

Hidrógeno blanco:

una alternativa para la
generación de energía
limpia y renovable



Los investigadores utilizan equipos portátiles como lectores de gases para cuantificar la presencia de hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, metano, entre otros.

© David Amado Pintor - SCC

El Servicio Geológico Colombiano, mediante su línea de investigación en hidrógeno blanco, asociada a la Dirección de Hidrocarburos, está trabajando en la identificación y caracterización de las fuentes de este combustible natural en el país, con el propósito de conocer su origen y su potencial de aprovechamiento. Aquí respondemos las preguntas más frecuentes.

¿Qué es el hidrógeno blanco y desde cuándo sabemos que existe?

El hidrógeno blanco es el único tipo de hidrógeno que se genera naturalmente. Surge en el subsuelo, principalmente por la interacción del agua con las rocas, así como por otras reacciones químicas. Aunque los científicos saben de su existencia desde hace mucho tiempo, recientemente ha cobrado mayor importancia como una de las alternativas energéticas con menor impacto ambiental.

Así como el agua se encuentra en la naturaleza como H_2O , es decir, un compuesto líquido formado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno ($H+H+O$), el hidrógeno natural se encuentra en la naturaleza como H_2 , es decir, un compuesto gaseoso formado por dos átomos de hidrógeno ($H+H$). Este se manifiesta como un gas incoloro e inoloro.

¿Para qué sirve el hidrógeno blanco?

Tiene múltiples aplicaciones que van desde el ámbito industrial hasta la vida diaria. Es un componente clave en la producción de fertilizantes (fundamentales para la seguridad alimentaria mundial) y de diversos productos médicos. Además, posee un alto potencial como combustible con reducidos impactos ambientales.

¿Cuáles son las fuentes principales de hidrógeno blanco?

El hidrógeno es el elemento más abundante del universo y constituye una parte significativa de la Tierra. Por esto, a través de estudios geológicos, geoquímicos y geofísicos, se han identificado distintas fuentes de generación natural de este elemento, de las cuales las más estudiadas son:

- **Rocas ofiolíticas:** son ricas en hierro y, al tener contacto con el agua, generan un mineral llamado serpentina. En este proceso se libera hidrógeno.
- **Rocas ricas en minerales con hierro ferroso:** la interacción del agua a altas temperaturas con minerales con hierro ferroso produce una reacción en la que se transforma en hierro férrico y reduce el agua (pérdida de oxígeno), con la consecuente liberación de hidrógeno (H_2).
- **Proceso de radiólisis:** es cuando las moléculas del agua se dividen por efecto de la radiación (como los rayos X) que sale de elementos radiactivos como el torio, el uranio y el potasio, que están en algunas rocas de manera natural. Con este rompimiento del agua se forman hidrógeno (H_2) y oxígeno (O_2). También se producen pequeñas partículas muy reactivas que luego se combinan entre sí y generan todavía más hidrógeno natural (H_2).

— El hidrógeno es el elemento más abundante del universo y constituye una parte significativa de la Tierra.

- **Rocas ricas en materia orgánica sometida a altas temperaturas:** cuando las rocas que contienen muchos restos de plantas, animales y microorganismos en diversos estados de descomposición (materia orgánica en general), se calientan a temperaturas mayores a 150°C, producen hidrógeno natural (H₂) y al mismo tiempo gas natural. En esas condiciones ya no se forma petróleo.
- **Actividad del interior de la Tierra:** al ser el elemento más común del planeta, el hidrógeno se encuentra en el núcleo y el manto terrestre (hidrógeno primordial) y puede migrar a través de fallas geológicas profundas.

¿Por qué es una buena alternativa para diversificar la matriz energética?

El hidrógeno blanco es una buena alternativa para diversificar la matriz energética porque no pretende sustituir otros energéticos, sino complementar el sistema desde un enfoque no extractivista y de menor impacto ambiental, pues la energía se queda en el territorio. Se trata de un energético que se genera de manera natural, sin procesos antropogénicos que alteren la naturaleza y, cuando ocurre de forma espontánea, lo hace de manera constante, lo que abre la posibilidad de que no se agote si se identifica un sistema hidrogénico completo y activo.



En los procedimientos de medición de gases, los expertos hacen perforaciones superficiales (máximo un metro de profundidad) cada 500 metros.

El sistema está conformado por una roca generadora con propiedades químicas ricas en hierro o ricas en materia orgánica, condiciones de presión y temperatura asociadas al enterramiento, la presencia de agua que permite la generación del hidrógeno, y su migración a través de fracturas y fallas hacia una roca reservorio porosa, capaz de almacenarlo, sellada por una roca impermeable que evita su escape. Cuando el reservorio se alimenta de manera continua desde la roca fuente, el potencial energético se mantiene en el tiempo.

Además, la investigación del hidrógeno blanco puede aprovechar la información obtenida por el sector de los hidrocarburos en cuencas sedimentarias, reduciendo costos. A esto se suma que tiene múltiples aplicaciones, desde estufas de hidrógeno y generación de electricidad hasta transporte, lo que lo convierte en una opción estratégica para avanzar hacia una transición energética más sostenible.

Si bien, en el caso del hidrógeno blanco es necesario perforar el subsuelo para extraerlo, la vida útil de un pozo puede ser prolongada. En Mali, el único país donde actualmente existe un yacimiento de hidrógeno blanco en explotación, los habitantes del pueblo Bouraké-

bougou llevan más de 10 años beneficiándose de electricidad para sus casas a partir del gas extraído de un pozo. El reservorio se recarga de manera continua y la presión no ha disminuido, lo que sugiere que la generación de hidrógeno en el subsuelo no solo es sostenible en el tiempo, sino también muy rápida.

¿Por qué Mali fue el primer país donde esto ocurrió?

En gran parte fue producto del azar. Se trata de un pueblo de bajos recursos en donde hace unas tres décadas la población hizo una pequeña perforación de 100 metros en el suelo para buscar agua. En lugar de ello, descubrió hidrógeno natural. Sin embargo, en ese momento no se pensaba en este elemento como una fuente energética.

Luego de casi dos décadas, en el contexto de la búsqueda de energías limpias, algunos científicos empezaron a investigar qué pasaba allí y se dieron cuenta de que el gas que producía el pozo estaba compuesto en un 98 % por hidrógeno y 2 % por otros gases. Gracias a este hallazgo, hace más de 10 años se genera la electricidad que requiere el pueblo a través de una planta eléctrica que, en lugar de funcionar con ACPM (diésel), opera con hidrógeno.



La cuenca de los Llanos presenta periodos lluviosos durante el año, lo que exige planificación del trabajo de campo para las temporadas de verano.

¿Qué países están avanzando en el tema?

Además de Mali, Australia y Francia, también se registran avances importantes en Brasil, Rusia, Estados Unidos, Sudáfrica, Namibia, Marruecos y España. En general, los países que cuentan con cratones o rocas muy antiguas presentan un alto potencial, como ocurre en el caso de Brasil. Asimismo, se considera que toda la costa pacífica de Suramérica podría albergar sistemas generadores de hidrógeno debido a la presencia de cinturones ofiolíticos asociados a procesos de serpentización. Dado que se trata de un campo de estudio aún incipiente, es posible que existan muchas más fuentes de las que se conocen actualmente.

En Colombia, el Servicio Geológico Colombiano (SGC) ya inició investigaciones sobre rocas capaces de generar hidrógeno al entrar en contacto con el agua, en particular las ofiolitas, es decir, rocas oceánicas del Mesozoico ubicadas principalmente en el occidente del país. Hasta ahora se ha identificado que en la región Valle del Cauca-Patía existe una presencia considerable de este tipo de rocas, donde el SGC viene caracterizando la posible generación de hidrógeno blanco.

Por su parte, la cuenca de los Llanos Orientales se perfila como un área con alto potencial, ya que su secuencia sedimentaria reúne varios de los mecanismos generadores de hidrógeno conocidos y conforma un sistema hidrogénico activo. En las diferentes campañas de campo se ha registrado la presencia de hidrógeno en suelos, generalmente en altas concentraciones (>100 ppm), en distintos sectores de los departamentos de Meta y Casanare.

El estudio de las rocas de la cuenca de los Llanos Orientales ha identificado rocas muy antiguas del basamento, es decir aquellas formadas por el enfriamiento y la solidificación de magma (como el material fundido que sale de los volcanes) y conocidas como rocas ígneas. También se han identificado rocas más jóvenes formadas por acumulación y compactación de sedimentos, así como por grandes cantidades de materia orgánica y elementos radiactivos que pueden originar hidrógeno natural (H_2). Además, los análisis de gases en los pozos de la cuenca han encontrado concentraciones altas de hidrógeno natural (H_2) en el subsuelo.

Toda la información recopilada por el SGC con base en fichas gubernamentales, documentos técnicos oficiales y análisis de rocas del subsuelo, refuerza la idea de que el hidrógeno se ha podido generar de manera constante y a diferentes profundidades en el país.

— El estudio de las rocas de la cuenca de Los Llanos Orientales ha identificado rocas muy antiguas del basamento, es decir aquellas formadas por el enfriamiento y la solidificación de magma (como el material fundido que sale de los volcanes) y conocidas como rocas ígneas.

¿Qué está haciendo el SGC para conocer más sobre el hidrógeno blanco en Colombia?

El SGC, a través de su Dirección de Hidrocarburos, lidera desde 2023 la línea de investigación en hidrógeno blanco con el apoyo de grupos de trabajo de las direcciones técnicas de Geociencias Básicas y Recursos Minerales. La investigación se ha basado en información proveniente del repositorio oficial de Colombia BIP (Banco de Información Petrolera), administrado por el SGC, particularmente por el Servicio de Información de Exploración y Producción EPIS (por sus siglas en inglés) y la Litoteca Nacional. Del EPIS se ha consultado información digital de pozos y líneas sísmicas; y de la Litoteca Nacional, información de rocas extraídas de pozos (núcleos y ripios).

También se han utilizado imágenes satelitales de uso libre, cuyo análisis ha permitido identificar “círculos de hadas”, estructuras asociadas a emanaciones de hidrógeno en los suelos e interpretadas como evidencia de migración del gas hacia la superficie. Asimismo, se han registrado mediciones de concentración de hidrógeno en suelos, en diversas campañas de campo en la cuenca de Los Llanos.

Con base en el análisis e interpretación de esta información, los proyectos de exploración de hidrógeno natural del SGC han diseñado metodologías de trabajo e identificado elementos geológicos (rocas fuente) y procesos potenciales (evidencias de migración) que sugieren la existencia de sistemas hidrogénicos activos en Colombia.



Los 'círculos de hadas' son depresiones semicirculares en las que la vegetación es diferente o está ausente. Su presencia está asociada con la emanación de gases, entre ellos el hidrógeno blanco.

¿Cuáles han sido los avances del SGC en la investigación en hidrógeno blanco?

El objetivo del proyecto liderado por el SGC es la evaluación del potencial de hidrógeno natural en el país. Por lo tanto, los avances en el conocimiento son de gran relevancia para reducir el grado de incertidumbre sobre este tipo de hidrógeno aún poco conocido y estudiado. Asimismo, se ha logrado diseñar y consolidar una metodología de trabajo orientada al entendimiento de los sistemas hidrogénicos.

Para el caso de la cuenca de los Llanos Orientales se destacan los siguientes avances:

- Gracias al análisis de sensores remotos se ha identificado gran cantidad de “círculos de hadas”, con una alta densidad local. Se eligieron algunas de estas áreas para mediciones en campo y toma de muestras.
- Las concentraciones de hidrógeno presentes en los suelos de la cuenca, hasta ahora medidos en Meta y Casanare, registran altos valores.
- Las concentraciones de hidrógeno en el subsuelo, reportadas en algunos pozos inventariados en el proyecto, también registran valores elevados.
- Se han identificado algunas anomalías de amplitud en los datos sísmicos asociadas probablemente a chimeneas de gas, las cuales se propagan, al parecer,

desde el basamento. Es probable que se presente hidrógeno natural en estas emanaciones de gas.

- Hay niveles del mineral siderita que, al ser evaluados con técnicas de descomposición de materiales orgánicos a altas temperaturas (pirólisis), muestran que tienen un alto potencial para producir hidrógeno natural.

Se trata de un proceso que apenas comienza. El proyecto se encuentra en una etapa temprana de comprensión del potencial del hidrógeno, en la que se están construyendo metodologías de trabajo y abriendo nuevas líneas de investigación. El desarrollo es todavía incipiente y, a futuro, podrían surgir retos adicionales, especialmente si se confirma que el hidrógeno se presenta acompañado de otros tipos de gases.

¿Con quiénes estamos trabajando desde el SGC?

Hasta el momento en el SGC hemos intercambiado conocimiento con el Ministerio de Minas y Energía, en el marco de mesas técnicas, y ha realizado un primer acercamiento con Ecopetrol. Asimismo, hemos tenido reuniones técnicas con la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH). El objetivo es establecer futuras alianzas con otras instituciones para trabajar de manera conjunta, que permita acelerar resultados y optimizar recursos.

Adicionalmente, hemos contado con asesorías de expertos internacionales en la temática de hidrógeno blanco para las zonas de Llanos Orientales y Cauca-Patía.

¿Cuánto tarda un país en poder aprovechar esta opción energética luego de determinar que hay potencial?

El aprovechamiento del hidrógeno natural es un proceso largo y gradual, especialmente porque se trata de una temática relativamente nueva. Aunque ya se están identificando y caracterizando fuentes con potencial, el siguiente paso, luego de varios años de estudio, consiste en definir áreas exploratorias (*plays*) donde pueda iniciarse una fase formal de exploración. Esto implica la realización de estudios técnicos muy detallados y la perforación de pozos por parte de empresas especializadas.

Este proceso puede tardar entre 5 y 10 años, y solo después de ese tiempo es posible evaluar si existe viabilidad comercial, por ejemplo, para desarrollar una fuente de electricidad destinada a una población cercana. Esto requiere de cautela, ya que la identificación de potencial no significa que el recurso pueda aprovecharse de manera inmediata ni que esté listo para un desarrollo comercial.

— El aprovechamiento del hidrógeno natural es un proceso largo y gradual.

En Colombia, el decreto 2235 de 2023 del Ministerio de Minas y Energía dicta las disposiciones para promover la investigación, producción, almacenamiento, distribución y uso del hidrógeno. Sin embargo, aún no existe una regulación específica para el hidrógeno blanco. Los científicos creen que es necesario avanzar más en la identificación y caracterización de las fuentes de este tipo de hidrógeno para avanzar con su regulación.

Posibles aplicaciones del hidrógeno blanco en Colombia

Este proyecto se planteó como una fuente de energía alternativa para los lugares no interconectados a la red energética nacional. Por eso, si se llegara a encontrar hidrógeno en esos lugares alejados podría impulsarse una transición hacia esta fuente de energía más limpia. En caso de que el potencial fuera mayor, lo que es una posibilidad, la información que actualmente se está recaudando serviría como base para la toma de decisiones normativas y para definir estrategias de aprovechamiento del recurso a escala nacional.

En muchos países, el hidrógeno blanco se utiliza para alimentar plantas de generación eléctrica, vehículos y redes eléctricas. También puede sustituir fuentes tradicionales de energía a un menor costo. Algunos estudios preliminares sugieren que este es abundante y técnicamente explotable, y su producción podría llegar a ser hasta diez veces más económica que la del hidrógeno verde. Por ahora, en Colombia, la prioridad es saber qué tanto hidrógeno blanco podría obtenerse y definir bajo qué condiciones técnicas, ambientales y económicas sería viable su aprovechamiento.

SERVICIO
GEOLÓGICO
COLOMBIANO



Solicitudes de medios con:

Mónica Jaramillo Arias

Enlace de prensa

medios@sgc.gov.co

+57 312 504 7242

© David Amado Pintor - SGC



@sgcol



Servicio Geológico Colombiano



@serviciogeologicocolombiano



www.sgc.gov.co