

Resumen ejecutivo

“La ciencia es la progresiva aproximación del hombre al mundo real”
Max Planck¹²



El hidrógeno es el elemento químico más ligero y abundante del universo y es un vector energético, ya que puede utilizarse para almacenar y transportar energía con el fin de liberarla posteriormente. Cuenta con un alto poder calorífico (aunque tiene una densidad energética por volumen mucho menor que la de otros combustibles), es inagotable y puede combinarse con otros elementos para constituir múltiples productos derivados.

Este gas se puede producir a partir de diversas fuentes de energía y mediante diferentes métodos, lo que da lugar a distintas denominaciones. Entre ellas se encuentra el hidrógeno verde (producido principalmente mediante electrólisis de agua y fuentes de energía renovables), el rosa (obtenido por electrólisis, pero siendo la fuente de energía la nuclear), el azul (generado a partir de hidrocarburos, pero capturando y almacenando las emisiones contaminantes producidas), el amarillo (producido mediante electrólisis, pero usando como fuente electricidad no completamente renovable), el turquesa (obtenido mediante la pirólisis del gas natural en un reactor de metal fundido), el blanco (presente en la naturaleza) o el negro, el gris y el marrón (generados a partir de hidrocarburos).

De entre todos ellos, es el hidrógeno verde el que está recibiendo una atención creciente (también por los reguladores), pues la ausencia de emisiones de gases de efecto invernadero durante su producción, sus capacidades para equilibrar la variabilidad de las renovables, el papel que puede desempeñar en la descarbonización de algunos sectores y sus múltiples aplicaciones, le sitúan como principal catalizador en el proceso de transición energética hacia una economía neutra en carbono. También, recientemente se está valorando y estudiando la extracción de hidrógeno blanco de grandes yacimientos naturales, lo que podría contribuir al desarrollo del sector y posicionaría el hidrógeno como una fuente de energía, adicionalmente a sus capacidades como vector energético.

La gran mayoría del hidrógeno que se consume se produce a partir de combustibles fósiles, principalmente gas natural, carbón y reformado de nafta. Estas formas de producción son responsables de emisiones de dióxido de carbono y contribuyen al calentamiento global, por lo que existe consenso en la necesidad de generar hidrógeno con métodos que no liberen gases de efecto invernadero en el proceso, como es la electrólisis del agua a partir de electricidad producida por energías renovables (solo el 0,1% del hidrógeno fue producido así en 2022).

Una vez generado, el hidrógeno debe ser almacenado y transportado hasta su lugar de consumo final, lo que constituye un reto en sí mismo. El transporte del hidrógeno puede realizarse por barco, camión o tubería, dependiendo de la distancia entre el productor y el consumidor, y efectuarse en diferentes estados: gaseoso, líquido, sólido (mediante adsorción en determinados materiales) o en portadores orgánicos líquidos (p. ej., metanol, amoníaco).

Por el lado de la demanda, el hidrógeno tiene una gran variedad de aplicaciones, siendo los procesos industriales y metalúrgicos algunos de los principales consumidores, como por ejemplo el refinado de petróleo, la producción química (p. ej., amoníaco o metanol) o la reducción del acero. En el transporte, el hidrógeno se utiliza en vehículos de pila de combustible, especialmente los destinados a fines comerciales y autobuses, aunque se espera que su aplicación a los coches particulares crezca en la próxima década. También se utiliza para la producción de *e-fuels* (combustibles sintéticos). Adicionalmente, se están investigando aplicaciones en otros sectores, como el energético o la construcción, como alternativa a los combustibles fósiles.

¹² Max Planck, físico teórico alemán, considerado el fundador de la teoría cuántica. En 1901 Planck publicó la ley espectral de la radiación del cuerpo negro. Por sus trabajos en la teoría cuántica, recibió el Premio Nobel de Física en 1918.

A pesar de los avances y el creciente interés en el hidrógeno verde, existen importantes desafíos en el camino hacia su adopción generalizada y sostenible. Estos desafíos pueden agruparse en varios ámbitos:

- ▶ **Producción de hidrógeno:** uno de los desafíos principales es reducir su coste de producción para que sea competitivo con otras fuentes de energía. El principal componente de este coste es el consumo energético, por lo que su disminución pasa por mejorar la tecnología de electrolización y por mayores economías de escala, entre otras.
- ▶ **Creación de demanda:** otro reto es la generación de suficiente demanda de hidrógeno verde en diferentes sectores, como la industria, el transporte y la generación de energía eléctrica, para justificar las inversiones en producción y distribución. Esto implica la necesidad de mejorar las tecnologías de producción y almacenamiento.
- ▶ **Mercado de hidrógeno:** a diferencia de otros recursos energéticos, en la actualidad el hidrógeno es predominantemente un gas industrial producido y consumido en el mismo lugar, lo que dificulta la formación de un mercado con índices de precios de referencia. No obstante, a medida que se desarrolle el sector, cabe esperar la creación de mercados de hidrógeno, lo que es esencial para fomentar la inversión y la competencia.

- ▶ **Infraestructura de transporte:** el desarrollo de una infraestructura adecuada para el transporte de hidrógeno, ya sea por carretera, tubería u otro medio, es crucial para su distribución eficiente y segura. Para poder llevarlo a cabo será necesario dar respuesta a cuestiones de índole técnica, como la gestión del *blending* en la red o los requerimientos que garanticen la seguridad.
- ▶ **Regulación:** los principales retos a nivel regulatorio incluyen la creación de marcos específicos para el hidrógeno verde, la definición técnica de lo que puede considerarse hidrógeno verde o renovable, el desarrollo de los incentivos financieros y no financieros necesarios, la creación de sistemas de garantías de origen, el desarrollo de normativas específicas que fomenten el transporte con vehículos sin emisiones y el uso del hidrógeno como combustible en el transporte marítimo, y la evolución de las regulaciones de transporte de gas por tubería.

En este contexto, las organizaciones afrontan estos desafíos definiendo estrategias, seleccionando nuevos proyectos con base en un análisis apropiado de la inversión, gestionando los riesgos asociados (por ejemplo, transformando sus operaciones para implementar nuevos procesos), adaptándose a la regulación y al cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad.

La transición de las empresas hacia el mercado del hidrógeno requiere pues de un enfoque integral que abarque desde la estrategia hasta las operaciones, y considere no solo la





viabilidad económica, sino también el compromiso con la sostenibilidad y el cumplimiento de las regulaciones en constante evolución. Del mismo modo, la inversión en tecnologías avanzadas y la colaboración con socios y proveedores son esenciales para el éxito en este mercado.

Para la solución de algunos de estos retos, es preciso apoyarse en herramientas específicas que permitan mejorar la toma de decisiones. Un ejemplo de ello es la aplicación desarrollada por la Cátedra de Estudios sobre el Hidrógeno de la Universidad Pontificia Comillas -de la que Management Solutions es patrono-, y que se apoya en Sistemas de Información Geográfica (GIS) para identificar las ubicaciones óptimas para la construcción de proyectos de producción de hidrógeno renovable. El modelo calcula un índice de compatibilidad de

hidrógeno que categoriza en cada emplazamiento las diferentes variables analizadas (compatibilidad del terreno para la instalación de renovables y disponibilidad de agua; infraestructura de luz, gas y carreteras existentes; posibles *off-takers*¹³; etc.) y determina la mejor alternativa conforme a los criterios escogidos.

El hidrógeno verde o renovable emerge como un pilar esencial en la transición hacia una economía sostenible, pero solo a través de esfuerzos colaborativos, inversión en tecnología y apoyo regulatorio, será posible superar los desafíos actuales y desencadenar todo el potencial con el que cuenta como vector energético transformacional.

¹³Partes interesadas o consumidores potenciales.