

Edición especial 25 años del doctorado en ingeniería

Preparando los gasoductos para el transporte de mezclas de gas natural – hidrógeno en Colombia

Preparing gas pipelines for the transport of natural gas – hydrogen mixtures in Colombia

Cómo citar: Muñoz, M.A., Rincón, D.A., Robayo-Salazar, R., Mejía, R. Desarrollo de mezclas para impresión 3d basadas en cemento portland y adiciones de metacaolín, micro sílice y carbonato. Ingeniería y Competitividad. 25(4) ,e-20113116. doi: 10.25100/iyc.v25i04.13273

Valentina Núñez¹; Jaime Fonseca^{1*}, Iván Uribe¹; Aníbal Serna G¹, Dario Yesid Peña², Fiderman Machuca-Martinez³

¹Escalar Ingeniería S.A.S. Bogotá Colombia

²Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

³Universidad del Valle, Cali, Colombia

La alarmante preocupación global por el cambio climático, el incremento de la concentración en la atmósfera de los Gases de Efecto Invernadero – GEI, el aumento promedio de la temperatura terrestre, los compromisos de los gobiernos con el Acuerdo de París, las metas de descarbonización de la economía Net-Zero 2030, 2050, 2100, los cambios bruscos geopolíticos y el nuevo ordenamiento de poder mundial, han hecho que las energías renovables y el potencial del hidrógeno sean considerados como las mejores opciones para solucionar los requerimientos de energía del futuro, sin emisión de GEI.

La construcción de instalaciones para generación de energías renovables, eólica, solar, biomasa, oceánica, hidroeléctrica, geotérmica e inclusive la fusión nuclear y el hidrógeno se han mirado como las opciones más prometedoras para reemplazar los combustibles fósiles y cumplir con las metas de disminución del calentamiento global ^[1, 2, 3]. La economía del hidrógeno se está convirtiendo en una de las tendencias más importantes en la industria energética a nivel mundial.

En Colombia, este sector está empezando a tener un impacto significativo en la economía del país y en la lucha contra el cambio climático. La demanda del hidrógeno es creciente y Colombia debe prepararse para definir las fuentes y métodos de producción de hidrógeno verde, su almacenamiento, transporte y uso final. Otro aspecto importante de la economía del hidrógeno en Colombia es su potencial como fuente de exportación. Dada su estratégica posición geográfica y sus abundantes fuentes de recursos hídricos, el país cuenta con una posición privilegiada en América Latina, cerca de los mercados de América del Norte y del Sur. Esto podría convertirse en una ventaja importante para Colombia en el mercado mundial del hidrógeno, especialmente si se logra una producción eficiente y sostenible.

El hidrógeno es una solución especialmente adecuada para los desafíos energéticos y medioambientales que surgen actualmente ^[1,2,3], es un portador de energía, (como la electricidad) y no una fuente primaria de energía. El uso de un portador de energía limpio como el hidrógeno (si se produce a partir de fuentes no fósiles) ofrece una multitud ventajas en varios niveles y además es muy versátil debido a los diferentes modos de producción y uso. El hidrógeno tiene el potencial de reemplazar el uso de combustibles fósiles en diferentes usos (móviles, estacionarios o portátiles), pero es en el sector del transporte, que es el más grande consumidor de combustibles fósiles, donde su influencia es la más notoria ^[3].

La integración de una economía impulsada por el hidrógeno no es tarea fácil, requiere de participación activa de reguladores, academia, inversionistas y gerencia comprometida con la transformación energética. Existen muchas oportunidades por explorar: la investigación y el desarrollo de fuentes y métodos de producción que garanticen un valor a largo plazo de menos de US\$ 1,5/Kg de H₂; la disponibilidad de energía renovable suficiente para su producción y suministro confiables; sistemas de almacenamiento definidos para propósitos de exportación o de consumo interno, de forma líquida o gas; métodos de transporte por gasoductos existentes o nuevos, por carrotaques o trenes con recipientes criogénicos, puro o mezclado; utilización final en movilidad (terrestre, marítima, fluvial y aérea), en combustión directa, mezclado o en celdas de hidrógeno y finalmente en la industria y el uso domiciliario como fuente



de energía para la combustión, la calefacción y la refrigeración; definir los sistemas de distribución y modificaciones o adaptación de equipos actuales. En la Figura 1, se ilustran algunas fases de la cadena de valor del hidrógeno.

Desde el punto de vista de eficiencia energética y de disponibilidad, el hidrógeno es la fuente de energía más abundante en el universo y el de mayor potencial para su transformación, su combustión no produce GEI, se espera que su demanda crezca un 44% para el 2030. Actualmente Canadá lidera la producción en América del Norte [4]. Toda transformación es un proceso, generalmente lento, marcada por la aceptación y adaptación al cambio, por la aceleración de regulaciones y su implementación, por la actitud y cambios en los hábitos y forma de vida de los humanos.

Para que el hidrógeno sea exitoso en la transformación energética en Colombia, se debe definir cuál es la demanda proyectada y los requerimientos futuros de producción, almacenamiento, transporte, distribución y uso final. Se han hecho pilotos de producción, donde se muestra su viabilidad, y se requiere el escalamiento. Para el transporte de gas natural se tienen dos redes principales, una que suministra gas natural al interior del país y otra que abastece toda la zona caribe. El dilema es: si tienen la capacidad de transportar el H_2 o la mezcla de Gas Natural – H_2 , requerido por la demanda, si requieren de algún recubrimiento interno y la instalación de sensores para la detección de fugas, si requieren la evaluación de integridad, disponibilidad y confiabilidad para certificar la aptitud para el cambio de servicio, si necesitan la implementación de la seguridad de procesos o la construcción de nuevos gasoductos de acuerdo con las normas internacionales de la industria de transporte por gasoductos, teniendo en cuenta las características del ecosistema por donde pasan, como los páramos, llanuras, selvas, cordilleras, etc.

Promesa de valor del hidrógeno

Actualmente, el enfoque está puesto sobre la producción de hidrógeno verde, un espacio de desarrollo e implementación de energías renovables con cero emisiones de carbono, capaz de producir el Net-Zero GEI para el 2050 [5, 6].

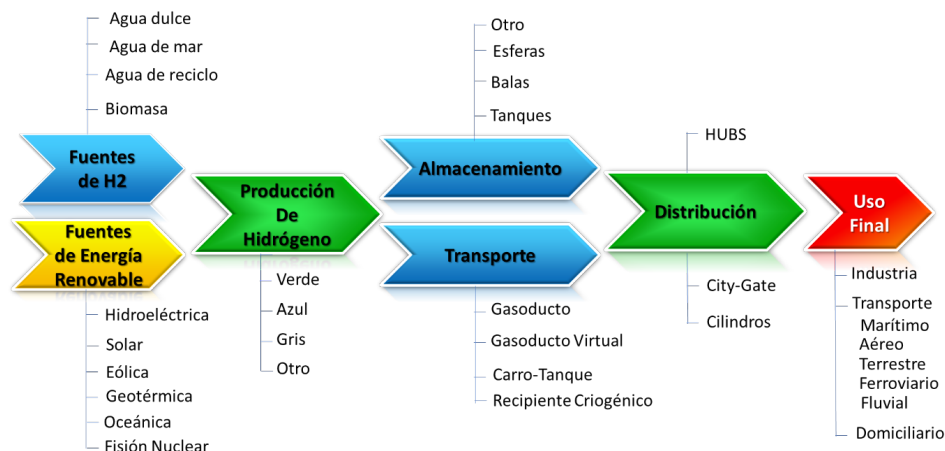


Figura 1. Representación gráfica de la cadena de valor del hidrógeno: Fuentes de producción, almacenamiento, transporte, distribución y usos generales.

Adicional a la sostenibilidad y a la participación en la descarbonización del medio ambiente, el hidrógeno tiene un alto potencial para reducir los costos de generación de energía, aumentar la eficiencia energética e incrementar el nivel tecnológico y el empleo a nivel mundial ^[1,2,3]. De acuerdo con cálculos de la Agencia Internacional de Energía – AIE y la Organización Internacional del Trabajo – OIT, en su informe anual de 2022, indican que en 2021 se instalaron 257 GW de energía renovable (133 GW de energía solar y 93 GW de energía eólica), ampliando la capacidad acumulada global en un 9%, alcanzando una capacidad total acumulada de 3068 GW. El empleo en el sector de las energías renovables alcanzó los 12,7 millones de puestos de trabajo en 2021 y se estima que al 2030 el incremento será de 38,2 millones ^[5].

En Colombia se espera que antes del 2030 se tengan instalados más de 4,5 GW de energía renovable solar y eólica, disponible para los requerimientos de producción de hidrógeno y generación de energía para el Sistema Nacional Interconectado – SIN. Para Colombia, se estarían generando alrededor de 120.000 puestos de trabajo antes del 2030 ^[7].

Sin embargo, para lograr lo anterior es necesario que exista una fuerza laboral capacitada y conocedora de este sector, se requiere entonces iniciar con el desarrollo y formación en competencias relacionadas con el hidrógeno, de los nuevos profesionales y técnicos, el país deberá invertir más del PIB en investigación, desarrollo, tecnología e innovación. Las Universidades requieren adaptar sus currículos a las nuevas necesidades y exigencias de la transformación energética ^[8].

A corto plazo, los cursos especializados podrían ser la solución para obtener las habilidades necesarias que demanda la industria, como recurso para el cambio climático y la descarbonización ^[9,10].

El acelerador está puesto

En la mayoría de iniciativas de sustentabilidad, el usuario o consumidor es el principal factor de cambio. En el caso del hidrógeno la historia no es diferente. La presión no solo proviene de la necesidad del cambio de hábitos y estilos de vida, también de los compromisos ambientales y las regulaciones inevitables que cada país ha hecho para reducir el calentamiento global y los cambios climáticos con las catastróficas consecuencias sufridas.

Algunos factores geopolíticos y socioeconómicos aceleran el proceso. En América, al igual que en la Unión Europea, los países asiáticos, africanos y oceánicos, han sentido la necesidad de incrementar las regulaciones ambientales, muchos comprometidos con el Acuerdo de París de no incrementar la temperatura global por encima de 1,5 °C por encima de la temperatura de la prerrevolución industrial.

Actualmente en Estados Unidos existen alrededor de 1600 millas (2964,8 Km) de tubería enterrada para el transporte de hidrógeno, con la implementación del respectivo “Process Safety Management – PSM” y la instrumentación necesaria para la detección de fugas, con el objeto del suministro a industrias intensivas en consumo de energía como las refinerías y las plantas químicas, ubicadas en la zona del Golfo de México. Pero es solo el comienzo, existen más de 3 millones de millas (5,6 millones de Km) de gasoductos que transportan gas natural, que están en uso ^[11], esperando que el



hidrógeno verde pueda ser mezclado, transportado y ayude a la disminución, durante la combustión, de los GEI.

Algunos países de Europa como: Francia, España, Portugal y Alemania, se han unido en el proyecto marco para el transporte de hidrógeno BarMar o H₂Med, tal como se ilustra en la Figura 2. Con el conflicto Rusia-Ucrania, se ha unificado la necesidad de ampliarlo a los otros países de la Unión Europea [12].

El operador de importación y transportador de gas natural surcoreano KOGAS, uno de los mayores importadores mundiales de Gas Natural Licuado–LNG, contrató con DNV la evaluación de sus gasoductos usados, 5.000 Km, para definir si es posible transportar la mezcla de gas natural – hidrógeno y/o solo el gas hidrógeno. El trabajo incluye la evaluación del impacto de la mezcla en el sistema, averiguar si se requieren facilidades y equipos de compresión, inyección del H₂ en la operación, verificación de la calidad de la mezcla, potenciales usuarios de la mezcla, incluido el uso doméstico [13].



Figura 2. Proyecto BarMar o H₂Med, que se unirá con Alemania para el transporte de hidrógeno [12].

El creciente entendimiento de los beneficios del hidrógeno ha estimulado a los gobiernos y a las instituciones reguladoras en evaluar las posibilidades de reutilizar los tanques, balas, esferas y los gasoductos existentes para respaldar los sistemas de almacenamiento y transporte de las mezclas de Gas Natural – Hidrógeno. Las ventajas de hacerlo están claras: existe la infraestructura de almacenamiento, las redes de

gasoductos, regulaciones aprobadas para el transporte de gas, trazado de la línea aprobado, socializado. Lógicamente, se tendrá que realizar una evaluación de integridad estructural, confiabilidad operacional y disponibilidad para el cambio de uso, antes de su certificación.

La construcción de nuevas líneas e infraestructura de gas para el transporte de hidrógeno sería extremadamente costosa, tomaría un tiempo apreciable el trámite de licencias ambientales, socialización con las comunidades, consultas previas, compra de derechos de vía, realización de nuevos trazados y evaluación de áreas de alta consecuencia. La ventaja de los nuevos gasoductos sería la aplicación de lo aprendido en la Gestión del Riesgo y en el trazado de anillos por fuera de las ciudades para el suministro confiable del hidrógeno o sus mezclas.

Oportunidades y restricciones

Existen tres limitaciones básicas que frenan la transición de los gasoductos que transportan gas natural a mezclas de gas natural – hidrógeno. En primer lugar, está el costo y el mercado actual, no solo el precio de producir hidrógeno es alto también, su alta inflamabilidad hace que el costo inicial de equipos especiales para su compresión y transporte en equipos criogénicos sea increíblemente caro. Algunos investigadores y aseguradores, entre ellos PwC, afirman que su costo podría reducirse en un 50% hacia el 2030. La segunda limitación es que en la mayoría de países existe una red de transporte y distribución de gas natural, la dificultad radica en si tienen la aptitud para el cambio de uso. Los conflictos geopolíticos y socioeconómicos han acelerado la necesidad de evaluar los sistemas actuales y certificarlos para el transporte de mezclas de gas natural – hidrógeno. Algunos países le ven más ventajas a la infraestructura para exportación. Por último, la autorización de licencias para los nuevos gasoductos será un reto grandísimo para los constructores y operadores, especialmente por las relaciones con la comunidad.

Para el 2050 se espera que la demanda de energía crezca alrededor del 50%, lo que implica una inversión altísima para reutilizar la infraestructura existente, con estudios de obsolescencia, y la construcción adicional de plantas de generación, redes de transmisión, distribución y almacenamiento de energía. El éxito del futuro dependerá de la disponibilidad de dicha infraestructura adecuada para mantener el ritmo de estos niveles de demanda sin precedentes. Es necesario iniciar la evaluación de qué tenemos y qué nos hace falta para la transición energética, la sustentabilidad ambiental y el desarrollo socioeconómico con equidad. Las energías renovables y el hidrógeno serán las fuentes de energía para el equilibrio.

Las energías renovables tienen muchas restricciones para su desarrollo en la mayoría de países con estaciones climáticas, falta de aire, sol y mar para las energías eólicas, solar y oceánicas. Seguirán dependiendo de la importación y suministro externo. Colombia, está en una posición estratégica, la ubicación geográfica le permite tener radiación solar y vientos intensos en muchos lugares, aptos para la instalación de infraestructura para generación de energía renovable, en particular en la Guajira, se han instalado granjas solares y parques eólicos con buenos resultados de eficiencia energética. En la Costa Caribe y los Llanos Orientales, existe la producción de gas natural y la disponibilidad para generar energía renovable, lo cual es una ventaja económica para la producción de hidrógeno verde y la posibilidad de realizar las mezclas de gas natural – hidrógeno, para el suministro y consumo interno. En la Costa Caribe, se podría construir un “Hub” para



almacenamiento y distribución de hidrógeno para exportación al mercado de Europa, el Caribe y Centro América.

En el área andina colombiana, de difícil acceso, la energía renovable por excelencia sería la hidroeléctrica y se han planteado varias soluciones, como la construcción de minicentrales interconectadas, que puedan generar energía suficiente para las regiones. En las aldeas y zonas selváticas, se ha iniciado un plan de instalación de celdas solares para la electrificación y subsanar el aislamiento por falta de medios de telecomunicación e internet.

El hidrógeno verde es una solución para las metas de descarbonización, la cual no se puede alcanzar sin ayuda de la tecnología, el software y el hardware esenciales requeridos para el desarrollo de infraestructura y los medios y métodos de producción segura, eficiente y rentable. La producción, el almacenamiento, el transporte, la distribución y uso final del hidrógeno verde se está requiriendo con urgencia a nivel internacional y debemos estar listos para aportar a su desarrollo e implementación.

La Transición Energética deberá hacer uso de todas las herramientas de la cuarta revolución industrial, las TICs y la digitalización (Inteligencia artificial, el internet de las cosas, la analítica de datos, la interconexión entre equipos e instrumentos, la comunicación satelital y la operación autónoma inasistida). La integración de estas tecnologías a la formación de los nuevos profesionales que este desarrollo demande, será un reto y un propósito nacional, de todos.

Referencias

1. Fundación Renovables. El papel del hidrógeno en la transición energética Análisis y posicionamiento. Disponible en: <https://fundacionrenovables.org/documentos/>. Consultado el 26-01-2023
2. O.V. Marchenko, et al. The future energy: Hydrogen versus electricity International Journal of Hydrogen Energy. Volume 40, Issue 10, 16 March 2015, Pages 3801-3805
3. K.J. Dillman, et Al. A 'just' hydrogen economy: A normative energy justice assessment of the hydrogen economy. Renewable and Sustainable Energy Reviews Volume 167, October 2022, 112648
4. Johnston, Carol. Pipelines Gearing Up for Hydrogen-Powered Economy. Pipeline & Gas Journal, Vol. 250, No 1, 4p.
5. IRENA and ILO (2022). Renewable energy and jobs: Annual review 2022, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi and International Labour Organization, Geneva. Disponible en: www.irena.org/publications
6. Disponible en: <https://www.google.com.co/search?xsrf=AJOqlzXrL9oQ0GdCn-n3stwEQHE8jjAptZw:1674749460929&q=imagenes+de+la+cadena+de+valor+-+del+hidr%C3%B3geno>.... Consultado el 26-01-2023
7. Alejandra Zapata Quinchía. La transición energética generaría 38,2 millones de empleos a 2030. El Colombiano, Medellín, 22-01-2023, Economía, pp. 21-22.
8. J. Benavides; S. Cabrales; M.H. Delgado. Transición energética en Colombia: Política, costos de la carbono-neutralidad acelerada y papel del gas natural, Fedesarrollo (7- 2022) pp39
9. Hugo Lucas, Stephanie Pinnington, Luisa F. Cabeza. Education and training gaps in the renewable energy sector. Solar Energy 173(2018) 449- 455

10. David G. Victor et al. Turning Paris into reality at the University of California, (2018), **Nature Climate Change** www.nature.com/natureclimatechange
11. Disponible en:
<https://www.eia.gov/energyexplained/natural-gas/natural-gas-pipelines.php#:~:text=The%20U.S.%20natural%20gas%20pipeline,and%20storage%20facilities%20with%20consumers>. Consultado 26-01-2023
12. Disponible en: <https://elpais.com/economia/2023-01-22/alemania-se-suma-al-barram-el-hidroducto-que-unira-la-peninsula-iberica-con-el-resto-de-europa.html>. Consultado 26-01-2023
13. Disponible en: <https://h2-tech.com/news/2023/02-2023/dnv-to-assess-the-viability-of-blending-h-sub-2-sub-into-south-korea-s-gas-transmission-network/>. Consultado 08-02-2023