los combustibles fósiles inflamables actuales.

Para generar hidrógeno verde a la escala necesaria para descarbonizar la energía mundial, Siemens, junto a colaboradores clave, ha invertido durante la última década en la generación de hidrógeno desde el agua, usando la tecnología de electrólisis de Membrana de Intercambio Protónica (PEM, en inglés). En palabras simples, el proceso PEM usa fuentes energéticas renovables de bajo costo para dividir el agua, H<sub>2</sub>O, en sus elementos constituyentes sin generar emisiones de carbono.

Los métodos tradicionales para producir hidrógeno, como la reformación de gas natural (conocida también como reformación de metano con vapor) y la gasificación del carbón vegetal, usan combustibles fósiles y, por lo tanto, generan emisiones de carbono. De hecho, los métodos de reformación de metano con vapor (SMR, en inglés) que usan gas natural como materia prima, pueden generar 8-19 kg de CO<sub>2</sub> por cada kilogramo de hidrógeno producido.

Por el contrario, el proceso PEM produce hidrógeno verde, que se puede usar como un combustible electrolizado (o sea, un "e-combustible") por sí mismo o, combinado con CO<sub>2</sub> a través de la metanación, puede producir e-combustibles como el metano (CH<sub>4</sub>) o el metanol (CH<sub>3</sub>OH) para su uso como materia prima industrial. El hidrógeno también se puede combinar con nitrógeno para formar amoníaco (NH<sub>3</sub>) como otra materia prima industrial importante.

Además, el hidrógeno verde producido mediante la electrólisis PEM se puede convertir nuevamente en electricidad como una mixtura con gas natural o en forma pura para alimentar turbinas a gas. En 2019, como parte de su compromiso con la sustentabilidad medioambiental,

Siemens firmó un acuerdo industrial europeo que prometió que nuestras turbinas a gas pueden operarse con 20% de hidrógeno (mezclado con gas natural) para el 2020 y con 100% hidrógeno desde el 2030 en adelante.

Partes de estos compromisos ya se han cumplido, ya que gran parte del portafolio de turbinas a gas de Siemens puede usar una mezcla con niveles de hidrógeno de 30% o más, e incluso hasta 100% en algunos modelos de turbinas.

### "Power-to-X" puede combatir el cambio climático global con tecnología probada y escalable

Siemens ha apoyado por mucho tiempo un concepto relacionado con el enfoque de la electrólisis PEM, conocido como "Power-to-X". A menudo se abrevia como "PtX", donde la "X" se relaciona al tipo de combustible que, finalmente, se produce. Entonces, los lectores podrían ver variaciones en esta convención de nomenclatura, como:

- PtG: Power-to-Gas (e-combustibles gaseosos, incluyendo el hidrógeno mismo o mezclado con gas natural)
- PtL: Power-to-Liquids (e-combustibles líquidos sintéticos y materias primas industriales)
- PtC: Power-to-Chemicals (químicos para uso industrial)
- PtH: Power-to-Heat (a través de calefacción por resistencias o bombas de calor)
- PtH<sub>2</sub>: Power-to-Hydrogen (a través de la electrólisis PEM)
- PtP: Power-to-Power (usando productos de PtG o PtL para generar electricidad)

De hecho, como una de las muchas actividades para descarbonizar la producción y el uso mundial de energía, Siemens tiene un papel activo en el Grupo de Trabajo de "Power-to-X para Aplicaciones", en la Asociación Industrial de Ingeniería Mecánica (VDMA), que tiene 3.200 empresas miembro y es la organización de

## Tres rutas de Power-to-X

Hidrógeno molecular basado en electricidad, metanol e hidrocarburos, así como amoníaco



ingeniería mecánica más grande de Europa. Nuestra participación con VDMA es parte del compromiso de Siemens con la responsabilidad social y medioambiental.

Los combustibles verdes pueden reemplazar a los combustibles fósiles, reduciendo las emisiones de carbono desde su energía empleada por hasta un 90% (o más, en el caso de usar combustión limpia, hidrógeno verde, con agua como el subproducto benigno de su oxidación). Estos también pueden reemplazar a los biocombustibles, como el etanol, que ahora consumen una cantidad considerable de tierras de cultivo para cultivar su materia prima principal, el maíz. Esto puede resolver los debates sobre alimentos vs. combustibles sobre el uso de terrenos de cultivo cada vez más valiosos y regresar hectáreas para la producción de alimentos y usos no relacionados con el cultivo, como reservas naturales, áreas de recreación y desarrollos inmobiliarios.

### La electrólisis PEM ha probado ser una tecnología de producción de hidrógeno altamente eficiente

La electrólisis PEM usa una celda cátodo-ánodo que contiene un electrolito de polímero sólido que conduce protones, separa el agua en hidrógeno y oxígeno y protege los electrodos de la celda. Desarrollada como una alternativa más eficiente a la electrólisis de agua alcalina tradicional, la electrólisis PEM tiene tres ventajas principales:

- **Sensible y flexible.** La electrólisis PEM se puede acoplar directamente a fuentes de energía renovable. Tiene capacidades de arranque en isla, lo que significa que no necesita una fuente de energía externa para reiniciarse desde un apagado parcial o total. Con un rango operacional extendido, la tecnología PEM puede aumentar hasta en 10% o más su capacidad en menos de un segundo. Puede operar desde un 5 a un 100% de su capacidad,

entregando una flexibilidad operacional excepcional.

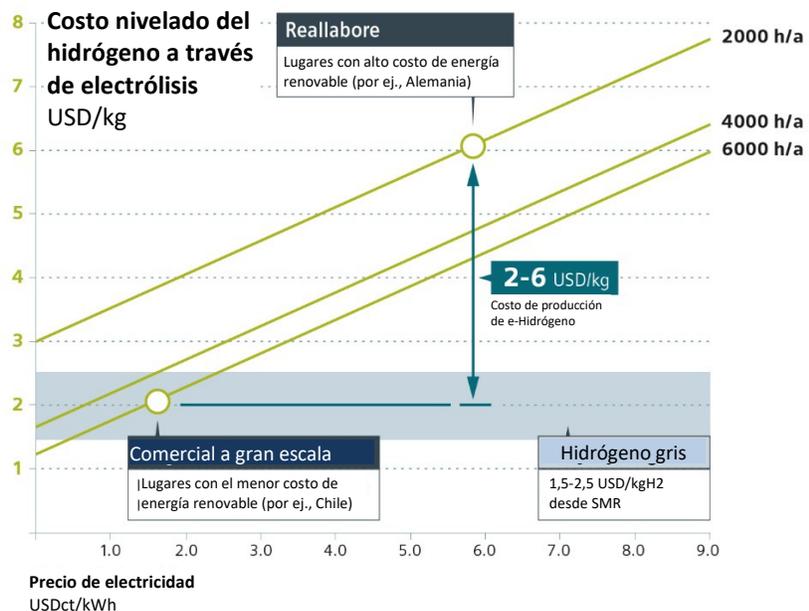
- **Operación inherentemente limpia.** Con solo agua, hidrógeno verde y oxígeno en un sistema de electrólisis PEM, la tecnología no requiere electrolitos químicos agresivos, como el electrolito de hidróxido de potasio (KOH) que los sistemas de electrólisis alcalina sí requieren. Además, produce hidrógeno que tiene una pureza de más de 99,9%, sin ninguna emisión de CO<sub>2</sub>.
- **Económicamente competitivo.** Si se compara con los sistemas electrolíticos alcalinos, la electrólisis PEM tiene una huella más pequeña y requiere poco mantenimiento, lo que resulta en menores gastos operacionales y en un menor costo total de la propiedad.

Mientras el 95% de la producción global de hidrógeno se hace a través de los métodos de SMR y de gasificación de carbón<sup>3</sup>, ambos generadores de emisiones de CO<sub>2</sub>, la electrólisis PEM puede producir hidrógeno "verde" a precios competitivos cuando la electricidad desde fuentes renovables cueste menos de \$0,04/kWh.

En el pasado, solo la energía geotérmica o hidroeléctrica podía entregar energía a tan bajo costo, pero los costos de la energía eólica y solar han caído rápidamente. De hecho, un reporte de 2019 que compara los diferentes costos de la generación de energía a través de energías renovables muestra que los costos de la energía eólica costera de \$0,03-0,04/kWh ahora son ahora posibles con la tecnología de generación más reciente. Y, gracias a los avances en la eficiencia fotovoltaica, nuevos proyectos PV solares están reduciendo los costos de la electricidad a incluso \$0,03/kWh.

### El hidrógeno desde la electrólisis se vuelve competitivo

Energía renovable altamente disponible y de bajo costo que ya genera e-hidrógeno verde a costos del hidrógeno convencional desde la reformación de metano con vapor (SMR).



### Siemens hace que la electrólisis PEM sea rentable y escalable

En septiembre de 2015, Siemens se convirtió en la primera empresa industrial global en comprometerse con la neutralidad de carbono al 2030. Para este fin, Siemens es una de las empresas líderes del mundo en el desarrollo y comercialización de electrólisis PEM como una tecnología rentable y escalable para impulsar iniciativas PtX.

No es coincidencia que, en 2015, Siemens desplegara el Silyzer 200, una versión comercial y a gran escala de la electrólisis PEM, que es una de las plantas de PtG más grandes del mundo, en Alemania. Hoy, la empresa ha llevado esa tecnología a su tercera generación con el despliegue del Silyzer 300 en el proyecto H2FUTURE, en colaboración con VERBUND Solutions GmbH, voestalpine Stahl GmbH, K1 MET GmbH y la Red Eléctrica Austriaca AG.

El Silyzer 300 consiste de 24 módulos electrolíticos PEM que, juntos, extraen 17,5 MW de energía para producir hasta 750 libras (340 kg) por hora de hidrógeno virtualmente puro, sin emisiones de CO<sub>2</sub>. El sistema opera a un 75% de eficiencia, que ayuda a reducir los costos de producción del hidrógeno en un 40% si se compara con los procesos SMR y de gasificación de carbón, estos dos altos emisores de CO<sub>2</sub>.

El mapa de desarrollo del Silyzer de Siemens apunta a plantas de hidrógeno de cuarta generación que, para el 2023, puedan extraer más de 100 MW de energía para la producción de hidrógeno con eficiencias aún mayores. Para el 2023 y en el futuro, Siemens visualiza la construcción de plantas de 1.000 MW de quinta generación.

Como desarrollador líder de la tecnología de electrólisis PEM, Siemens complementa esta capacidad con el liderazgo en la tecnología de captura y uso de carbono (CCU, en inglés) requerida para muchas partes de los procesos PtG y PtL. Por ejemplo, Siemens puede ofrecer a la industria CCU una amplia variedad de productos de electrificación, automatización y digitalización desde su vasto portafolio, además de experiencia de dominio global, para ayudar a sus operadores con este tema.

Otro elemento clave es el portafolio de turbinas a gas avanzadas de Siemens, que pueden reciclar efectivamente el hidrógeno almacenado en electricidad, usándolo como combustible. Como se mencionó, Siemens está comprometido a hacer que sus turbinas a gas puedan funcionar en un 100% con hidrógeno para el 2030.

Es importante notar que Siemens tiene décadas de experiencia en el diseño, ingeniería, construcción, puesta en servicio y gestión de vida útil de plantas complejas de generación de energía y de tecnología de procesos. Esta experiencia incluye la capacidad de integrar a la mayoría de las tecnologías requeridas, y de hacer paquetes con ellas (especialmente PEM y CCU) en soluciones hechas a la medida para una necesidad específica del proyecto de un cliente.

Además, las tecnologías de Siemens pueden ayudar a los operadores a impulsar mejoras continuas en las eficiencias del sistema y los costos de producción, especialmente cuando se usa energía solar y eólica, que son volátiles. Finalmente, Siemens cuenta con los recursos financieros y la huella global de ventas directas y soporte como para ser el catalizador mundial para la descarbonización masiva necesaria para combatir exitosamente al cambio climático.

### En camino a un futuro económica y medioambientalmente sustentable

La idea del "efecto invernadero" se remonta a 1824, cuando el científico francés Joseph Fourier propuso la hipótesis de que la atmósfera atrapa algo de la energía radiante de la luz solar de manera similar a la forma que lo hace un invernadero. Luego, en 1896, el químico sueco Svante observó que el CO<sub>2</sub> era apto para atrapar la radiación calórica y que las cantidades enormes liberadas por la combustión del carbón podrían calentar el planeta.<sup>5</sup>

Entonces, aunque las preocupaciones sobre el cambio climático pudieran parecer relativamente recientes, en realidad no lo son. Sin embargo, más recientemente ha habido un aumento en la urgencia de las advertencias desde la comunidad científica climática de que el mundo debe intensificar la descarbonización de su uso de energía en las décadas venideras, para evitar un daño irreparable al clima de la Tierra, que podría tener pésimas consecuencias (si no es graves) para todas las especies vivientes.

Por esta razón, Siemens ha creado prioridades estratégicas desde su participación en el movimiento de acoplamiento del sector PtX y el desarrollo adicional de su tecnología electrolítica PEM Silyzer para la producción de hidrógeno a una escala aún mayor.

Aunque Siemens tiene experiencia técnica considerable para ayudar a impulsar las iniciativas tecnológicas e industriales, el esfuerzo para descarbonizar el uso energético mundial requerirá el compromiso y la ayuda del sector público y el privado.

El primero tiene que desarrollar marcos normativos y de incentivos tributarios relevantes para estimular una mayor participación de los segundos. Siemens da la bienvenida a ambos sectores a unirse en el esfuerzo global necesario para limitar el aumento del calentamiento global del planeta y contener las consecuencias para la humanidad que ya están apareciendo, en la forma de eventos meteorológicos extremos y migraciones masivas de personas.

La buena noticia es que el mundo ha llegado a un consenso sobre las causas del cambio climático, y Siemens tiene soluciones para encaminarles hacia un futuro económica y medioambientalmente sustentable. Ahora, necesitamos el amplio apoyo del sector privado para llegar al destino al que necesitamos llegar: un *modelo de energía completamente descarbonizada a nivel mundial*. ■

<sup>1</sup>"Global Energy & CO<sub>2</sub> Status Report." Agencia Energética Internacional. <https://www.iea.org/geco/>

<sup>2</sup>IBID

<sup>3</sup>Louis Brasington. "The Role of Green Hydrogen in Global Decarbonization." Cleantech Group. 13 de diciembre de 2018. <https://www.cleantech.com/the-role-of-green-hydrogen-in-global-decarbonization/>

<sup>4</sup>Dominic Dudley. "Renewable Energy Costs Take Another Tumble, Making Fossil Fuels Look More Expensive Than Ever." Forbes. 29 de mayo de 2019. <https://www.forbes.com/sites/dominicdudley/2019/05/29/renewable-energy-costs-tumble/#1dec040be8ce>

<sup>5</sup>"Harbingers of doom: a brief history of climate change warnings." BBC History Magazine. 2005. <https://www.historyextra.com/period/modern/climate-change-warnings-history/>