

Retos Econova #SosTECnibilidad®

Brief de conceptualización de retos de innovación abierta

Reto #3:

¿Cómo podríamos capturar el sulfuro de hidrógeno (H_2S) diluido en gas, durante las etapas de extracción, recolección, separación y tratamiento de hidrocarburos para proteger la integridad de los equipos y la salud de los operadores?

➤ Vicepresidencia de Exploración, Desarrollo y Producción



Apoya:



CONNECT

OLIVIA

Organizan:



ParqueSoft®
Meta y Amazoninoquia



ECONOVA

RETO #3	¿Cómo podríamos capturar el sulfuro de hidrógeno (H ₂ S) diluido en gas, durante las etapas de extracción, recolección, separación y tratamiento de hidrocarburos para proteger la integridad de los equipos y la salud de los operadores?	Tipo	Táctico
		Segmento	Corporativo / Upstream / Downstream / Midstream / Industria / Bajas Emisiones
		Estado	En construcción / En validación / Aprobado para convocatoria / Lanzado
		Fecha de aprobación GNN	26/08/2025

DATOS BÁSICOS DEL RETO

Descripción corta del reto	Se requieren propuestas de tecnologías con un nivel de maduración suficiente (TLR≥ 4), que permita implementar un prototipo con capacidades de trabajar efectivamente en flujos de gas entre 3.5 y 14 MMcf/día (millones de pies cúbicos estándar por día) en ambiente relevante de operación de la Regional Orinoquia. La solución debe capturar y/o reducir las concentraciones de Sulfuro de Hidrógeno (H₂S) presente en el gas natural asociado a la producción. La solución debe brindar una eficiencia de remoción de ≥98% ó ≤ 4 ppm de H₂S en el gas, asegurando condiciones óptimas de seguridad y salud en el trabajo. Se esperan soluciones robustas y con un alto potencial de escalado industrial, que fortalezcan las alternativas de tratamiento de gas natural en ECOPETROL bajo los principios de SOSTECnibilidad y Economía circular. Las soluciones deberán disminuir o mitigar los costos operativos actuales por m³ de gas natural tratado, asegurando eficiencia energética en el proceso de captura. Aunque, las soluciones propuestas deben enfocarse en capturar y disminuir los índices de H₂S en gas, es deseable que la solución sea extensiva a incluir sistemas de monitoreo o medición en tiempo real para concentraciones de H₂S, garantizando la eficiencia de remoción instantánea de H₂S y la toma de decisiones rápidas en operación. Por último, se espera un modelo negocio y un análisis de escalabilidad tecnológica.
----------------------------	--

Filiales y/o Aliados estratégicos

N/A			
Fuente de financiación	Cartera de Innovación - Operación tercerizada con ParqueSoft Convenio Específico de Ciencia y Tecnología No.3054627	Valor total	Máximo \$240'533.333 millones de pesos colombianos (COP) como incentivo a entregar al innovador, para efectos de la ejecución del piloto.

DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Población Afectada	Departamento Regional de Ingeniería de Orinoquia, específicamente los colaboradores enfocados en procesos operativos Upstream del Grupo Ecopetrol, que realizan procesos de extracción, recolección, separación y tratamiento de hidrocarburos y tratamiento de gas natural.	Línea Base	Línea Base 1. Concentración actual de H ₂ S presente en el gas natural de producción. Línea Base 2. Costos actuales de tratamiento.
--------------------	--	------------	---

Actualmente, se cuenta con sulfuro de hidrógeno (H₂S) presente en el gas natural asociado a la producción de los campos Apiay y Chichimene. Esto representa un problema, dado que el H₂S es una sustancia química de suma atención: es incoloro y odorífero (su olor es como de huevos podridos), tóxico, inflamable, explosivo y corrosivo; y, por lo tanto, para mitigar su impacto, es necesario capturarlo, tratarlo y eliminarlo de diversas fuentes emisoras.

El H₂S tiene como fuente de origen la descomposición bacteriana de materia orgánica por inyección de agua, geotérmica, el H₂S que se produce en manantiales, pantanos, depósitos de azufre y/o yacimientos hidrocarburiíferos; así como de fuentes generadas por las actividades realizadas exclusivamente por los seres humanos. Entre estas causas que contribuyen a la liberación de H₂S, provienen principalmente del procesamiento del petróleo y el gas natural. Otras causas antropogénicas que liberan esta sustancia peligrosa incluyen los residuos urbanos, la producción de biogás y las aguas servidas que se eliminan en los sistemas de alcantarillado.

Algunos de los posibles riesgos generados por el H₂S son:

- Riesgos para la salud humana y la seguridad en el trabajo al ser extremadamente tóxico (puede ser mortal con solo una inhalación).

Una alta exposición a gases tóxicos de H₂S, puede generar complicaciones en la salud. Actualmente el Grupo Ecopetrol cumple con todos los lineamientos internacionales, particularmente los proporcionados por la ACGIH® (*American Conference of Governmental Industrial Hygienists*) correspondientes para preservar la salud y la vida de los colaboradores. Sin embargo, se buscan fortalecer esfuerzos con relación a la captura del H₂S para disminuir el riesgo de impacto para la vida.

El principio "Primero la Vida" de Ecopetrol es un compromiso fundamental que prioriza la seguridad y el bienestar de las personas en todas sus operaciones y actividades. Este principio se refleja en la cultura de la empresa, donde se promueve el autocuidado, el cumplimiento de normas de seguridad y la protección del entorno. Por esta razón, este parámetro es de suma importancia dado que es uno de los principios culturales más importantes para Ecopetrol.

- **Corrosión y daños a la infraestructura: en todas las infraestructuras metálicas que puedan corroerse y queden expuestos al H₂S.**

En la explotación de hidrocarburos, el fluido que se produce contiene agua proveniente de las formaciones geológicas. Si el gas contiene CO₂ y/o H₂S se produce un fenómeno corrosivo. El H₂S reacciona con los metales sometidos a tensión en presencia de agua, lo que provoca agrietamiento por tensión por sulfuro (SSS). Este tipo de corrosión de fragilización por hidrógeno se caracteriza por la formación de grietas en la superficie metálica, lo que puede llevar a fallas catastróficas en equipos industriales como tuberías y recipientes a presión.

Para Ecopetrol, la Integridad de los Activos incluye un conjunto de prácticas y principios que aseguran la confiabilidad, seguridad y eficiencia operativa de los activos de la empresa. Se fundamenta en pilares como la ética, el cumplimiento, la transparencia y la gestión de riesgos, buscando prevenir fraudes, corrupción y otros actos ilícitos que puedan afectar la integridad de los activos.

- **Cumplimiento normativo para calidad del aire por emisiones de H₂S y de comercialización del gas natural para transporte por gasoducto.**

Si bien actualmente se cumplen con todas las regulaciones normativas por emisiones de H₂S y de comercialización del gas natural para transporte por gasoducto, es importante tener este riesgo presente con el fin de garantizar el cumplimiento de la normativa vigente.

En Ecopetrol S.A se garantiza el cumplimiento de las regulaciones ambientales y de seguridad de procesos relacionadas al H₂S, sin embargo, es fundamental mantener los pilares clave de Ética y Transparencia y Cumplimiento Legal normativo donde en la Integridad de los Activos promueve el cumplimiento con las normas internas y externas, leyes y regulaciones aplicables a sus operaciones, incluyendo aquellas relacionadas con la seguridad, el medio ambiente y la prevención de la corrupción.

Es importante tener como contexto que, en Colombia, la quema en tea de gas natural con contenido de H₂S está prohibida. En relación con el H₂S, la Resolución 40066 de 2022 expedida por el Ministerio de Minas y Energía, exige que las Compañías Operadoras contemplen en sus diseños, la instalación de equipos y procedimientos para tratar este compuesto en la corriente de gas de quema, como lavadores de gases (scrubbers) u otros métodos correctivos para minimizar su impacto ambiental.

- **Impacto financiero de los tratamientos para la eliminación de h₂s de una corriente de gas natural.**

Los impactos financieros potenciales de lograr capturar el H₂S son diversos entre los cuales están:

1. La apertura de posibles negocios en relación con la venta del gas dentro de los límites permitidos de la presencia del H₂S.
2. La disminución de riesgo de multas o suspensión temporal de actividades por presencia del H₂S fuera de límites permitidos.
3. Disminución de posibles impactos en la operación derivados de afectación de los activos por corrosiones generadas por H₂S
4. Disminución de tasas de aseguramiento frente a aseguradoras.

El segmento de remoción de gases ácidos a nivel mundial representa aproximadamente el 32.8% del mercado de tratamiento de gas natural en 2025¹, lo que indica que el tratamiento de H₂S constituye una parte sustancial de los costos operativos de la industria.

La eficiencia operativa en Ecopetrol se enfoca en maximizar la producción, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, a través de la innovación, la gestión de riesgos y la sostenibilidad. También, se enfoca en la eficiencia energética de sus procesos, en la reducción del consumo de energía en sus operaciones, implementando tecnologías y procesos que maximicen el uso eficiente de los recursos.

En general y para afrontar este reto, es crucial adoptar el concepto del pilar "Generar Valor con Sostenibilidad" adjudicado a la estrategia 2040 de Ecopetrol, el cual busca:

"Fortalecer los lazos de confianza transparentes y éticos con los grupos de interés con los que el Grupo Ecopetrol se relaciona, con elevados estándares de gobierno corporativo, para lograr operaciones ambientalmente responsables, seguras y eficientes en las que la innovación y la tecnología actúan como un catalizador para acelerar las soluciones a los retos futuros"

Para ello se cuenta con 5 líneas estratégicas, sin embargo, para este reto se debe tener presente la siguiente línea: (i) construir y generar valor por medio de una producción eficiente, limpia y segura.

¹ Oil and Gas market size & share analysis – Growth Trends and Forecast (2025 – 2032). www.kingsresearch.com

Antecedentes

Actualmente se han utilizado tecnologías de adsorción de H₂S con carbón activado impregnado que permite adsorber el H₂S de las operaciones. Además de explorar las tecnologías de adsorción a través de diversos productos comerciales.

El H₂S es uno de los gases más peligrosos en entornos industriales según la OSHA. Según La Oficina de Estadísticas Laborales de Estados Unidos (*Bureau of Labor Statistics – BLS*), entre los años 2001 y 2010, se produjeron 60 muertes por exposición a gas de sulfuro de hidrógeno en los Estados Unidos, lo que equivale a un promedio de muerte por esta causa, de unas 5 personas al año; cifra que va en aumento, pues según datos más recientes de la BLS, en 2018 se reportaron unas 130 muertes laborales por H₂S de trabajadores del sector de la minería y la extracción de petróleo y gas en el territorio de los Estados Unidos².

Ecopetrol S.A. ha adoptado los límites umbral establecidos por la **AIHA** (*American Industrial Hygiene Association*) para exposición aguda o de corto plazo al H₂S y como guía para la planeación de la respuesta a emergencias por liberación de H₂S en el aire, clasificados en tres niveles de ERPG (*Emergency Response Planning Guides*), según el orden de gravedad de su efecto en la salud de las personas expuestas:

- **ERPG-1:** La máxima concentración aérea bajo la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos hasta por una hora sin experimentar más que efectos de salud leves y temporales o donde no se percibe claramente un olor desagradable.
- **ERPG-2:** La máxima concentración aérea bajo la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos hasta por una hora sin experimentar o desarrollar efectos de salud serios o irreversibles o síntomas que pudieran dañar la habilidad del individuo para tomar acción protectora.
- **ERPG-3:** La máxima concentración aérea bajo la cual se cree que casi todos los individuos podrían estar expuestos para empezar a experimentar o desarrollar efectos de salud que amenacen su vida.

ERPGs	H ₂ S (Sulfuro de Hidrógeno)
ERPG-1	0,1 ppm *
ERPG-2	30 ppm
ERPG-3	100 ppm

Tabla 3. Límites de AIHA para H₂S. Fuente: ECP-HSE-G-014 Guía para el Manejo de Emergencias por Exposición Aguda a Gases Tóxicos (H₂S, SO₂, CO)

Si bien en la industria del petróleo y el gas, se han desarrollado algunas tecnologías a escala comercial para la captura, tratamiento y eliminación del H₂S, éstas distan mucho de ser perfectas; por lo tanto, aún existe una amplia oportunidad de mejora y optimización para lograr una mayor capacidad de separación de H₂S de una corriente de gas natural a más bajo costo.

En línea con lo anterior, se conoce de la existencia de diferentes tecnologías disruptivas para la separación efectiva del H₂S del gas natural asociado a la producción de pozos en campos petroleros de crudo pesado y extrapesado, que se pueden clasificar en tres (3) grandes grupos: Absorción, Adsorción y Membranas. Se trata de tecnologías emergentes, que ofrecen ventajas significativas sobre los métodos convencionales en términos de eficiencia, costo operativo y protección a las personas, al ambiente y a la integridad de los activos.

ALCANCE			
Objetivo General	Mejorar la eficiencia operativa del gas natural asociado a la producción de hidrocarburos, protegiendo la integridad de los activos y garantizando un espacio de trabajo sano y seguro.	Indicador y meta	Indicadores: Línea Base 1. Concentración actual de H₂S presentes en el gas natural de producción. Línea Base 2. Costo operativo actual por m³ de gas natural tratado. Metas: Línea Base 1. ≤4 ppmV de H₂S en gas natural. Línea Base 2. Disminuir el indicador costo/ m³
Objetivos Específicos	E1: Reducir la concentración de H ₂ S presente en el gas de producción.	Indicador y meta E1	Indicador: Concentración actual de H₂S presentes en el gas natural de producción. Meta: ≤4 ppmV de H₂S en gas natural.
	E2: Medir la eficiencia de remoción del H ₂ S capturado.	Indicador y meta E2	Indicador: Eficiencia de remoción H₂S instantánea (%) actual. Meta: ≥98% Eficiencia de remoción H₂S instantánea (%) sujeto a la tecnología propuesta.
	E3: Reducir los costos de tratamiento del H ₂ S en gas	Indicador y meta E3	Indicador: Costo operativo actual por m³ de gas natural tratado. Meta: Disminuir el indicador costo/ m³

² <https://loncarlyonjenkins.com/faqs/how-many-people-die-from-h2s-a-year/>

	E4: Garantizar eficiencia energética en el tratamiento del H ₂ S en gas.	Indicador y meta E4	Indicador: Consumo energético específico actual (kWh/kg H ₂ S removido). Meta: Disminuir el indicador kWh/kg H ₂ S removido
	E5. Proyectar la tecnología hacia la escalabilidad por medio de una propuesta diferenciada	Indicador y meta E5	Indicador: Antecedentes de soluciones implementadas y/o escaladas Meta: Análisis de escalabilidad tecnológica
Público objetivo	Departamento Regional de Ingeniería de Orinoquía, específicamente los colaboradores enfocados en procesos operativos Upstream del Grupo Ecopetrol, que realizan procesos de extracción, recolección, separación y tratamiento de hidrocarburos y tratamiento de gas natural.	Localización	En el departamento del Meta, específicamente en el campo Apiay. (se evaluará el lugar idóneo con base en la solución presentada)
Partes Interesadas	Parte Interesada 1: Cormacarena- Corporación para el Desarrollo Sostenible del Área de Manejo Especial La Macarena Alcance: Nacional. Posición: Entidad de control. Expectativas: Generar menores emisiones de H₂S al medio ambiente. Contribución: Seguimiento al desempeño del proceso de tratamiento de gas natural con la tecnología. Parte Interesada 2: Ministerio de Trabajo- Auditorias Alcance: Regional. Posición: Entidad de control. Expectativas: Generar menores impactos a la salud de los trabajadores Contribución: Seguimiento al desempeño del proceso de tratamiento de gas natural con la tecnología. Parte Interesada 3: Agencia Nacional de Hidrocarburos Alcance: Nacional. Posición: Entidad fiscalización y control Expectativas: Garantizar el cumplimiento de la resolución 40066 de 2022 donde se especifica los parámetros de quema en TEA de gas natural con H₂S. Contribución: Seguimiento al desempeño del proceso de tratamiento de gas natural con la tecnología. Parte interesada 4: Empresas del sector de hidrocarburos. Alcance: Nacional. Posición: Competidor. Expectativas: Consolidación de ventaja competitiva en el manejo eficiente del gas natural. Contribución: Cliente futuro de la tecnología. Parte Interesada 5: Comunidades aledañas a la operación. Alcance: Regional. Posición: Usuario/beneficiario. Expectativas: Contribuir a evitar afectaciones causadas por el H₂S en el ambiente. Contribución: Mejora en la relación con las comunidades Parte interesada 6: Comercializadoras de gas. Alcance: Regional. Posición: Usuario/beneficiario. Expectativas: Abrir nuevas líneas de negocio frente al gas natural con comercializadoras interesadas. Contribución: cliente futuro de gas natural.		
PDS - Product Design Specifications	La tecnología debe ser de TRL 4 o superior. Para la selección de la tecnología se debe considerar un impacto ambiental mínimo ante posibles derrames o liberaciones accidentales en el medio ambiente. El piloto debe maximizar la eficiencia energética requerida para su funcionamiento. Asimismo, se considerará en los criterios de evaluación que la energía utilizada por la tecnología propuesta sea cubierta a partir de fuentes renovables.		

	Los diseños de los pilotos deben contemplar el potencial de escalabilidad de la tecnología, asegurando que los costos Capex/Opex sean competitivos en comparación con tecnologías de referencia en el mercado. La infraestructura disponible para el piloto debe permitir la adecuada experimentación, asegurando que el sistema de pruebas cuente con una línea de gas dedicada a la validación de la tecnología. Es importante que el solucionador contemple generar un plan de acción hacia condiciones controladas similares a escenarios reales, como pruebas en sistemas aislados, en dado caso exista una restricción operativa. Ecopetrol debe garantizar la disponibilidad de un análisis fisicoquímico del gas actualizado antes de la ejecución del piloto. Se debe evaluar la eficiencia del tratamiento propuesto en comparación con los procesos químicos tradicionales, demostrando posibles ahorros en costos operativos. Las tecnologías propuestas a solucionar el reto deben poder garantizar: • Capturar la mayor concentración posible de H₂S y separarlo de la corriente de gas natural en el cual esté ubicado, de manera segura para los colaboradores y el medio ambiente. • Garantizar la eliminación o gestión del H₂S capturado de modo seguro (de preferencia, transformarse en un producto seguro y/o basarse en el ciclo de circularidad del H₂S). • Contar con una capacidad de trabajar y ser efectiva en flujos entre 3.5 y 14 MMcf/día (millones de pies cúbicos estándar por día). • Brindar una eficiencia de remoción de H₂S de al menos el 98% ó garantizar un máximo de 4 ppmV (partes por millón-Volumen) de H₂S en el gas. • La tecnología debe ser capaz de trabajar a temperaturas entre 75 °F y 90 °F, que corresponden a las temperaturas de operación de la corriente de gas natural en la Planta de Gas de Apiay. • La tecnología debe contar con capacidad de funcionar a presiones entre 5 psig y 7 psig que corresponden a las presiones de operación de la corriente de gas natural en la Planta de Gas de Apiay. • La tecnología debe ser capaz de trabajar con un contenido de humedad del gas que entra a la Planta de Gas de Apiay de 2,77 mol%, es decir, 27.700 ppmv o 1285 lb H₂O/MMscf. Deseables: • Aunque, se esperan soluciones de tipo digital, no es excluyente a la presentación de otro tipo de tecnologías. • Brindar un mapa de concentración tipo semáforo (similar a los mapas de calor), que definan las zonas de alto, mediano y bajo riesgo en función de la concentración del H₂S en el ambiente. • Identificar y predecir tendencias del comportamiento de las concentraciones del H₂S (a través de diferentes tecnologías de la industria 4.0) Estará abierta la negociación de variables relacionadas con la propiedad intelectual y la proyección de beneficios comerciales derivados del desarrollo tecnológico, particular, conjunto o de licenciamiento. Esto no incluirá la definición de incentivos económicos adicionales asociados a la maduración de la tecnología, en el marco de operación de la propuesta actual. (Numeral 16: Propiedad intelectual Términos y Condiciones)
Requerimientos	<u>Requerimientos HSE para proponentes.</u> Para postularse a la convocatoria y participar en el proceso de selección, los proponentes y sus aliados deben acreditar que cuentan con un Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo, conforme a la legislación colombiana. Esto debe demostrarse mediante una certificación de su ARL expedida en el último año. Esta exigencia aplica únicamente a empresas con operación en Colombia. ParqueSoft se reserva el derecho de verificar la información presentada. <i>Requisitos habilitantes para el desarrollo de la fase de implementación y experimentación de los pilotos en las operaciones de Ecopetrol S.A.</i> Además de los anteriores requisitos descritos, los requisitos que serán descritos a continuación, solo los deberá presentar y cumplir el proponente seleccionado para desarrollar la fase de experimentación de los pilotos. Requisitos HSE para proponentes seleccionados (Anexo 5) Para la ejecución de la fase de implementación y experimentación de pilotos (<i>Numeral 8.3 de los Términos y Condiciones</i>) en instalaciones donde Ecopetrol S.A. tenga el control operacional, se deberán seguir las siguientes consideraciones: <u>a). Si la operación del piloto NO implica ejecución de tareas críticas en materia de HSE</u>

El proponente deberá leer, seguir y cumplir con el Anexo 5: Requisitos en HSE Control 2, descrito por Ecopetrol S.A

Para la suscripción del Acta de Inicio del contrato/convenio de experimentación con ParqueSoft, el proponente deberá entregar:

- Plan HSE acorde con las actividades del contrato o convenio, que garantice:
 - Cumplimiento legal en HSE.
 - Identificación de riesgos y controles.
 - Matriz de identificación de peligros.
 - Evaluación y valoración de riesgos.
 - Promoción, prevención y control de la salud de los trabajadores vinculados al contrato/convenio.
 - Matriz de identificación de aspectos ambientales y evaluación de impactos.
 - Gestión integral de emergencias.
 - Otros requisitos descritos en el Anexo 5: Requisitos en HSE Control 2.
- Certificado de ejecución de los exámenes ocupacionales de ingreso y de aptitud de los trabajadores a cargo.
- Certificación de cumplimiento de las fases I y II del curso de fomento del trabajo, seguro, limpio y saludable de Ecopetrol S.A o el documento que lo modifique o derogue; así como de competencia para las especialidades que así lo requieran expedidas por instituciones avaladas nacional o internacionalmente, de conformidad con la legislación colombiana.
- Permisos o licencias ambientales requeridas para ejecutar el piloto.
- La constancia de la clasificación del Nivel de Riesgo de la Empresa o Centro de Trabajo de acuerdo con el contrato/convenio a ejecutar (Certificación de la ARL, de acuerdo con el artículo 2 del Decreto 1607 de 2002) descrita en el *Numeral 6.8 de los Términos y Condiciones*.

b). Si la operación del piloto incluye la ejecución de una o más de las siguientes actividades, consideradas como tareas críticas en materia de HSE:

- Trabajo en alturas
- Espacios confinados
- Excavaciones
- Levantamiento mecánico de personas y/o cargas
- Trabajos en cuerpos de agua
- Ingreso o intervención en sistemas eléctricos de baja, media o alta tensión
- Actividades intrusivas que interfieran en un proceso operativo y puedan generar pérdida de contención de una sustancia.

El proponente deberá, además de cumplir con lo anteriormente mencionados, presentar las siguientes certificaciones:

- RUC, con una calificación de mínimo 80%, expedido por el Consejo Colombiano de Seguridad, ó b. Certificación ISO 45001 expedida por una entidad certificadora; ó c. Certificación bajo otros estándares reconocidos por la industria petrolera, Código IGS/ISM Code ó Norsok S-006, o STOW, expedida por una entidad certificadora
- Leer, seguir y acatar las recomendaciones descritas en el Anexo 6: Requisitos HSE Control 1, establecidas por Ecopetrol S.A

c) Si la operación del piloto NO implica su ejecución dentro de las áreas de operación de Ecopetrol S.A, el proponente deberá realizar:

Cumplimiento de Ley: El Proponente es el único responsable ante Ecopetrol S.A y ante las autoridades internacionales, nacionales y locales por el cumplimiento de los requisitos y obligaciones en HSE que adquiere con ocasión de esta convocatoria, las cuales serán extendidas a sus contratistas y proveedores.

Requerimientos y riesgos en Ciberseguridad

Las soluciones tecnológicas derivadas de los retos de innovación abierta deben contemplar medidas integrales para garantizar su funcionamiento seguro, eficiente y acorde con los lineamientos corporativos de Ecopetrol S.A. Esto implica asegurar la protección de la información, garantizar que los datos generados sean consistentes, trazables y útiles para la toma de decisiones, y entregar una arquitectura técnica robusta, clara y bien definida que permita su integración con la infraestructura de red segmentada provista por Ecopetrol S.A.

En el marco de esta convocatoria y únicamente para efectos de postulación, el proponente deberá:

Leer, cumplir y diligenciar el formato *Anexo 6: Riesgos, Consideraciones y requisitos en Ciberseguridad*, con el fin de clasificar el grado de vulnerabilidad de la solución en temas de ciberseguridad.

En caso de resultar seleccionado y para efectos únicos de ejecución del piloto y fase de experimentación:

El proponente deberá incorporar en el desarrollo de sus propuestas los requisitos técnicos descritos en el *Numeral 2. Concepto de arquitectura propuesto del Anexo 8: Concepto Arquitectura Digital. Ciberseguridad: Requerimientos retos innovación abierta* y; según aplique, los aspectos técnicos correspondientes del *Numeral 4.1.* del mismo documento.

Restricciones	Para poder operar correctamente la solución debe contemplar las siguientes restricciones: • La solución no debe incurrir en paradas o afectación de la operación de manera recurrente (para efectos de implantación y cierre del piloto se podrá hacer dos únicas paradas: una para instalación y una para la salida y cierre de la tecnología). • No debe incurrirse en alteraciones del gas natural, por ejemplo, dañar o disminuir la calidad del gas natural a través de la pérdida de poder calorífico u otro parámetro importante que aplique. • No se deben usar fuentes radioactivas en intensidad, cantidades o manejo que presenten una afectación a la salud o al medio ambiente. • Entre otros identificados en el proceso de experimentación.
Impacto esperado	Se espera la generación de una solución tecnológica probada en un entorno relevante (TLR≥4) para reducir la concentración de H₂S presente en el gas de producción. Este prototipo deberá reducir los costos de tratamiento del H₂S, garantizando eficiencia energética en el proceso, protegiendo la integridad de los activos y contribuyendo a un entorno de trabajo seguro y confiable. La propuesta tecnológica deberá fortalecer las capacidades actuales de Ecopetrol en el tratamiento de H₂S en gas natural, garantizando criterios de sostenibilidad y escalabilidad.
Palancas de valor	<i>Mitigación del impacto en la infraestructura (activos):</i> Reducción de costos por daños en equipos y tuberías ocasionados por la corrosión inducida por gases como CO₂ y H₂S. <i>Mayores ingresos por la venta de gas natural:</i> como resultado de incrementar la probabilidad de obtener un gas transportable por tuberías y comercializable para compañías interesadas.