

CONVOCATORIA PARA EL APOYO A PROYECTOS DE I+D+i QUE CONTRIBUYAN A RESOLVER RETOS TECNOLÓGICOS PROPUESTOS POR LOS CENTROS DE INNOVACIÓN DE LA RED ECONOVA DE ECOPETROL BAJO EL MODELO DE INNOVACIÓN ABIERTA

ANEXO 1. DESCRIPCIÓN DE LOS RETOS TECNOLÓGICOS

La presente convocatoria está dirigida a Alianzas estratégicas conformada por mínimo dos entidades que actúen como Ejecutora y Co-ejecutora y que demuestren experiencia en procesos de I+D+i en el área tecnológica para conformar un banco de proyectos elegibles de I+D+i enfocados a dar solución a los retos tecnológicos planteados por centros de innovación pertenecientes a la red Econova de Ecopetrol a través de procesos de innovación abierta, conectando soluciones previamente creadas a través de la incorporación de estrategias, aceleración y/o adaptación tecnológica que habiliten el proceso de escalamiento de las mismas.

Se busca dar solución a retos tecnológicos en las siguientes temáticas:

- **RETO 1: ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE BIOMASA**
- **RETO 2: OPTIMIZACIÓN DE PRODUCTOS DE PIRÓLISIS DE PLÁSTICOS**
- **RETO 3: REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**
- **RETO 4: VALORIZACIÓN DEL CO2 A TRAVÉS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL**
- **RETO 5: TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE**

Los cuales se describen a continuación.

1. ENERGÍA RENOVABLE A PARTIR DE BIOMASA

RETO: ¿Cómo se podría implementar un sistema flexible *multifeedstock* de conversión de biomasa (residual agrícola y/o efluentes líquidos y/o tratamiento de residuos sólidos) con una capacidad de procesamiento no inferior a 150 kilogramos (base seca) por hora que permita generar energía renovable, con un factor de capacidad mínimo del 85%?

A. LÍNEA TEMÁTICA: ENERGÍA

- Conversión de biomasa
- Vector energético: i.e. eléctrico, calor, H2

B. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA U OPORTUNIDAD ¿QUÉ VAMOS A RESOLVER?

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

Problemática: Suministro de energía (térmica, eléctrica o química) con alto factor de utilización y baja huella de carbono que permita sustituir fuentes fósiles, contribuyendo así a las metas de descarbonización de la industria en Colombia y atendiendo el compromiso marco como país, con la conferencia de las partes (COP) establecida en la INDC para reducir 51% de las emisiones de GEI al 2030.

Oportunidad: Aprovechamiento de potencial de producción de Biomasa en Colombia dada su ubicación en el trópico y condiciones medioambientales que favorecen el crecimiento, rendimiento por Ha/año y la disponibilidad con baja estacionalidad de la biomasa que puede favorecer la producción de biomasa a costo competitivo.

Conversión de biomasa exceptuando tecnologías convencionales de combustión.

C. OBJETIVO

Ecopetrol ha definido en su estrategia el desarrollo de un plan de transición energética que aborda la producción de energía a partir de fuentes alternativas renovables, contribuyendo así la meta como país de fomentar la sustitución gradual de fuentes fósiles de energía.

Objetivo Principal: Diseñar, desarrollar e implementar un sistema integral para la conversión de biomasa (por ejemplo: termoquímica, biológica) que permita la utilización eficiente de biomasa residual proveniente del sector agrícola, así como de residuos sólidos y/o efluentes líquidos, con el propósito de generar energía de manera sostenible y contribuir a la reducción de la contaminación ambiental y la dependencia de fuentes de energía no renovables.

Este objetivo implica varios componentes y metas específicas, como:

- **Desarrollo Tecnológico:** Desarrollar tecnologías de conversión avanzadas que sean capaces de procesar diferentes tipos de *feedstocks*, incluyendo biomasa agrícola y/o residuos sólidos o líquidos, con el fin de maximizar la eficiencia de conversión de estos materiales en energía utilizable.
- **Diseño del Sistema:** Diseñar un sistema integrado que incluya unidades de pretratamiento de biomasa, conversión, purificación de gases y generación de energía. Este diseño debe ser adaptable a diferentes tipos de *feedstocks* y condiciones operativas.
- **Eficiencia Energética y Ambiental:** Establecer metas de eficiencia energética y ambiental para asegurar que la generación de energía a través de la tecnología propuesta sea sostenible y respetuosa con el medio ambiente, minimizando las emisiones contaminantes y maximizando la conversión energética.
- **Viabilidad Económica:** Evaluar la viabilidad económica del sistema propuesto, considerando costos de inversión, operación y mantenimiento. Se deben identificar fuentes potenciales de financiamiento y analizar el retorno de la inversión a lo largo del tiempo.
- **Integración de Tecnologías:** Integrar las diferentes etapas del proceso, desde la recolección y preparación de los *feedstocks* hasta la generación de energía y la disposición adecuada de los residuos resultantes. Garantizar la sincronización óptima de cada etapa para un funcionamiento eficiente.

- **Pruebas y Validación:** Realizar pruebas a escala piloto y, posteriormente, pruebas a escala completa para validar el funcionamiento del sistema en condiciones reales. Asegurarse de que el sistema cumpla con los estándares de seguridad, eficiencia y emisiones.
- **Transferencia de Tecnología:** Facilitar la transferencia de la tecnología desarrollada a comunidades agrícolas y áreas de tratamiento de residuos, con el objetivo de contribuir a la adopción de prácticas más sostenibles de gestión de residuos y generación de energía.
- **Capacitación y Concienciación:** Proporcionar capacitación a los usuarios y operadores del sistema, así como crear conciencia sobre los beneficios ambientales y económicos de adoptar este tipo de tecnología.

D. JUSTIFICACIÓN

Ecopetrol ha establecido metas para la descarbonización de sus operaciones con 25% de sus emisiones (alcance 1 y 2) al 2030 y Net-Zero al 2050. Para ello debe abordar una estrategia con alcance mixto que busque entre otros reemplazar las fuentes de energía de origen fósil por fuentes alternativas renovables. Siendo responsable de la producción de combustibles a nivel nacional, la estrategia de reducción de emisiones impacta al inventario nacional y además contribuyen al proceso de transición energética del país apoyando el desarrollo y escalamiento del alto potencial de energía renovable de la biomasa en Colombia.

E. ALCANCE

- Crecimiento de las empresas de base tecnológica en la Región
- Integrar cadenas de valor que vincule el sector agrícola y el tratamiento de residuos al sector energético, mejorando su competitividad y desarrollando un nuevo clúster económico para la transición energética de la región.
- Desarrollar y escalar una tecnología de conversión de biomasa.
- Reconversión de las empresas regionales hacia la transición energética
- El sistema flexible *multifeedstock* de conversión de biomasa (residual agrícola y/o efluentes líquidos y/o tratamiento de residuos sólidos) debe contar con una capacidad de procesamiento no inferior a 150 Kilogramos (base seca) por hora y permitir la generación de energía renovable, con un factor de capacidad mínimo del 85%.
- Procesamiento de biomasa de la región
- Generación de 100 - kilovatios eléctricos o 400 kilovatios térmicos
- Capacidad mínima de procesamiento de 150 kilogramos de biomasa seca por hora con potencial de escalado entre 1 y 5 megas.

F. PÚBLICO OBJETIVO ¿A QUIÉN VAMOS A IMPACTAR?

- Empresas de desarrollo tecnológico con experiencia en el manejo, tratamiento y conversión de biomasa.
- Comunidades de la Región

G. IMPACTO ESPERADO

Ambientales:

- Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero debido a la generación de energía a partir de fuentes renovables.
- Disminución de la acumulación de residuos en vertederos y, por lo tanto, reducción del impacto ambiental asociado a la gestión de residuos.
- Mejora de la calidad del aire debido a la reducción de emisiones contaminantes derivadas de la tecnología de conversión de biomasa propuesta
- Posible mejora en la gestión de efluentes líquidos, disminuyendo la contaminación del agua.

Económicos:

- Generación de empleo en áreas relacionadas con la operación, mantenimiento y gestión de la tecnología propuesta.
- Posibles ahorros económicos para las comunidades al reducir la necesidad de eliminar los residuos en vertederos.
- Diversificación de la matriz energética, lo que podría ayudar a mitigar los efectos de la volatilidad de los precios de los combustibles fósiles.

Sociales:

- Concientización y educación de la comunidad sobre la gestión de residuos y la generación de energía sostenible.
- Posibilidad de mejorar la calidad de vida de las comunidades al reducir la contaminación y mejorar la infraestructura local.
- Tecnológicos:
- Fomento de la investigación y desarrollo en tecnologías de conversión de biomasa y tratamiento de residuos, lo que podría tener aplicaciones más amplias en otros contextos.

H. BENEFICIOS

- Generación de Energía Renovable: El proyecto permitiría la producción de energía a partir de fuentes renovables, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y contribuyendo a la diversificación de la matriz energética.
- Reducción de Residuos: La conversión de biomasa agrícola y residuos sólidos ayudaría a reducir la acumulación de residuos en vertederos, contribuyendo así a la gestión sostenible de los desechos y minimizando la contaminación ambiental.
- Reducción de Emisiones: La conversión de biomasa controlada puede generar emisiones más limpias en comparación con la incineración convencional, lo que resulta en una reducción de la liberación de gases de efecto invernadero y contaminantes atmosféricos.
- Aprovechamiento de Recursos: El proyecto permitirá aprovechar recursos que de otro modo podrían ser considerados desperdicios, convirtiéndolos en fuentes de energía y productos útiles, como calor y electricidad.

- Desarrollo Tecnológico e Innovación: La implementación de tecnologías avanzadas de conversión de biomasa y tratamiento de residuos contribuiría al desarrollo tecnológico del sector, promoviendo la innovación y la adopción de prácticas más sostenibles.
- Generación de Empleo: La creación y operación de sistemas de conversión de biomasa requeriría personal calificado, lo que podría generar empleo en áreas relacionadas con la ingeniería, operación, mantenimiento y gestión de residuos.
- Seguridad Energética: La generación de energía local a partir de recursos disponibles regionalmente contribuiría a la seguridad energética y la autonomía de las comunidades, reduciendo la dependencia de las importaciones de energía.
- Educación y Conciencia Ambiental: El proyecto podría sensibilizar a la población sobre la importancia de la gestión de residuos y la generación de energía sostenible, fomentando la educación ambiental y el compromiso comunitario.
- Reducción de Contaminación del Agua: El tratamiento de efluentes líquidos como parte del proyecto contribuiría a reducir la contaminación del agua, ya que se estarían gestionando adecuadamente los residuos líquidos y evitando su liberación directa al medio ambiente.
- Cumplimiento de Regulaciones Ambientales: La implementación exitosa del proyecto podría ayudar a las empresas y comunidades a cumplir con regulaciones ambientales más estrictas en relación con la gestión de residuos y las emisiones.
- Modelo Replicable: Si el proyecto demuestra ser exitoso, podría servir como modelo para ser replicado en otras regiones con problemáticas similares de residuos y generación de energía.
- Contribución a la Sostenibilidad: En conjunto, los beneficios mencionados contribuirían al logro de objetivos de desarrollo sostenible, como la reducción de la contaminación, el uso responsable de los recursos y la mitigación del cambio climático.

2. OPTIMIZACIÓN DE PRODUCTOS DE PIRÓLISIS DE PLÁSTICOS

RETO: ¿Cómo podríamos optimizar el proceso de producción de la cadena de valor de aceite pirolítico obtenido a partir de plásticos posconsumo?

A. LÍNEA TEMÁTICA:

- Cadena de valor del procesamiento de residuo plásticos mediante pirólisis
- Reciclaje químico

B. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA U OPORTUNIDAD ¿QUÉ VAMOS A RESOLVER?

El uso excesivo de plásticos es una problemática global que afecta los ecosistemas y la salud humana. Según cifras de la UNEP aproximadamente el 76% del plástico producido entre 1950 y 2017 son residuos plásticos arrojados a los diferentes ecosistemas que afectan la vida animal, los procesos naturales y contribuye al cambio climático.

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

Parte de la apuesta de Colombia a 2030, desde el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, es lograr que el 100% de los plásticos de un solo uso sean reutilizados (Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2021). Por este motivo, el reciclaje de plástico es un gran aporte de corto plazo, que asegura que estos residuos se vuelvan materia prima de nuevo. La ONU asegura que cerca del 9% de todos los plásticos producidos en el mundo han sido reciclados, por lo que la velocidad en que se producen y consumen no se asemeja a la que se reciclan, generando vertimientos de plásticos.

Para lograr disminuir el impacto de manera significativa es necesario asegurar que la mayor cantidad de residuos plásticos aptos pasen por el proceso de reciclaje. Para asegurar esto, Colombia regula la gestión de residuos plásticos bajo la Ley N° 2232 del 2022 "por medio de la cual se establecen medidas tendientes a la reducción gradual de la producción y consumo de ciertos productos plásticos de un solo uso y se dictan otras disposiciones" y control de la cadena de valor.

Colombia produce cerca 1,4 millones de toneladas plástico al año y un hogar promedio en Colombia produce 4,3 Kg/día de los cuales el 45,23% (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible) de los residuos que se generan en el país, corresponden a: Bogotá, Medellín, Cali, Barranquilla, Cartagena, Cúcuta, Soacha y Soledad.

A pesar de que esté aumentando el plástico reciclado y la regulación de separación de residuos, no se cuenta con una cadena de valor óptima que involucre y comprometa a todos los actores. La cadena de valor tiene barreras tecnológicas, económicas, ambientales y gubernamentales que deben ser solventadas de manera cooperativa. Adicionalmente, esta cadena de valor deberá moldearse a la creciente demanda de plásticos. La falta de estrategia y enfoques integrados que aborden de manera holística la gestión de residuos plásticos a lo largo de todo su ciclo de vida, desde la recolección hasta el reciclaje de plásticos y la reutilización. Esto limita el desarrollo sostenible de la cadena de valor y obstaculiza la maximización de su potencial.

La implementación de procesos de reciclaje químico de plásticos posconsumo promete contribuir a cambiar el panorama lineal del flujo de materiales plásticos, con el aprovechamiento mediante opciones tecnológicas idóneas para utilizar el material post-uso, en alternativas de generación de aceites pirolíticos, combustibles y monómeros que reingresen al mercado, en un círculo para la gestión de plásticos.

Por tanto, se requiere contar con tecnologías y procesos de pirólisis de plásticos que permitan obtener productos para la industria petroquímica que puedan ser escalables y cumplan con los requisitos como materia prima para su reincorporación a los procesos de producción de polímeros.

C. OBJETIVO

Optimizar de manera integral el proceso de producción en toda la cadena de valor del aceite pirolítico obtenido a partir de plásticos posconsumo.

- Implementar modelos de economía circular en la cadena del plástico

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

- Generar productos de alto valor a partir del plástico reciclado
- Generar soluciones tecnológicas para el aprovechamiento de residuos plásticos posconsumo
- Aumentar las tasas de reciclaje en las regiones del país determinando el impacto del aprovechamiento de los tipos de plástico aptos para la pirólisis.
- Cuantificar los residuos plásticos aptos para el proceso de pirólisis desde la fuente y por regiones del país, asociando los actores determinantes de la generación de estos residuos plásticos tanto posconsumo como postindustrial.
- Establecer los rangos de costo unitario de acopio de residuos plásticos priorizando aquellos canales que aporten una utilidad marginal a la cadena de valor estableciendo las líneas de mayor autosostenibilidad.
- Optimizar los perfiles de temperatura utilizados durante el proceso de pirólisis. Determinar los gradientes de temperatura y las tasas de calentamiento en diferentes etapas del proceso, identificando las condiciones que conduzcan a tasas de conversión y selectividad mejoradas para productos de alto valor. Determinar el régimen de temperatura que maximice el rendimiento de productos de alto valor, como hidrocarburos específicos o intermediarios químicos valiosos, al tiempo que minimice la formación de subproductos de menor valor y residuos de alto costo de disposición final y de mayor impacto ambiental.
- Evaluar diferentes metodologías de carga de residuos plásticos en los reactores. Establecer técnicas de carga que garanticen una distribución uniforme, una transferencia de calor eficiente y una cinética de reacción mejorada.
- Optimizar el proceso de carga de materia prima, logrando tasas de conversión globales más altas, aumentando la capacidad de producción por unidad de tiempo. Proporcionar una comprensión integral de cómo los perfiles de temperatura y las estrategias de carga de materia prima pueden establecerse para lograr el resultado más rentable y ambientalmente responsable en el proceso de pirólisis.

D. JUSTIFICACIÓN

Los residuos plásticos generan un impacto negativo en los ecosistemas de todo el mundo, hay aproximadamente 150 millones de toneladas de plásticos en el océano y 8 millones entran anualmente.

La economía circular genera de manera contundente condiciones habilitantes para cambiar el panorama de la gestión de los residuos mediante procesos de desarrollo tecnológico e innovación. La expansión de técnicas para la valorización de materiales, la potencialidad de su análisis para la obtención de productos y conocimiento de valor permiten establecer que los procesos de reciclaje químico tienen un amplio potencial de desarrollo. El Grupo Ecopetrol está en búsqueda de soluciones circulares para agregación de valor en residuos plásticos y aplicación de tecnologías emergentes en sus procesos petroquímicos.

El reto está orientado a buscar alternativas de productos y procesos que permitan dar valor agregado a los plásticos posconsumo, ya sean separados en fuente o mixtos hacia vertederos, por medio de su tratamiento y transformación vía tecnologías en pirólisis (catalítica o no), y su integración en el mercado como combustibles (aceite pirolítico, naftas u otros) y/o monómeros que sean aprovechados por la industria química, como productos de alto valor, paralelo a mejorar su sostenibilidad.

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

Con esta iniciativa se promueve el cumplimiento de los objetivos de desarrollo sostenible - ODS, al movilizar la toma de medidas alrededor de la producción, uso, reúso y disposición de productos, modificando el flujo de materiales plásticos desde un esquema lineal hacia uno circular que cree ciclos infinitos de recuperación y valorización, bajo un concepto de tecnologías verdes, acorde con la Política Nacional de Crecimiento Verde, la responsabilidad extendida al productor y la Estrategia Nacional de Economía Circular.

E. ALCANCE

Desarrollar soluciones de procesos y procesos de pirólisis de residuos plásticos que permita obtener combustible y/o aceite pirolítico como producto principal con una calidad tal, que sea apto para incorporar en las unidades de refinación petroquímica para la producción de monómeros y por lo tanto de polímeros circulares.

El rango de implementación de los proyectos de reciclaje químico del Grupo Ecopetrol abarcará la totalidad de los puntos contenidos en el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026 que hacen alusión a la gestión de residuos dentro del contexto de sostenibilidad, economía circular, infraestructura de gestión de residuos para las regiones y el enfoque de cierre de ciclos. Por lo anterior se contemplan los siguientes alcances:

- Evaluar la disponibilidad y distribución de estos residuos en diferentes regiones geográficas, considerando tanto aspectos demográficos como socioeconómicos. Analizando de forma exhaustiva el origen y la procedencia de la materia prima idónea para el proceso de pirólisis, centrándose en los desechos plásticos posconsumo y posindustria provenientes de diversas fuentes. Evaluar estrategias de recolección eficiente y sostenible en colaboración con las comunidades locales, promoviendo la participación de los actores involucrados y exaltando la importancia de la gestión responsable de los residuos plásticos.
- Diseño y realización de análisis controlados para investigar los efectos de las diferentes curvas de temperatura en el pirólisis de plásticos.
- Evaluación sistemática de distintas metodologías de carga de materia prima en términos de eficiencia y productividad.
- Recopilación rigurosa de datos experimentales, incluyendo mediciones de conversión, selectividad de productos y otros parámetros relevantes.
- Desarrollo de modelos computacionales que simulen y pronostiquen el comportamiento del proceso de pirólisis bajo diferentes condiciones sugeridas de optimización.
- Diseño de la ruta tecnológica para la purificación de productos del aceite pirolítico a productos petroquímicos con especificaciones comerciales vigentes con el fin de integrar dichos productos a una cadena existente del mercado

F. ANTECEDENTES ¿QUÉ HEMOS HECHO?

La pirólisis es un proceso termoquímico mediante el cual se puede recuperar características de productos para producir combustible. En Colombia se han usado diferentes materias primas dentro del concepto de economía circular para la

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

creación de estos combustibles como el uso de llantas para producir diésel sintético. De este proceso se obtienen el aceite pirolítico que es usado como combustible utilizado en la industria para hornos y calderas, gas combustible no condensable y un *char* sólido o carbón (coque). Este proceso logra eliminar el volumen del material un 90% siendo de gran apoyo al reciclaje de residuos plásticos.

Colombia ha comenzado a implementar estos procesos que permiten contrarrestar el impacto de los residuos plásticos. Existen numerosos proveedores de tecnologías de reciclaje químico, en diferentes niveles de maduración tecnológica que han implementado ideas innovadoras que han optimizado el proceso con materiales posconsumo que se encuentran en nuestros rellenos sanitarios.

La materia prima que se ve con mayor expectativas como fuerte de la economía circular para la evaluación de tecnologías y pilotos a implementar será plástico reciclado posconsumo recolectado principalmente de rellenos sanitarios, la cual será sometida a un reciclado químico usando tecnologías tales como la de *pyrolysis* para obtener combustible y/o aceite pirolítico como producto principal con una calidad tal, que sea apto para incorporar en las unidades de refinación petroquímica para la producción de monómeros y por lo tanto de polímeros circulares. Respecto a los subproductos del proceso, los sólidos (negro de carbono) se podrían utilizar en carreteras, neumáticos y gomas y los gases obtenidos, se pueden reingresar al proceso como fuente de energía del mismo.

En el año 2020 Esenttia S.A, registró un récord histórico de producción de polipropileno de 490.506 toneladas con una participación en el mercado del 74% a nivel nacional. La empresa generó dividendos por más de \$107.000 millones de pesos, tuvo ventas nacionales por \$717.600 millones de pesos y ventas al exterior por \$1.5 billones de pesos, sumando un valor total percibido en ventas de \$2.2 billones de pesos y su relación de utilidad neta/Ebitda fue del 78%. Se realizan exportaciones a más de 20 países entre Latinoamérica y el Caribe, USA, Canadá, Turquía y España, siendo la región más relevante, el sur del continente (Brasil, Argentina) donde se exportaron en 2020 125.743 toneladas.

Esenttia se posiciona como el tercer productor más grande de Latinoamérica, siendo solo superada por sus competidores Braskem (2.130.000 toneladas/año) e Indelpro (570.000 toneladas/año). En el cuarto y quinto lugar se ubican Petroken (250.000 toneladas/año) y Petroquim (120.000 toneladas/año).

La empresa busca actuar en diferentes frentes que contribuya a la visión que enfoca en tres aspectos: i) Alcanzar una circularidad interna, donde los materiales que hace parte de la cadena de suministro sean aprovechados de manera eficiente, ii) Aportar desde su ejercicio, en generar cultura e implementar iniciativas que movilicen a la industria del plástico hacia cadena de valor más circular en su ciclo y, lograr capacidad de incidencia en la evolución de políticas públicas nacionales en la materia, iii) Generar proyectos innovadores que habiliten modelos de negocio circulares que sean viables técnica, financiera y normativamente.

Para tal fin, la ruta de gestión de residuos de materiales plásticos se ha definido en 8 focos de trabajo. El presente proyecto apunta al cumplimiento del cuarto foco que busca el cierre del ciclo de vida para valorizar materiales mediante procesos de reciclaje químico.

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

El ejercicio de análisis respecto a procesos de pirólisis como una alternativa promisorio para la empresa, ha considerado ventajas como:

- El aceite pirolítico producido puede ser valorizado a combustibles o materias primas para la industria petroquímica.
- El calor requerido para la operación puede provenir de la misma producción de gases de proceso.
- Es un proceso versátil para materiales con poliolefinas y mezclas entre ellas.
- Las altas temperaturas que se requieren y el tipo de proceso, permiten garantizar la descontaminación de las corrientes de reciclado.
- Permite producir monómeros a través de su integración con refinerías, los cuales se usan para producir polímeros de la misma calidad del material virgen.
- El carbón resultante del proceso puede ser valorizado para producir negro de humo o carbón activado.

Y es allí donde se centra el esfuerzo tecnológico que el Grupo Ecopetrol propone para contribuir a cambiar el panorama de la gestión de los residuos a nivel nacional en procesos de reciclaje químico, específicamente vía pirólisis enfocándose en una iniciativa que ha estado ejecutándose en fases preliminares de investigación, pero que requiere de la definición de soluciones tecnológicas orientadas al diseño de los procesos, caracterización y optimización de productos, para que pueda realizarse el escalamiento industrial.

El Grupo Ecopetrol a través de su filial Esenttia y del Centro de Innovación y Tecnología ICP, han estado adelantando proyectos orientados a investigar, diseñar y/o desarrollar materiales a partir de plásticos posconsumo/postindustrial para su valorización como energéticos y/o aceites y/o monómeros para producción de plásticos, con la intención de llegar a tener productos que puedan ser escalables e identificar corrientes que puedan ser utilizadas/valorizadas en estrategias de economía circular.

En el marco de estos proyectos se han estado evaluando tecnologías y productos obtenidos a partir de procesos de pirólisis del plástico; sin embargo; no se cuenta con procesos y productos óptimos para su utilización y escalamiento industrial.

G. PÚBLICO OBJETIVO ¿A QUIÉN VAMOS A IMPACTAR?

- Grupo Ecopetrol
- Actores de la cadena de valor de reciclaje de residuos plásticos

H. IMPACTO ESPERADO

Obtener procesos y productos óptimos de pirólisis, que permitan viabilizar el establecimiento de plantas de reciclaje químico para residuos plásticos en el marco de un modelo de economía circular de los plásticos, orientada a minimizar los impactos de estos residuos en el medio ambiente.

3. REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

RETO: ¿Cómo podríamos implementar un sistema de tratamiento secundario, compacto y económico para tratar aguas residuales domésticas de municipios del Magdalena Medio para el reúso en aplicaciones industriales y/o agroindustriales, y que además permita generar energía en el proceso?

A. LÍNEA TEMÁTICA: BIORREACTORES, REÚSO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, PRODUCCIÓN DE ENERGÍA A PARTIR DE BIOGÁS, SISTEMAS DE DESINFECCIÓN.

B. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA U OPORTUNIDAD ¿QUÉ VAMOS A RESOLVER?

Ante una clara problemática de gestión del recurso hídrico, las aguas residuales domésticas de municipios que no cuentan con sistemas de tratamiento adecuados para garantizar vertimientos de estas corrientes en calidad adecuada a cuerpos superficiales podrían ser tratadas y reusadas en procesos industriales y/o agroindustriales, de esta forma, además, se pueden disminuir los volúmenes captados de agua fresca. Con este fin, se visualiza la oportunidad de implementar sistemas de tratamientos compactos, económicos y que permitan además la generación de energía, a partir de la producción de biogás.

C. OBJETIVO

Habilitar las aguas residuales domésticas municipales de municipios del Magdalena Medio como Puerto Wilches y Sabana de Torres, que no están siendo tratadas de forma adecuada, como fuente alternativa de agua para reúso agroindustrial y/o industrial, proponiendo tecnologías de tratamiento secundario, compactas y económicas, con posible cogeneración de energía.

Objetivos Específicos:

- Apoyar con el tratamiento de las aguas residuales domésticas de municipios del Magdalena Medio como Puerto Wilches y Sabana de Torres, que actualmente están siendo vertidas fuera de calidad (Resolución 631 de 2015).
- Habilitar fuentes alternativas de agua para reúso agroindustrial y/o industrial, disminuyendo la cantidad de captación de agua fresca.
- Generar energía eléctrica mediante la implementación de tecnologías de tratamiento secundario (biorreactor) en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

D. JUSTIFICACIÓN

Colombia no es ajena a la problemática derivada por una ineficiente gestión del recurso hídrico, y esta se agrava con la alta tasa de deforestación y por la inexistencia o baja eficiencia de los sistemas de tratamiento de aguas residuales que actualmente se implementan en el país. Actualmente más de 40 m³/s de Aguas residuales son vertidas sin ningún tipo de

tratamiento, lo que significa que aproximadamente 1.300 cuerpos de agua son contaminados (Universidad Nacional de Colombia, 2017).

Al respecto en el país, se registra que solo en el 42,8% de las aguas residuales generadas reciben algún tipo de tratamiento (SSPD-MCVT, 2018), para un equivalente de 583 Sistemas o plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR). De este total el 14,2% se encuentran fuera de operación y el 2,2% se encuentran en construcción y/o próximos a operar. Tratando un caudal medio por departamento de 22,4m³/s. Sobre el tipo de sistemas de depuración utilizado en Colombia, el 17,3% están diseñados para realizar procesos preliminares y primarios de tratamiento, el porcentaje restante están diseñados para hacer tratamiento secundario de las aguas residuales.

Las anteriores cifras evidencian que el país presenta atrasos significativos en el avance en materia de saneamiento hídrico (recolección, transporte y tratamiento de los residuos líquidos) a pesar de que, en el año 2002, por medio del CONPES 3177, se identificaron las acciones prioritarias y se presentaron los lineamientos para la formulación del plan nacional de manejo de aguas residuales. Dicho documento destaca las siguientes problemáticas asociadas al vertimiento de las aguas servidas: i) los riesgos a la salud de los habitantes, ii) la dificultad para la recuperación de las fuentes hídricas, iii) la disminución de la productividad del recurso, iv) el aumento de los costos de tratamiento del recurso hídrico.

Esta problemática se agudiza en regiones del país en donde sus poblaciones históricamente han sido víctimas de la violencia interna y presentan brechas significativas en la cobertura de los sistemas públicos domiciliarios (como acueducto y alcantarillado), tal es el caso de los municipios ubicados en la región del Magdalena. En donde, más del 80% de los municipios no cuentan con Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales- PTARs o se encuentran sin funcionar (Procuraduría General de la Nación, 2013), situación preocupante ya que esta región es altamente densa, con una población de aproximadamente 889.380 habitantes.

Por otra parte, aunada a la anterior problemática se encuentra el uso de aguas de proceso y generación de aguas residuales en las diferentes actividades relacionadas con la explotación de hidrocarburos. A nivel mundial, se encuentra que la relación agua-petróleo (RAP), correspondiente a los barriles de agua generados por cada barril de crudo producido, oscila entre 3 y 5, reportándose valores superiores para campos maduros en donde la relación está entre 10 y 14 (Morales y Revelo, 2016).

En Ecopetrol, la Vicepresidencia Regional Central VRC, proyecta captaciones de agua fresca hasta el año 2030, con volúmenes que disminuyen desde 138.690 BWPD para el 2022 hasta 10.000 BWPD en el último año con captación. Adicionalmente, se debe señalar que se visualizan posibles déficits de agua desde el año 2025 hasta el 2040, es decir, ni las aguas de producción, ni las captaciones que se tienen concesionadas a la fecha, permitirían cubrir los requerimientos de inyección (Informe de Viabilidad Anticipada de Desarrollo – Balance de agua. Consultado a junio de 2022). De los 12 campos que están incluidos en la VRC, 10 muestran un déficit de agua para cumplir con los proyectos de inyección proyectados a largo plazo. En general, dependiendo de la evolución en el tiempo de los diferentes proyectos, será necesario aumentar la tasa de reutilización de las aguas de producción, así como incorporar otras fuentes de agua disponibles en el área con el objetivo de cumplir con las metas de reducción de captaciones y vertimientos.

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

ECOPETROL S.A. reconoce el agua como un recurso vital, tanto para el desarrollo de las operaciones de la compañía, como para las comunidades y ecosistemas en el área donde estas son realizadas. Por este motivo, ha implementado dentro de la estrategia corporativa el plan de gestión integral del agua, cuyo objetivo principal es asegurar un manejo eficiente del agua, aportando a la sostenibilidad de la empresa, a la reducción de impactos ambientales y de conflictos asociados al agua y a la seguridad hídrica en el entorno.

E. ALCANCE

Se ha contemplado un alcance inicial de la propuesta en municipios del Magdalena Medio como Puerto Wilches y Sabana de Torres, donde se observan falencias en su gestión de las aguas residuales domésticas, y a su vez, son cercanos a campos y operaciones de la empresa donde se requiere viabilizar fuentes alternativas de agua para disminuir los volúmenes captados y alcanzar las metas de agua neutralidad de la estrategia de la empresa.

Las propuestas deben considerar los siguientes alcances:

- Volumen para tratar: Se tienen como referencia puntos de vertimiento en Puerto Wilches y Sabana de Torres en torno a 30 – 50 L/s. Para la propuesta se debe considerar un piloto para tratar 1 L/s (86 m³/día).
- Calidad aguas residuales domésticas a tratar: Se presentan caracterizaciones fisicoquímicas de los municipios de Puerto Wilches, Sabana de Torres y Barrancabermeja, como ejemplo:

	Unidad	Barrancabermeja		Pto. Wilches		Sabana de Torres	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Flujo	[L/s]	4,8*	7,0*	27,1*		30,2*	55,3*
Temperatura	[°C]	32,0	38,0	29,0	32,0	28,0	31,0
pH		7,0	7,5	6,3	6,4	6,3	6,5
ORP	[mV]	-57,3	-13,3	17,1	73,7	-13,5	98,3
Conductividad	[µS/cm]	533,9	848,0	278,0	368,2	247,0	423,0
TDS	[ppm]	267,0	424,0	139,0	184,0	123,0	212,0
Pres, Atm	[psi]	14,5	14,6	14,6	14,7	14,5	
D,O ₂	[ppm]	0,5	1,2	0,0	0,5	0,1	2,5
Turbidez	NTU	122,2	294,3	37,8	56,4	69,8	151,8
Alcalinidad total	ppm CaCO ₃	120	180	65,5	92,1	81,0	96,4
COT	ppm	116		53,3		72,7	
Cloruros	ppm Cl ⁻	35,2		11,7		25,9	
DBO ₅	ppm	104		12,2		74,9	
DQO	ppm	396		56,5		251	
Dureza total	ppm CaCO ₃	54,2		64		38,4	

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

Fenol	ppm	0,155		0,03		0,05	
Fosforo	ppm	3,03	4,34	0,66	0,83	1,37	5,1
G&A-HC	ppm	31,6	48,9	31,6	48,9	16,8	47,6
HC no polares	ppm	10,5	14,9	<2		<2	
Nitratos	ppm	0,064		2,2		<0,051	
Nitritos	ppm	<0,051		0,47		<0,051	
Nitrógeno amoniacal	ppm	24,4		2,31		7,74	
Nitrógeno	ppm	31		3,26		16	
Sólidos sedimentables	ppm	6,5		0,6		2	
Sólidos suspendidos	ppm	42,83		25,8		40,5	
Sólidos susp, volátiles	ppm	36,65		13,4		30,4	
Sólidos totales	ppm	508		196		285	
Sulfatos	ppm	104,1		22,6		37,5	
Sulfuro	ppm	<1,00		<1,0		<1,0	

Se presentan caracterizaciones microbiológicas de las aguas residuales domésticas del municipio de Puerto Wilches como ejemplo:

Parámetro	Pto Wilches
Aerobios Totales (UFC/mL)	3,75E+07
Heterótrofos Cf/Ct - E. Coli (NMP/100 mL)	8,70E+06
Bacterias sulfato reductoras (BSR) (bact/mL)	1,70E+06
Anaerobios totales (UFC/mL)	>10e5
Bacterias productoras de ácido (BPA)	>10e6
Coliformes totales (NMP/100 mL) (termoestables)	1,99E+07

- La propuesta debe estar enfocada en la tecnología necesaria para realizar el tratamiento primario y secundario de las aguas residuales domésticas, direccionada a la implementación de un biorreactor que permita producción de energía durante el proceso, y debe contemplar adicionalmente, una propuesta de desinfección microbiológica (para las otras tecnologías terciarias o de pulimento de agua, necesarias para alcanzar la calidad de reúso se contempla la implementación del programa AQUA del ICP).
- Se espera obtener una calidad de agua como mínimo en torno a los siguientes parámetros:

	Unidad	Salida
Turbidez	NTU	20
COT	ppm	10
DQO	ppm	20
Sólidos suspendidos	ppm	20
G&A-HC	ppm	10

F. ANTECEDENTES ¿QUÉ HEMOS HECHO?

Acorde con esta estrategia, ECOPEPETROL S.A. trazó el estudio 'Tecnologías para viabilizar el agua de producción como recurso rentable y sostenible', donde a través del Centro de Innovación y Tecnología – ICP, concentra esfuerzos para el desarrollo de nuevas alternativas que permitan la reutilización del agua, disminuyendo o incluso eliminando la necesidad de captar agua de fuentes naturales y acueductos, y al mismo tiempo reduciendo la cantidad de vertimientos hacia el medio ambiente.

Una de estas alternativas de investigación propende por el desarrollo de tecnología de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales domésticas y/o industriales para reúso industrial en operaciones de hidrocarburos de ECOPEPETROL, y/o reúso agropecuario, determinando su potencial para la generación de energía eléctrica en el Valle del Magdalena Medio. En esta línea de investigación se realizó un convenio con la Universidad Unipaz, para la conceptualización y construcción de un prototipo piloto (TRL 4) de sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas.

Los resultados del convenio incluyeron un análisis socioeconómico y ambiental de tres municipios tomados como caso de estudio: Barrancabermeja, Puerto Wilches y Sabana de Torres; la conceptualización y construcción de un tren de tratamiento, con capacidad de tratamiento de 5 barriles/día de aguas residuales domésticas; el arranque y experimentación del prototipo con aguas residuales domésticas de Puerto Wilches durante 50 días; y finalmente, la obtención un agua tratada con buenos porcentajes de remoción de parámetros como DQO, DBO, SST, turbidez, color, COT y dureza. El sistema de tratamiento secundario contempló un biorreactor de manto de lodo granular expandido (EGSB), con modificaciones internas en busca de lograr un tamaño más compacto de la tecnología.

G. PÚBLICO OBJETIVO ¿A QUIÉN VAMOS A IMPACTAR?

- Municipios de baja población del Magdalena Medio, que no cuentan con un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, y que se ubiquen cerca de campos y áreas de operación de Ecopetrol.
- Ecopetrol al hacer reúso de las aguas residuales domésticas.
- Otras posibles empresas industriales o agroindustriales que puedan hacer reúso de las aguas residuales domésticas.
- Autoridades locales y ambientales de la zona de trabajo.

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

H. IMPACTO ESPERADO

- Impacto ambiental positivo al disminuir volúmenes de vertimiento de aguas residuales domésticas que no han sido tratadas de forma adecuada.
- Mediante el reúso de las aguas residuales se disminuyen volúmenes de captación de cuerpos superficiales y agua fresca.
- Habilitar una fuente de agua alternativa a la captación en Ecopetrol permite asegurar operaciones en la empresa y/o producción.
- Generación de energía a partir del mismo proceso de tratamiento.

I. MÍNIMOS QUE DEBES CONSIDERAR ¿QUÉ SE ESPERA DE LA PROPUESTA?

Se esperan soluciones que:

- Involucren tecnologías en TRL 5-6 que puedan ser llevadas a 9.
- No se espera recibir soluciones que estén en etapa de investigación.
- La propuesta debe incluir los procesos primarios necesarios para la implementación del biorreactor propuesto, así como un sistema de desinfección microbiológico.
- La tecnología debe como mínimo cumplir el objetivo de tratamiento de aguas residuales domésticas de acuerdo con la ventana operativa descrita en el alcance.
- El tratamiento secundario (biorreactor) debe ser una tecnología con potencial de generación eléctrica.
- Se espera un sistema de tratamiento compacto y portátil, es decir, debe estar diseñado en *skids* o que sea containerizado.
- La propuesta debe contemplar una evaluación económica del costo del tratamiento y de la producción de Biogás, considerando el respectivo uso de este para la generación de energía.

4. VALORIZACIÓN DE CO₂ A TRAVÉS DE SIMBIOSIS INDUSTRIAL

RETO: ¿Cómo se podría aprovechar y convertir el CO₂ proveniente de corrientes industriales (por ejemplo: *flue gas* de procesos de combustión) en productos de alto valor agregado garantizando así un secuestro permanente?

A. **LÍNEA TEMÁTICA:** Conversión de CO₂

B. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA U OPORTUNIDAD

La problemática consiste en encontrar formas efectivas y sostenibles para aprovechar y convertir el dióxido de carbono (CO₂) en productos de alto valor agregado, garantizando su secuestro permanente. Esto busca reducir el impacto negativo del CO₂ en la atmósfera y cerrar el ciclo del carbono, pero enfrenta desafíos tecnológicos, financieros y ambientales. La

viabilidad económica y la escala de implementación también son puntos clave para lograr una solución significativa en la mitigación del cambio climático y la promoción de una economía más sostenible.

C. OBJETIVO

Objetivo General: Desarrollar un proceso innovador y sostenible con capacidad para capturar 0.5 t CO₂ /día netas, proveniente de procesos industriales de combustión y convertirlo (CO₂) en productos de alto valor agregado, asegurando su secuestro permanente y contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

Objetivos Específicos:

- Seleccionar tecnologías avanzadas de captura y almacenamiento de CO₂, evaluando su eficiencia térmica y captura neta de CO₂, viabilidad económica y ambiental.
- Diseñar y optimizar un sistema de conversión termo-química o biológica del CO₂ capturado en productos de alto valor agregado con utilidad industrial o agronómica, que garantice la mayor fijación de CO₂ capturado en el producto final y su secuestro permanente.
- Evaluar la escalabilidad del proceso desarrollado mediante pruebas en ambiente relevante, identificando oportunidades para su implementación a mayor escala y su potencial impacto en la reducción de la huella de carbono del proceso originario de combustión fuente del CO₂.
- Estimar la huella de carbono del producto garantizando el beneficio de reducción neta del proceso de conversión de CO₂.

Alineación estratégica:

Metas de descarbonización a 2030 y Net-Zero al 2050 de Ecopetrol, 2-compromiso INDC de Colombia con la conferencia de las partes a una meta de reducción del 51% de sus emisiones.

D. JUSTIFICACIÓN

La búsqueda de soluciones para el reto planteado se sustenta en varios temas cruciales. En primer lugar, la reducción de emisiones de CO₂ es imperativa para enfrentar el cambio climático y sus efectos devastadores. La descarbonización de la economía se vuelve esencial para lograr este objetivo, mediante la transición hacia fuentes de energía limpias y procesos industriales más sostenibles. La valorización del CO₂, convirtiéndolo en productos de alto valor agregado, abre la puerta a una economía circular y a la reutilización de este gas como recurso valioso en lugar de un desperdicio contaminante. Además, la simbiosis industrial, donde diferentes sectores colaboran para intercambiar subproductos y residuos, puede potenciar la conversión de CO₂ en materia prima para otros procesos, estableciendo un círculo virtuoso de aprovechamiento y secuestro permanente de este gas de efecto invernadero.

Por otro lado, el reto planteado se alinea con el Programa Nacional de Carbono Neutralidad y Resiliencia Climática liderado por la Dirección de Cambio Climático y Gestión del Riesgo del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, el cual tiene

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Colombia y aumentar la capacidad adaptativa al cambio climático de los territorios y sectores económicos, por medio del fortalecimiento de capacidades del sector público, privado y la sociedad civil en acciones de medición y mitigación de emisiones de GEI y adaptación al cambio climático. Lo anterior va en concordancia con las metas de reducción del 51% de GEI a 2030 y de alcanzar la carbono neutralidad en Colombia al año 2050, estipuladas en la Contribución Nacionalmente Determinada (NDC) del país, en la Estrategia Climática de Colombia de Largo Plazo (E2050) y en la ley 2169 de 2021.

E. ALCANCE

La clave para abordar eficazmente los desafíos actuales reside en la integración fluida entre las áreas involucradas, desde la producción hasta los receptores. Al fomentar una cooperación estrecha y un flujo de información continuo, podemos optimizar procesos, minimizar desperdicios y garantizar un aprovechamiento eficiente de los recursos, en pro de una economía más sostenible y responsable con el medio ambiente.

Se espera alternativas de solución con diseño de un proceso/equipo con capacidad de captura de 0.5 t CO₂/día proveniente de una fuente de combustión de combustible fósil que ofrezca la posibilidad de su escalamiento y disponibilizar un producto con capacidad de secuestrar el CO₂ de manera permanente. Esta solución debe atender los requerimientos de sectores industriales con mayor participación en las emisiones GEI generadas en Colombia, como son Cemento, Petróleo y gas y generación termoeléctrica; y que corresponden a regiones con alta densidad de emisiones como son el centro del país (Bogotá, Barrancabermeja, Medellín) y norte (Barranquilla y Cartagena).

Por otra parte, el Programa Nacional de Carbono Neutralidad y Resiliencia Climática (PNCNRC) es una iniciativa del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de Colombia que busca reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y aumentar la capacidad adaptativa al cambio climático de los territorios y sectores económicos¹. El programa se enmarca en la Estrategia Colombia Carbono Neutral (ECCN), que tiene como metas reducir el 51% de las emisiones de GEI para 2030 y alcanzar la carbono neutralidad para 2050².

Entre 2021 y 2022, el PNCNRC realizó varias acciones para fortalecer las capacidades del sector público, privado y la sociedad civil en materia de medición y gestión de emisiones de GEI. Algunos de los principales avances y resultados del programa fueron:

- La orientación a más de 200 organizaciones públicas y privadas en la elaboración de sus inventarios de emisiones de GEI y la formulación de planes de gestión de emisiones¹.
- La construcción de una herramienta virtual para que la ciudadanía pueda calcular su huella de carbono personal y recibir recomendaciones para reducirla¹.
- La elaboración de una guía metodológica para la formulación e implementación de proyectos de reducción de emisiones y adaptación al cambio climático en el sector privado³.
- La realización de talleres, webinars, cursos virtuales y otros espacios de sensibilización, capacitación y divulgación sobre el cambio climático y la carbono neutralidad⁴.

Estas acciones contribuyen a impulsar la acción climática del país y a cumplir con los compromisos internacionales asumidos por Colombia en el marco del Acuerdo de París. Sin embargo, aún existe una brecha significativa entre las emisiones actuales y las proyectadas para alcanzar las metas de reducción.

Según el último inventario nacional de emisiones de GEI, realizado por el IDEAM, Colombia emitió en promedio 237 millones de toneladas de CO₂ equivalente al año entre 2010 y 2018⁵. De estas, el 60% correspondieron al sector agropecuario y forestal, el 12% al transporte, el 10% al sector energético, el 10% a la industria, el 6% a las manufacturas y el 6% a los residuos⁵.

Para lograr la meta del 51% de reducción para 2030, Colombia debería emitir solo 115 millones de toneladas de CO₂ equivalente al año, lo que implica una disminución anual del 7,6%⁶. Esto supone un gran desafío, ya que implica transformar los patrones de producción y consumo, implementar medidas estructurales en todos los sectores económicos, movilizar recursos financieros suficientes y generar una mayor conciencia y participación ciudadana.

Por lo tanto, se requiere un mayor esfuerzo colectivo e integral para cerrar la brecha entre las emisiones actuales y las deseadas. El PNCNRC es una herramienta valiosa para orientar y apoyar a los diferentes actores sociales en este proceso, pero también se necesita el compromiso y la responsabilidad de todos los sectores para avanzar hacia un desarrollo sostenible y bajo en carbono.

F. ANTECEDENTES ¿QUÉ HEMOS HECHO?

La captura y secuestro permanente de CO₂ se erige como una solución crucial para mitigar el cambio climático. La bioeconomía y la simbiosis industrial emergen como éxitos prometedores en este camino. La bioeconomía impulsa biocombustibles, bioplásticos y químicos a partir de biomasa renovable, reduciendo la dependencia de los combustibles fósiles y su impacto ambiental. Mientras tanto, la simbiosis industrial fomenta la colaboración intersectorial y reutiliza subproductos como CO₂, disminuyendo residuos y contaminación. Estas estrategias optimizan la eficiencia y reducen la huella de la industria del petróleo y gas, promoviendo la sostenibilidad y la economía circular, mejorando su competitividad en un mundo que busca responsabilidad ambiental.

G. PÚBLICO OBJETIVO ¿A QUIÉN VAMOS A IMPACTAR?

- Comunidades aledañas a los procesos productivos donde se genera el CO₂

H. IMPACTO ESPERADO

- Beneficios por incremento de empleos, mejor calidad de vida y una solución sostenible
- Comunidades net 0 - Minimizar el CO₂ en las compañías asociadas al tema
- Articulación, impacto y beneficio a nivel país
- Creación de cadena de valor de CO₂ y articulación con cadenas existentes

I. MÍNIMOS QUE DEBES CONSIDERAR ¿QUÉ SE ESPERA DE LA PROPUESTA?

Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

- Involucren soluciones en TRL 5-6 que puedan ser llevadas a TRL 9
- No se espera recibir soluciones que estén en etapa de investigación
- Garantice un efecto 0 o negativo de secuestro de CO₂

Referencias:

- (1) Estrategia Colombia Carbono Neutral - Ministerio de Ambiente y <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/>.
- (2) ¿En qué consiste el Programa Nacional de Carbono Neutralidad?. <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/programa-nacional-de-carbono-neutralidad/>.
- (3) FAQ Estrategia País Colombia Carbono Neutralida. <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2022/02/2.FAQ-Estrategia-Pais-Colombia-Carbono-Neutralidad-ad-1.pdf>.
- (4) Colombia reducirá en un 51% sus emisiones de gases efecto invernadero <https://www.minambiente.gov.co/colombia-reducira-en-un-51-sus-emisiones-de-gases-efecto-invernadero-para-el-ano-2030/>.
- (5) Colombia lidera el camino hacia la sostenibilidad en América Latina. <https://www.bancomundial.org/es/news/feature/2022/08/31/colombia-leading-the-path-to-sustainability-in-latin-america>.
- (6) En 24 años aumentó en un 10% la emisión de gases efecto invernadero en <https://www.semana.com/sostenible/medio-ambiente/articulo/en-24-anos-aumento-en-un-10-la-emision-de-gases-efecto-invernadero-en-colombia/201800/>.
- (7) Estrategia Colombia Carbono Neutral - Ministerio de Ambiente y <https://carbononeutral.minambiente.gov.co/>.

5. TECNOLOGÍA PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AIRE

RETO: ¿Cómo podríamos reducir el material particulado emitido por vehículos de servicio especial de transporte escolar que afecta la calidad del aire que respira la ciudad de Bogotá?

A. **LÍNEA TEMÁTICA:** Movilidad sostenible

B. DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA U OPORTUNIDAD

La calidad del aire en las ciudades es de suma importancia en el aspecto socioambiental que puede afectar la calidad de vida de los ciudadanos. En Colombia se mide la cantidad de material particulado (PM) según la densidad poblacional, regulando fracciones de PM 2,5 y PM 10, en donde más del 90% de las partículas respiradas son partículas que no superan los 100 nm, llegando a ser más peligrosas para la salud que el PM 2,5.

El impacto que genera el material particulado en la calidad del aire está afectando la mayor parte de la comunidad sur occidental de Bogotá, generando gran impacto en la salud y un aumento en costos al sistema por la tasa de mortalidad que contribuyó a más de 3.400 muertes prematuras en 2021 y, a su vez, se conoció que en Colombia el 76% de los 78 municipios con sistema de vigilancia de calidad del aire alcanzan niveles perjudiciales para la salud, según datos del (DNP).

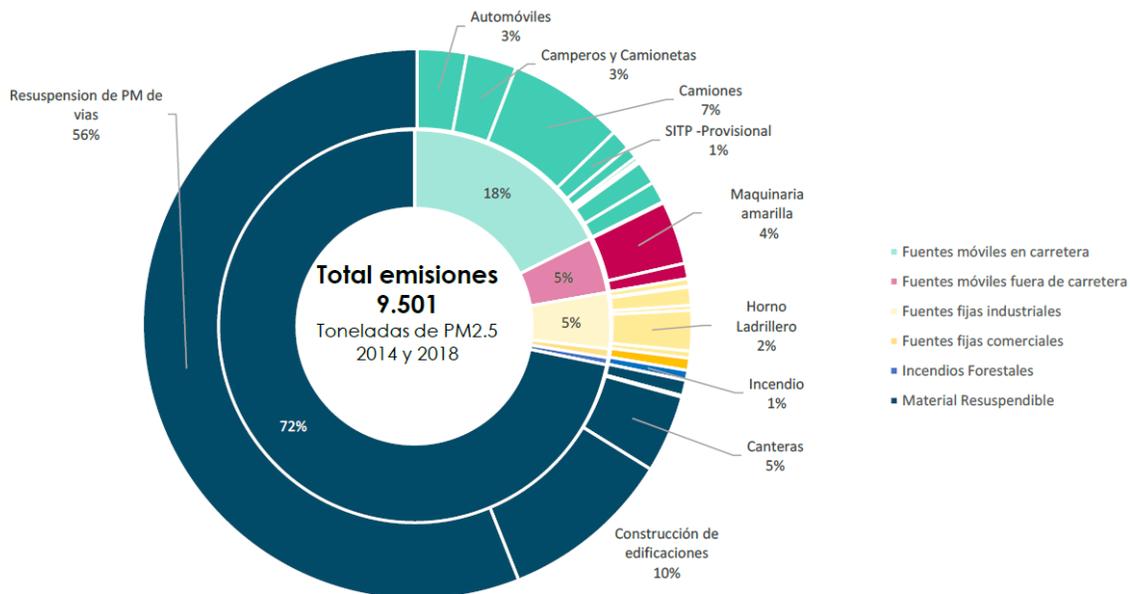
Av. Calle 26 # 57- 41 / 83 Torre 8 Piso 2 – PBX: (57+1) 6258480, Ext 2081 – Línea gratuita nacional 018000914446 – Bogotá D.C. Colombia

Este material ha generado hoy en Bogotá dos alertas ambientales en el 2023, producto del monitoreo constante de las 20 estaciones de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá, la cual realiza el monitoreo con datos actualizados cada hora de los contaminantes criterio PM10, PM2.5, O3, SO2, NO2 y CO, y las variables meteorológicas precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento.

El principal contribuyente de las emisiones de material particulado en la ciudad es el parque automotor a diésel. En este sentido, Bogotá cuenta con un parque automotor cercano a 2.6 millones de vehículos, de los cuales cerca del 4% son vehículos de transporte de carga y pasajeros.

Según los datos publicados por la Secretaría Distrital de Ambiente en el 2020, el parque automotor que circula en Bogotá es responsable del 23% de la contaminación del aire por PM2.5. Esta cifra engloba las emisiones de material particulado provenientes de los buses y camiones de la región. Es fundamental destacar que el transporte de carga también juega un papel importante en este porcentaje, aportando el 7%.

Figura 1: Participación por tipo de fuentes en las emisiones totales de PM2,5



Fuente: SDA Inventario de emisiones de Bogotá, Contaminantes atmosféricos 2018.

Según cifras de la Asociación Colombiana de Transporte Terrestre Automotor Especial (Acoltés), Bogotá tiene cerca de 12000 vehículos que se dedican al transporte escolar y están dentro de la categoría de transporte especial¹. Este segmento vehicular en Bogotá puede aportar el 7% de las emisiones vehiculares por PM2,5; sin embargo, este servicio impacta

¹ <https://www.eltiempo.com/bogota/rutas-escolares-en-bogota-que-tanto-las-afecto-la-pandemia-569287>

directamente una población vulnerable como son los niños en edad escolar quienes según reportes llegan a pasar hasta 3 horas al día en las rutas escolares.

La población escolar se transporte en buses de servicio especial, en su mayoría este segmento de vehículos está compuesto por flota de tecnologías vehicular con un tiempo considerable de uso, que, si bien cumplen las normativas nacionales de emisiones vehiculares, dichas normativas presentan una brecha con respecto a estándares internacionales. La reducción de las emisiones de los vehículos escolares genera un impacto sobre el aire de la ciudad, sin embargo, se destaca que impacta a la población estudiantil que hace uso a diario de este servicio.

C. OBJETIVO

- Reducir en mínimo 20% el material particulado emitido por los vehículos de servicio especial de transporte escolar diésel.
- Reducir impacto negativo sobre la salud por la exposición al material particulado (PM 2,5) de los ciudadanos, a través de soluciones tecnológicas.

D. JUSTIFICACIÓN

La mala calidad del aire es una amenaza directa para la salud pública. El material particulado en el aire, como partículas finas (PM_{2,5}), dióxido de nitrógeno (NO₂), dióxido de azufre (SO₂), Ozono(O₃) y monóxido de carbono (CO), pueden tener graves efectos en el sistema respiratorio y cardiovascular, aumentando el riesgo de enfermedades respiratoria relacionadas entre otros problemas de salud crónicos. Además, la exposición a estos contaminantes también afecta negativamente el desarrollo cognitivo en niños.

Además de afectar la salud de los ciudadanos, el material particulado afecta el medio ambiente en su conjunto, este afecta la biodiversidad local, deteriora la calidad de nuestros espacios públicos, como parques y plazas, y puede afectar la economía por costos médicos y sanitarios.

Mejorar la calidad de aire de las ciudades es un deber y compromiso con las futuras generaciones. Se debe actuar de manera conjunta y responsable, involucrando a todos los actores relevantes, como gobierno local, sector privado, organizaciones gubernamentales y ciudadanos. Esto cada vez es más necesario debido a que según la Organización Mundial de la Salud (OMS) una de cada ocho muertes ocurridas a nivel mundial, es ocasionada por la contaminación del aire. Adicionalmente, el Departamento Nacional de Planeación (DNP) estimó que, durante el año 2015, los efectos de este fenómeno estuvieron asociados a 10.527 muertes y 67,8 millones de síntomas y enfermedades en Colombia.

En 2023 Bogotá lleva dos alertas preventivas por calidad de aire, por lo cual, la Alcaldía Mayor de Bogotá ha emitido las recomendaciones de uso de mascarillas, evitar uso de transporte particular, evitar el ejercicio al aire libre entre otras recomendaciones. A pesar de que se tengan estas medidas Bogotá sigue aumentando sus alertas ambientales, por lo que

es de suma importancia reducirlas y mejorar la calidad de vida de los ciudadanos a través de las condiciones medioambientales.

En particular, los vehículos de servicio especial de transporte escolar han sido identificados como una fuente significativa de emisión de material particulado, lo que directamente afecta la calidad del aire y la salud de los ciudadanos. En Bogotá, según registro de las autoridades, el transporte especial (rutas escolares) ocupa la tercera posición entre los vehículos que más contaminan en la ciudad, con un 10,1 por ciento, después del transporte de carga 43,6% y el servicio público colectivo-provisional 13,6% (Zapata, W., 2019).

Por lo anterior, es de suma importancia generar alguna solución que permita disminuir el material particulado impactado en este tipo de vehículos con tecnología euro III y euro IV, las cuales trabajan con diésel y, por lo tanto, genera material particulado 2.5, que puede ocasionar problemas de salud a los estudiantes y los ciudadanos.

E. ALCANCE

- La solución tecnológica deberá incluir la medición del material particulado que evidencia la disminución, empleando metodologías y ciclos de conducción reconocidos internacionalmente.
- La solución no debe estar apalancada en cambios en la composición de combustibles que no sean avalados por la industria automotriz a nivel internacional.
- La solución deberá acoplarse adecuadamente con las diferentes iniciativas que se desarrollan desde los diferentes interesados como entes gubernamentales, instituciones públicas, universidades y demás sectores.
- La solución deberá desplegarse en los vehículos de servicios especiales de transporte escolar.
- La solución deberá contener características innovadoras.
- La solución no podrá basarse en soluciones como aditivos, reemplazo de diésel por biocombustibles.
- La solución debe tener el potencial de ser replicada, con los debidos ajustes, a otro tipo de vehículos que operan con Diesel u otro combustible que tenga el potencial de generar emisiones.

F. ANTECEDENTES

- La Red de Monitoreo de Calidad del Aire de Bogotá - RMCAB opera desde 1997. Esta se encarga de vigilar las concentraciones de contaminantes criterio (material particulado de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O₃, dióxido de azufre - SO₂ y dióxido de nitrógeno - NO₂ y monóxido de carbono - CO), de black carbón (o carbono negro) y variables meteorológicas (precipitación, temperatura, presión atmosférica, radiación solar, velocidad y dirección del viento), por medio de las veinte (20) estaciones instaladas en diferentes lugares de la ciudad. La red de monitoreo cuenta con un sitio web donde se pueden visualizar los valores de las concentraciones y parámetros meteorológicos, los cuales se actualizan cada hora y se muestran en tablas, gráficas o mapas en los que se presentan las estaciones activas, con los indicadores del IBOCA para PM2,5.

- La Alcaldía Mayor de Bogotá amplió la red de monitoreo en el 2020 incluyendo 7 nuevas estaciones. Esta iniciativa ha contado con el apoyo de empresas y ciudadanos. Entre otras iniciativas están los “CazaChimeneas” en donde se monitorea las emisiones del parque automotor, implementación de regulación local y normativas para actualizar el parque automotor, campañas de concientización de uso de vehículo particular. De igual manera, las ciudades cuentan con una serie de iniciativas lideradas por emprendedores que buscan mejorar la calidad de aire de las ciudades como iniciativas de ciudad inteligente.
- En 2021 Bogotá inició un proceso para implementar el Plan Estratégico para la Gestión Integral de la Calidad del Aire el cual pretende que, a través de diferentes acciones se logre generar un cambio de hábitos en los ciudadanos para lograr así este propósito. De igual manera cuenta con el Plan de Acción para el Mejoramiento de la Calidad del Aire (Pamca), el cual va a permitir tener un panorama general de la población afectada por la mala calidad del aire y así mismo generar un control ambiental y sanitario permanente y contar con un estudio constante para reducir emisiones de material particulado.
- En 2022, La Alcaldía Mayor de Bogotá, con el fin de mejorar la calidad del aire en la capital, instaló una red de 20 microsensores por toda la ciudad con el propósito de medir los factores la concentración de contaminantes, es decir, el material particulado PM1, PM2.5 y PM10, Estos microsensores están ubicados en lugares específicos como ciclorrutas, vías, barrios, cercanía a colegios y jardines, impactos de proyectos urbanos entre otros y cuentan con una tecnología óptica, que permite recolectar información y transmitirla en tiempo real a través de internet móvil o wifi a una plataforma.
- Estudio del aporte del combustible a la calidad del aire. En donde se encontró de fuentes móviles. En la actualización del inventario de emisiones de Bogotá la Secretaría de ambiente estableció que el 67% de la contaminación por PM2,5 es causado por el material particulado resuspendido. La incorporación en el inventario de esta fuente de contaminación hace que la gestión de la calidad de aire incorpore temas como el mantenimiento de la malla vial dentro de las acciones de mitigación

G. PÚBLICO OBJETIVO ¿A QUIÉN VAMOS A IMPACTAR?

- Entidades gubernamentales
- Autoridades ambientales locales
- Ciudadanos
- Población en edad escolar
- Instituciones públicas ambientales
- Grupo Ecopetrol.
- Conductores del parque automotor de servicio especial.

H. IMPACTO ESPERADO

La reducción del 20% de las emisiones de material particulado de un bus de servicio escolar puede llegar a impactar positivamente la salud de los niños en edad escolar, reduciendo potencialmente las afectaciones por enfermedad respiratoria en dicha población.

MÍNIMOS A CONSIDERAR PARA TODOS LOS RETOS
¿QUÉ SE ESPERA DE LA PROPUESTA?

Se esperan soluciones que:

- Involucren soluciones en TRL 5-6 que puedan ser llevadas a 7-9
- No se espera recibir soluciones que estén en etapa de investigación
- En los casos en que las soluciones contemplen un componente de tecnología digital, se espera que sean soluciones completas que realicen el despliegue de toda la tecnología que requiera la solución, e incorporen capacidades 4ri y 5ri como inteligencia artificial, internet de las cosas, *blockchain*, *bigdata*, AI generativa, Realidad mixta entre otras. La lista de requerimientos técnicos de la solución es la siguiente:

Aspecto/ ciclo de vida	Funcionalidades
Back – End (características que no son percibidas por el usuario final)	<ul style="list-style-type: none"> - La solución debe estar desarrollada utilizando arquitecturas modernas de aplicaciones basadas en microservicios y APIs - La solución debe garantizar la confidencialidad, seguridad y en general la integridad de la información - La solución debe garantizar cumplimiento de criterios de calidad de arquitectura Atam en interoperabilidad, seguridad, escalabilidad, mantenibilidad
Front - End (características que son percibidas y afectan la experiencia del usuario)	<ul style="list-style-type: none"> - El desarrollo de la solución debe seguir las recomendaciones de UX/UI que defina Ecopetrol. - La solución debe contar con una visualización interactiva de resultados. - La solución debe dar cumplimiento a los estándares de ciberseguridad y garantizar la protección de los datos personales del usuario - Solución que se pueda comunicar con los estándares de la industria
Infraestructura	<ul style="list-style-type: none"> - La solución debe ofrecer preferiblemente un modelo de servicio de computación en nube, y en los casos que aplique, el despliegue de componentes en <i>Edge</i> administrados desde la nube para resolver problemas de conectividad en zonas apartadas

<p>Sustainability (Características que afectan la sostenibilidad económica y funcional de la solución)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Debe ser una <i>Cloud Based Solution</i>. - Consolidación, centralización y análisis de datos en soluciones en la nube - Solución que sea capaz de reconocer patrones y generar predicciones a partir de la Data recolectada (Muestreo). - Encapsulado seguro acorde al área de trabajo: a prueba de explosión/IP 61. Para dispositivos IOT industriales - IOT Hub, Security Center, gestión y monitoreo remoto del dispositivo. - Aplicar el estándar de aseguramiento (hardening) al sistema operativo de todos los dispositivos, máquinas virtuales y componentes de la solución - Contar con mecanismos de autenticación y cifrado a lo largo de todo el proceso. - Consolidación en lago de datos y caracterizar la data. - Soporte de redes 2G/3G/4G LTE/5G/HSPA/UMTS para transmisión de datos de forma segura sin infraestructura de antenas tradicionales y sin sensores dependientes de baterías como fuente de alimentación de energía - Exploración de alternativas tecnológicas de conectividad en zonas apartadas como internet satelital, whiteband, otras. - Protocolos de comunicación y seguridad como MQTT
--	---