

# Programa de Innovación abierta: OPEN INNOVATION HUB HIDRÓGENO

## Antecedentes

El hidrógeno es un elemento abundante en la naturaleza, su versatilidad hace que tenga usos importantes como combustible, materia prima en procesos industriales y como vector energético. El surgimiento del Hidrógeno como una solución de descarbonización genera la oportunidad de cambiar de forma significativa los paradigmas de generación, transporte y almacenamiento de energía y se perfila como un gran componente dentro de la estrategia de integración de energías renovables no convencionales -junto con otras formas de almacenamiento- en la creación de la economía de bajo carbono del futuro. De la misma forma, reemplazar el hidrógeno gris por hidrógeno verde en procesos industriales es también una forma de reducir la huella de carbono de productos que hoy lo usan como materia prima, como es el caso de fertilizantes, combustibles, entre otras aplicaciones.

A pesar de que la mayor parte del hidrógeno que se produce y se consume en el mundo hoy proviene de fuentes que generan emisiones de dióxido de carbono - CO<sub>2</sub> (e.g. a través de reformado de metano), la reducción en los costos de los electrificadores, así como el advenimiento de las energías de bajas emisiones, ponen cada vez más cerca al hidrógeno verde de ser una alternativa costo-eficiente para la descarbonización de algunos procesos.

## La convocatoria y los retos

En una colaboración entre Ecopetrol, la Cámara de Hidrógeno de la Andi-Naturgás y Connect Bogotá se desarrolló un trabajo de identificación de los retos más relevantes que merecen la pena ser resueltos relacionados con la creación de una economía de hidrógeno verde en el país. En la formulación de estos retos participaron expertos de empresas, universidades y de Connect. De este ejercicio de identificación de oportunidades y retos resultan doce temas, agrupados en tres verticales como aparece en la ilustración 1.

El propósito de la convocatoria es, a través de un proceso de innovación abierta, identificar, priorizar y eventualmente desarrollar pilotos que respondan a las preguntas o retos que se han priorizado, para el desarrollo de la “Economía de Hidrógeno en Colombia”.



Ilustración 1. Lista de temas y verticales identificadas.

Se priorizan los temas asociados a generación de demanda (vertical 1) resultando tres grandes temas a saber:

1. Transportar mezclas de hidrógeno y gas natural, por los sistemas de transporte y distribución del país, de forma segura y eficiente
2. Usar mezclas de hidrógeno con otros combustibles o hidrógeno puro en la infraestructura y tecnologías de uso final existentes de forma segura, eficiente y con bajas inversiones.
3. Crear nuevos modelos de negocio que incentiven el desarrollo una economía de hidrógeno de bajo carbono

**Reto 1:**

¿Cómo identificar la condición real de los sistemas de transporte de gas natural existentes para adaptarla para transporte y distribución de hidrógeno o mezclas de hidrógeno/metano de forma segura y eficiente?

Colombia tiene una extensa red de transporte y distribución de gas natural que le permite tener una cobertura de cerca del 80% de los hogares y de la industria. Estas redes están concebidas y diseñadas para el transporte de gas natural -metano, CH<sub>4</sub>- y se quiere explorar su idoneidad para el transporte de mezclas de metano/hidrógeno (CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>) de forma segura y eficiente. Las condiciones de transporte y almacenamiento de hidrógeno, o de las mezclas de hidrógeno/metano pueden requerir de equipos de seguridad, medición y control diferentes a las existentes, además, es conocido también que la densidad energética por volumen del H<sub>2</sub> es menor que las del CH<sub>4</sub>. Por lo tanto, es necesario determinar si los materiales de tuberías y empaques, equipos de medición, control, monitoreo y seguridad, accesorios y demás infraestructura existente para el transporte de gas natural es o no idónea para el transporte de mezclas de metano/hidrógeno. Además del inventario de redes de transporte y distribución, es necesario contar con información de la geolocalización de la infraestructura, determinar su estado actual, hacer recomendaciones de los cambios que es necesario hacer para transportar las mezclas y determinar la relación máxima de metano/hidrógeno que se puede transportar de manera eficiente en términos de costo/beneficio y seguridad.

## Soluciones

La solución mínima viable debe tener por lo menos los siguientes elementos:

- Una metodología y herramientas de hardware y/o software, que incluyan mecanismos de identificación, caracterización, evaluación, certificación, estado actual (e.g. corrosión, desgaste, materiales, recubrimientos, etc.) y geolocalización de los componentes críticos de transporte y almacenamiento de gas natural en las redes de transporte y distribución, incluyendo pero sin limitarse a las tuberías, elementos de control, medición y seguridad, tanques de almacenamiento, equipos de licuefacción y regasificación, gasoductos virtuales (carrotanques u otros mecanismos de transporte diferentes a gasoductos) y en general toda la infraestructura requerida, que permitan tomar decisiones sobre su idoneidad para el transporte de hidrógeno o de mezclas de gas natural/hidrógeno (CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>) en diferentes proporciones. Preferiblemente, de forma automática o semi/automática, usando analítica, inteligencia artificial, aprendizaje de

máquina entre otras y las herramientas que sean necesarias donde esta información no exista o no sea confiable (e.g. Smart pigs)

- Una metodología y herramientas que permitan identificar los elementos de la red que deben cambiarse/repotenciarse para poder transportar H<sub>2</sub> o mezclas de CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub> de forma segura y eficiente.
- Una metodología y herramientas de hardware o de software, o cualquier otro mecanismo idóneo, que permita definir las proporciones de mezclas óptimas de metano/hidrógeno dadas las condiciones actuales de las redes de transporte/distribución de gas natural existentes de forma eficiente y segura.
- Una metodología y herramientas para hacer el análisis de la viabilidad técnica y económica de reusar/repotenciar la infraestructura existente vs. otras soluciones de transporte de hidrógeno o mezclas de metano/hidrógeno.

Los criterios de evaluación de las soluciones que se presentarán a las empresas retadoras son los siguientes:

- Las tecnologías individuales, o combinadas que se usen para la solución del reto, deben tener un TRL mínimo de 5.
- Las empresas solucionadoras deberán mostrar experiencia en el uso de dichas tecnologías para resolver retos similares (no necesariamente en Hidrógeno o en mezclas, aunque se priorizarán aquellas con experiencia en Hidrógeno)
- Si existe propiedad intelectual asociada a estas tecnologías, deberán declarar que son propietarias de esta, o que tienen permiso o licencia de los propietarios para su uso en las soluciones a este reto.
- Si la solución no tiene todos los elementos arriba descritos, se podrán considerar soluciones parciales, o soluciones donde la adaptación/asimilación de la tecnología se pueda hacer en co-creación con las empresas retadoras. En dicho caso, las condiciones generales, y en particular las asociadas a la propiedad intelectual resultante deberán ser negociadas entre retadores y solucionadores.
- Las entidades solucionadoras deberán poder contratar con empresas en Colombia, en especial con las empresas retadoras, y no deben aparecer en ninguna lista de control de SARLAFT.
- Las soluciones serán evaluadas por un panel de expertos conformados por las empresas retadoras y las organizaciones promotoras de esta convocatoria (Ecopetrol, Connect y la Cámara de Hidrógeno de la ANDI - Naturgas)

**Reto 2:**

¿Cómo se pueden usar la infraestructura y tecnologías de uso final actuales de gas natural o de otros combustibles con hidrógeno o mezclas hidrógeno/otros combustibles de forma segura, eficiente y con bajas inversiones?

El Hidrógeno en la actualidad se usa en diversas aplicaciones industriales, siendo este hidrógeno gris en casi su totalidad. Las aplicaciones actuales más relevantes son el hidrocrackeo en refinerías, como agente reductor en procesos de conversión de mineral de hierro en siderúrgicas y como elemento dentro de la síntesis de amoníaco y de metanol. Existen numerosas iniciativas de generación de demanda nueva de hidrógeno en transporte marítimo, aéreo y terrestre, en el sector de energía, en la generación de calor en equipos mayores en industria (e.g. Calderas y hornos), en la generación de electricidad (e.g. uso de surplus de energías renovables no convencionales para almacenamiento y transporte de energía en forma de hidrógeno, y la sustitución de combustibles fósiles en la generación de energía eléctrica). Se espera también que el hidrógeno tenga aplicaciones no industriales, en pequeños comercios y hogares, por ejemplo, en mezclas con gas natural para uso en gasodomésticos y aplicaciones de consumo masivo.

Son de especial interés las aplicaciones donde el uso del hidrógeno como vector energético para reducir o eliminar las emisiones de dióxido de carbono sean viables. Por ejemplo, en transporte las mezclas con otros combustibles como el Diesel; en generación de energía térmica como sustituto total o parcial del gas natural, el carbón, el fueloil u otros combustibles fósiles en calderas, hornos y otros equipos mayores; en gasodomésticos y electrodomésticos o en equipos menores como calentadores, estufas y hornos de uso doméstico o industrial de menor escala.

En estas aplicaciones, que se muestran de manera indicativa, existe ya una infraestructura de transporte y almacenamiento de gas natural y de otros energéticos, así como equipos de uso final (quemadores, motores de combustión interna, etc.) El reto consiste en i) identificar, caracterizar y determinar la idoneidad de la infraestructura existente para usar hidrógeno o mezclas de hidrógeno con otros combustibles ya usados en esas aplicaciones y definir los cambios o adaptaciones necesarias para usar Hidrógeno o mezclas de Hidrógeno, ii) determinar las mezclas viables en términos económicos, técnicos y de seguridad en cada una de las aplicaciones de uso final identificadas y iii) identificar nuevas aplicaciones de uso final donde el hidrógeno tenga potencial de reemplazar otras fuentes energéticas que emiten dióxido de carbono.

## Soluciones

### Contenido de la solución mínima viable

La solución mínima viable debe tener por lo menos los siguientes elementos:

- Una metodología y herramientas de hardware y/o software, que incluyan mecanismos de identificación, caracterización, evaluación, certificación de redes e infraestructura y equipos de uso final en las aplicaciones donde el hidrógeno pueda reemplazar otros energéticos, en especial, pero sin limitarse a, aplicaciones en transporte (e.g. mezclas con diésel, gas natural u otros combustibles fósiles); reemplazo total o parcial del gas natural en equipos industriales mayores (e.g. calderas, hornos, extrusoras, sistemas de calefacción, etc.); reemplazo total o parcial del gas natural u otros combustibles fósiles en aplicaciones menores como hornos, calentadores de agua, estufas, y otras máquinas usadas en pequeña industria, comercio y hogares; reemplazo total o parcial de combustibles fósiles en sistemas de generación de energía o electrificación de sistemas no interconectados a la red, que permita tomar decisiones sobre su idoneidad para el transporte y uso de hidrógeno o de mezclas de gas natural/hidrógeno (CH<sub>4</sub>/H<sub>2</sub>) o de gas natural/otros combustibles en diferentes proporciones.
- Una metodología y un sistema, que puede ser un software, una base de datos, una calculadora, elementos de hardware, o cualquier otro mecanismo idóneo, que permita definir las proporciones de mezclas óptimas de hidrógeno/otro combustible para las aplicaciones definidas.
- Una metodología y una herramienta que permita identificar los elementos de la red de uso final que deben cambiarse/repotenciarse para poder usar hidrógeno o mezclas de hidrógeno con los otros combustibles.
- 

Los criterios de evaluación de las soluciones que se presentarán a las empresas retadoras son los siguientes:

- Las tecnologías individuales, o combinadas que se usen para la solución del reto, deben tener un TRL mínimo de 7.
- Las empresas solucionadoras deberán mostrar experiencia en el uso de dichas tecnologías para resolver retos similares (no necesariamente en Hidrógeno o en mezclas, aunque se priorizarán aquellas con experiencia en Hidrógeno)
- Si existe propiedad intelectual asociada a estas tecnologías, deberán declarar que son propietarias de esta, o que tienen permiso o licencia de los propietarios para su uso en las soluciones a este reto.
- Si la solución no tiene todos los elementos arriba descritos, se podrán considerar soluciones parciales, o soluciones donde la adaptación/asimilación de la tecnología se pueda hacer en co-creación con las empresas retadoras. En dicho caso, las condiciones generales, y en

particular las asociadas a la propiedad intelectual resultante deberán ser negociadas entre retadores y solucionadores.

- Las entidades solucionadoras deberán poder contratar con empresas en Colombia, en especial con las empresas retadoras, y no deben aparecer en ninguna lista de control de SARLAFT.
- Las soluciones serán evaluadas por un panel de expertos conformados por las empresas retadoras y las organizaciones promotoras de esta convocatoria (Ecopetrol, Connect y la Cámara de Hidrógeno de la ANDI - Naturgas).

### Reto 3:

¿Cómo se puede incentivar el desarrollo de una economía de hidrógeno de bajo carbono a través de la creación de nuevos modelos de negocio?

Las aplicaciones más conocidas del Hidrógeno son como reactivo o catalizador en reacciones químicas para la producción de hidrocarburos, fertilizantes y metanol o como agente reductor en siderúrgicas. Pensar el hidrógeno como un vector energético abre nuevas posibilidades para su uso, por ejemplo, para almacenar y transportar energía que puede ser usada en la descarbonización de procesos tales como transporte terrestre, marítimo y aéreo, para la producción de combustibles sintéticos, para el reemplazo de gas natural en aplicaciones industriales, comerciales y domésticas, entre una larga lista de potenciales aplicaciones. Adicionalmente existe un gran mercado de hidrógeno verde para exportación.

En Colombia existen numerosas empresas, entre ellas las que son miembro de la cámara de Hidrógeno de la Andi - Naturgás, que están trabajando en el desarrollo de mercados y aplicaciones, y que han hecho o están planeando hacer, pilotos de demostración tecnológica, de aplicaciones o de mercados.

El desarrollo de modelos de negocio nuevos en hidrógeno requiere un extenso conocimiento sobre los inductores de costo y los inductores de valor que permitan tener casos de negocio viables. La información agregada de tamaños de mercado y potenciales aplicaciones es casi inexistente y el desarrollo de este conocimiento exige tiempo, experimentación y es costoso. El tema es tan grande y complejo, que ninguna de las empresas participantes entrevistadas considera que lo puede hacer sola, y consideran que es mejor trabajar, en estas etapas pre-competitivas de desarrollo de negocios, en modelos de colaboración con las otras empresas del sector. Cada una encontrará su espacio en la cadena de valor y podrá desarrollar, con el conocimiento de costo, valor y mercados, sus propios modelos de negocio.

El reto es entonces el diseño de modelos de negocio novedosos, que permita el desarrollo de una economía de hidrógeno de bajo carbono, que considere las aplicaciones en cada mercado de interés, con sus requerimientos, sus inductores de costo y sus inductores de valor, los tamaños de mercado, los clientes potenciales.

## Soluciones

### Contenido de la solución mínima viable

La solución mínima viable debe tener por lo menos los siguientes elementos:

- Uno o varios modelos de negocio con hidrógeno de bajo carbono, que considere los requerimientos de mercado y las aplicaciones para este energético, o sus mezclas con otros combustibles, que incluya el modelado de mercados de hidrógeno, por ejemplo, usando metodologías de market

blueprinting u otra idónea. El modelado de mercados para los modelos de negocio debe incluir por lo menos, aspectos regulatorios, normativos, tributarios, técnicos, requerimientos de clientes/aplicaciones, inductores de costo y de valor, estrategia de pricing, competidores, estrategia aparente de competidores y dimensionamiento de mercados (Total Addressable Market, Total Accesible market), potenciales clientes y aplicaciones futuras.

- Herramientas de análisis de información y creación de casos de negocio para estos modelos de negocio. Las empresas retadoras o participantes deben poder continuar alimentando el modelo de datos de mercado y requerimientos para adaptar los modelos de negocio a sus necesidades particulares.
- La solución debe permitir que las empresas hagan sus modelos financieros y casos de negocio de forma privada para cada modelo de negocio presentado.

Los criterios de evaluación de las soluciones que se presentarán a las empresas retadoras son los siguientes:

- Las tecnologías individuales, o combinadas que se usen para la solución del reto, deben tener un TRL mínimo de 7. Los modelos de negocio deben estar mínimo en BRL mínimo de 7.
- Si existe propiedad intelectual asociada a los casos de negocio, deberán declarar que son propietarias de esta, o que tienen permiso o licencia de los propietarios para su uso en las soluciones a este reto.
- Si la solución no tiene todos los elementos arriba descritos, se podrán considerar soluciones parciales, o soluciones donde la adaptación/asimilación de la tecnología se pueda hacer en co-creación con las empresas retadoras. En dicho caso, las condiciones generales, y en particular las asociadas a la propiedad intelectual resultante deberán ser negociadas entre retadores y solucionadores.
- Las entidades solucionadoras deberán poder contratar con empresas en Colombia, en especial con las empresas retadoras, y no deben aparecer en ninguna lista de control de SARLAFT.
- Las soluciones serán evaluadas por un panel de expertos conformados por las empresas retadoras y las organizaciones promotoras de esta convocatoria (Ecopetrol, Connect y la Cámara de Hidrógeno de la ANDI - Naturgás).

## Anexo 1: Definición de TRL<sup>1</sup>

**TRL 1:** Principios básicos observados y reportados.

**TRL 2:** Concepto y/o aplicación tecnológica formulada.

**TRL 3:** Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica .

**TRL 4:** Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio.

**TRL 5:** Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante.

**TRL 6:** Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante

**TRL 7:** Demostración de sistema o prototipo en un entorno real.

**TRL 8:** Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones.

**TRL 9:** Sistema probado con éxito en entorno real

---

<sup>1</sup> Tomado de Mincotur.gob.es. Accedido el 07.12.2022.

<https://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/393/NOTAS.pdf>.

## Anexo 2 BRL<sup>2</sup> (Business Readiness Level)

**BRL1: Concepto:** La primera idea de un emprendimiento o una innovación.

**BRL2: Ajuste Problema-Solución:** El problema ha sido identificado y la solución propuesta lo abordará

**BRL3: Construir equipo y Plan.** Se conocen las habilidades requeridas y se forma un equipo

**BRL4: Definición de Cliente** El segmento de clientes es conocido y está bien definido, incluidas las características de los clientes.

**BRL5: Prueba de hipótesis** Tener una lista de hipótesis que se pueden probar.

**BRL6: Producto Mínimo Viable** Business Readiness Level 6 se puede caracterizar como: Haber lanzado un MVP

**BRL7: Retroalimentación del mercado** El ciclo de retroalimentación de las funciones que se desarrollan junto con los primeros usuarios y los clientes

**BRL8: Escalado** Un producto o servicio se ha desarrollado más allá de una etapa MVP

**BRL9: negocio totalmente integrado** Un modelo de negocio o empresa que está totalmente integrado en un mercado (o muchos mercados)

---

<sup>2</sup> Tomado de: <https://businessreadinesslevels.wordpress.com/what-are-the-business-readiness-levels/>