

**H-cell celdas de
generación de
hidrógeno en vehículos
para la optimización
de la combustión de
combustibles fósiles en
motores convencionales
a fin de reducir las
emisiones de gases
efecto invernadero**

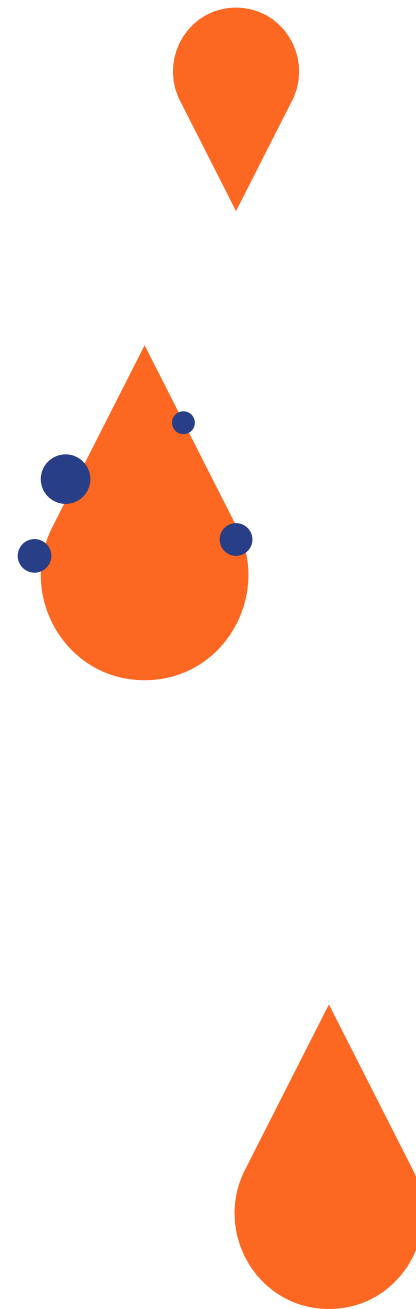


Entidad Proponente	SENA Regional Santander
Naturaleza de la Entidad	Pública
Nombre de la Iniciativa	H-CELL Celdas de generación de hidrógeno en vehículos para la optimización de la combustión de combustibles fósiles en motores convencionales a fin de reducir las emisiones de gases efecto invernadero
Sector Económico	Transporte



REGIÓN NORORIENTE PACÍFICO

SANTANDER



Antecedentes



De acuerdo con el estudio de Joya (2014), en Colombia, el transporte de carga (urbano e interurbano) es la categoría de mayor aporte en las emisiones, con una participación del 43%, seguido por el transporte público, que aporta el 21% del total de emisiones de CO₂ (Sebastián Joya, 2014). Con las tendencias actuales, se estipula que para el año 2040, el transporte de carga continúe siendo el de mayor aporte (41%), mientras que el transporte privado se convertirá en la segunda categoría con mayor aporte a las emisiones totales de CO₂, con una contribución del 37%.

Al evaluar dentro de los sectores de interés cuál sector tiene el mayor potencial para poder crear soluciones y disminuir emisiones, se encuentra que el sector transporte es el que generaría el mayor impacto positivo, debido a que es la única actividad que se ha mantenido en crecimiento constante en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero. En este sentido, el presente proyecto se desarrollará específicamente en las principales cabeceras municipales del departamento de Santander y tiene como objetivo actuar directamente sobre el sector transporte y su impacto en el calentamiento global.

En varias partes del mundo, el hidrógeno

es utilizado como combustible para la generación de energía térmica y eléctrica, transporte y muchas otras aplicaciones. Asimismo, en los últimos años, se han desarrollado diversos componentes y equipos para la obtención y almacenamiento de hidrógeno. Se han creado motores que lo utilizan exclusivamente para su combustión, y se están desarrollando técnicas que permiten su conversión a otras formas de energía, logrando cada vez mayores niveles de eficiencia en el proceso, lo que representa menores costos y emisiones de GEI (Kotze, Brent, Musango, de Kock, & Malczynski, 2021).

El hidrógeno cuenta con todas las características para convertirse en el mejor combustible alternativo. Debido a que puede almacenarse en estado gaseoso o líquido, es posible distribuirlo a través de gasoductos. Su combustión no emite gases de efecto invernadero y es uno de los elementos más abundantes de la Tierra. Sin embargo, el hidrógeno no se encuentra libre de forma natural en nuestro planeta, sino contenido en otras sustancias, como el agua, el carbón y el gas natural. Por esta razón, su obtención implica la descomposición de dichas sustancias. En efecto, la forma ideal de producirlo sería obtenerlo directamente del agua (una sustancia presente en el 70% del planeta) mediante electrólisis,

proceso que consiste en la descomposición de las moléculas de agua (H_2O), en oxígeno (O_2) e hidrógeno (H_2). Como puede observarse en la siguiente tabla, el

hidrógeno es un superelemento debido a sus propiedades físico-químicas.

La principal ventaja del hidrógeno es

Tabla: Propiedades que hacen del hidrógeno un buen combustible.

Fuente: Element Energy Limited, 2018

Propiedad	Hidrógeno	Gas Natural	Gasolina
Densidad energética (kJ/g)	50	54	120
Límites de inflamabilidad (%)	4,0 - 75	5,3 - 15	1,07 - 7,8
Mínima energía de actividad (mJ)	0,02	0,29	0,24
Temperatura de autoencendido (°C)	585	540	228 - 471
Emisiones (mg CO_2 /KJ)	0	55	80

que permite descarbonizar el transporte sin necesidad de renovar la actual flota de vehículos. En este sentido, tiene la posibilidad de emplearse en los vehículos que ya existen, como motocicletas, automóviles, SUV, camiones, autobuses, tractores, cosechadoras, excavadoras, entre otros.

Originalmente, H-CELL fue un proyecto desarrollado por el emprendedor Héctor Leonardo Mayorga (fundador de Deintec S.A.S) en el Tecnoparque Nodo Bucaramanga del SENA regional Santander. Este prototipo se desarrolló para una opción de negocio que impactara el mercado automotriz con una propuesta de generación de hidrógeno por electrólisis en línea para optimizar el consumo de los combustibles y contribuir, de manera

significativa, a la reducción de gases contaminantes en el sector automotriz, optimizando recursos económicos y ambientales. El principio de funcionamiento del modelo se basa en la electrólisis del agua, por medio de corriente eléctrica entregada por la batería del vehículo para separar el agua (H_2O) en sus elementos básicos, oxígeno e hidrógeno. El hidrógeno generado es inmediatamente inyectado al motor, donde se mezcla con el combustible existente, reduciendo el consumo de combustible y, a su vez, reduciendo las emisiones de CO , CO_2 , NOx , entre otros. Además, el oxígeno generado es enviado directamente al ambiente, mejorando así la calidad del aire.



Objetivo General



Reducir la generación de emisiones de gases efecto invernadero ocasionada por la combustión interna en los motores convencionales de vehículos de transporte terrestre (vehículos particulares, de carga y de pasajeros), por medio del uso de hidrógeno producido por electrolizadores de bajo costo alimentados con energías alternativas (hidrógeno verde).



Objetivos Específicos

1. Desarrollar un sistema modular que permita generar y almacenar hidrógeno alimentado con energías alternativas con capacidad de 10KVA.

2. Desarrollar e implementar un sistema de gestión vehicular con tecnología del Internet de las Cosas (IoT), que permita monitorear, controlar y dosificar el hidrógeno en los motores en función del tipo de máquina y requerimientos de potencia. Con esto se busca optimizar la mezcla de combustible sin afectar el punto de operación del motor y minimizar las emisiones de GEI.

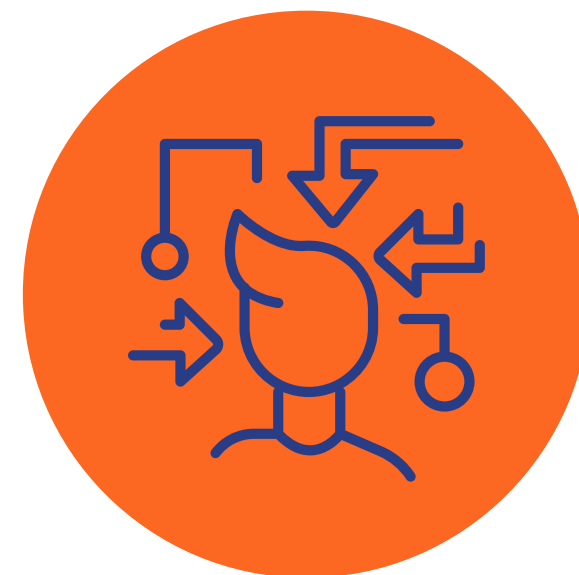
3. Diseñar e implementar un proyecto piloto que permita validar la tecnología de generación de hidrógeno para la reducción de GEI en motores de combustión interna en 10 vehículos a gasolina y diésel.

4. Diseñar e implementar una estrategia de posicionamiento del hidrógeno como fuente de energía viable ambiental, económica y socialmente.

Principales actividades a desarrollar



- 1 Realizar modelos físico-matemáticos y simulación del proceso de combustión de la mezcla hidrógeno-combustible en motores de combustión interna.
- 2 Optimizar la celda existente por medio del uso de nuevos diseños, materiales en electrodos y membranas de intercambio protónico (PEM).
- 3 Desarrollar el sistema de compresión y almacenamiento de hidrógeno generado en las celdas.
- 4 Desarrollar el sistema de potencia que alimentará la planta modular de hidrógeno.
- 5 Desarrollar pruebas funcionales que permitan la validación de la técnica de generación y almacenamiento seguro de hidrógeno.
- 6 Desarrollo de algoritmo de control para gestionar la producción de hidrógeno en función del tipo de motor y las necesidades de potencia.
- 7 Diseñar y construir los equipos de instrumentación electrónica para la medición de variables de emisiones de GEI y consumo energético.
- 8 Diseñar e implementar una plataforma IoT para el control de información generada por el sistema de gestión de la energía y reducción de emisiones del GEI.
- 9 Desarrollar pruebas funcionales que permitan la validación de la técnica de control de inyección de hidrógeno, gestión de la energía y de la información en plataforma.
- 10 Realizar convenios con empresas interesadas en implementar la tecnología de hidrógeno en sus sistemas que implican motores de combustión interna.
- 11 Realizar la instalación de equipos de hidrógeno en los motores candidatos.
- 12 Configurar el sistema de control e instrumentación del equipo.



- 13 Configurar la plataforma IoT de monitoreo de GEI y gestión energética.
- 14 Realizar seguimiento, documentar las pruebas de los equipos instalados del uso del hidrógeno en motores de combustión mediante la plataforma IoT de gestión energética.
- 15 Diseñar las herramientas de comunicación para el posicionamiento del hidrógeno.
- 16 Realizar y publicar informes técnicos con resultados obtenidos del proyecto piloto.
- 17 Realizar testeo tecnológico y comercial de las celdas de hidrógeno para motores de combustión.
- 18 Implementar herramientas de comunicación que favorezcan el posicionamiento del uso del hidrógeno (foros, congresos, ferias académicas e industriales).



Lugar de Ejecución



El proyecto será realizado en el departamento de Santander y sus cabeceras municipales principales: Bucaramanga y municipios del área metropolitana, distrito especial de Barrancabermeja, San Gil, Socorro, Vélez y Barbosa.

Población Beneficiada

La población indirecta a beneficiar con el proyecto corresponde a

1.574.214

habitantes del Área Metropolitana de Bucaramanga (incluye los municipios de Bucaramanga, Girón, Piedecuesta y Floridablanca), Socorro, San Gil y el distrito especial de Barrancabermeja. La población de estos municipios tiene en promedio una participación de



Impactos / Cobeneficios



Económicos: la celda H-CELL permitirá reducir el consumo de gasolina entre un 20 y 40%, ya que se está enriqueciendo la mezcla de la combustión (Gasolina+Oxígeno) con H₂. Esto permite un aumento en la potencia del motor y un mayor rendimiento del combustible, lo que, a largo plazo, reduce los costos asociados a la compra de combustibles fósiles en el sector transporte.

El proyecto se articula con el **Objetivo de Desarrollo Sostenible-ODS 8 Trabajo decente y crecimiento económico**, el cual está orientado a promover el crecimiento económico sostenido, inclusivo y sostenible, el empleo pleno y productivo y el trabajo decente para todos. Lo anterior, dado que el presente proyecto parte del apoyo a un emprendimiento innovador y busca establecer las estrategias para que el desarrollo de las celdas de hidrógeno vehicular se pueda viabilizar económicamente para fortalecer sus procesos de crecimiento y aceleración productiva, generando con ellos nuevos empleos al dar apertura al desarrollo de un producto en un mercado bajo expansión y asociado a las tendencias internacionales.

Ambientales: de igual forma, se evidencia una articulación con el **ODS 7 Energía asequible y no contaminante**, cuyo logro busca garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.

La articulación está soportada en la pretensión de aumentar la cooperación entre actores nacionales e internacionales para facilitar el acceso a la investigación y la tecnología relativas a la energía limpia, incluidas las fuentes renovables, la eficiencia energética y las tecnologías avanzadas y menos contaminantes de combustibles fósiles. La cooperación también pretende promover la inversión en soluciones tecnológicas como las celdas de hidrógeno vehicular.

Adicionalmente, se establece una articulación con el **ODS 11 Ciudades y comunidades sostenibles**, desde el entendido de lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, resilientes y sostenibles, específicamente en términos del aporte al mejoramiento de calidad del aire, un fenómeno ambiental de gran importancia en las grandes ciudades y vinculado directamente a la contaminación aportada por el sector transporte entre otros.

A su vez, se determina la articulación con el **ODS 13 Acción por el clima**, orientado a adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, dado que el proyecto busca aportar a las medidas de mitigación establecidas en el Pigcct del departamento de Santander, reduciendo las emisiones de GEI generadas en el sector transporte, en línea con las metas establecidas en la NDC en el compromiso de reducir en un 51% las emisiones de GEI en el país.

Sociales: según el lineamiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible ODS, el proyecto le apunta al **objetivo 7: "Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna"**. Según las Naciones Unidas, la energía es el factor que contribuye, principalmente, al cambio climático y representa alrededor del 60% de todas las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero (NU, 2019). Por esta razón, surge la necesidad de desarrollar proyectos que ayuden a buscar nuevas formas de energía renovable. Además, porque al promover una producción más limpia, se podría atraer la inversión de empresas internacionales y generar mayores oportunidades de desarrollo, ya que se necesitaría mayor mano de obra y el fortalecimiento de los conocimientos técnicos en la región.

Finalmente, se identifica la articulación con el **ODS 3 Salud y bienestar**, el cual pretende garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades. El presente proyecto espera aportar al mejoramiento de la calidad del aire y con ello, se proyecta aportar a la disminución de enfermedades respiratorias ocasionadas por este fenómeno.

Correspondencia con Emisiones Claves del Departamento



Teniendo en cuenta el marco del inventario nacional de emisiones de GEI, donde queda en evidencia que el sector transporte es uno de los sectores que más tienen incidencia en el cambio climático, debido al alto nivel de emisiones de CO₂ generadas por la combustión imperfecta de combustibles fósiles utilizados para hacer funcionar los motores de los vehículos, el aporte del presente proyecto está relacionado con el desarrollo sostenible a través de los cobeneficios que se generarían con su aplicación a una escala mayor y el impacto positivo en cuanto a la mitigación del cambio climático. Lo anterior, además, por los aportes en calidad de aire, la eficiencia en el uso de la energía y el impacto social que pueden tener las intervenciones en este sector.

De igual forma, entre los resultados esperados del proyecto, se pretende aportar al uso de un combustible más limpio y que, a través del desarrollo de una tecnología propia para la generación de hidrógeno de uso vehicular, se logre un transporte más eficiente desde el punto de vista energético. También se busca mejorar la calidad del aire y la salud pública por la disminución de las afectaciones actuales derivadas de la mala calidad del aire. Básicamente, el principal reto al que le apunta este proyecto es la descarbonización del sector transporte, siendo este uno de los grandes consumidores de energía, en donde el hidrógeno puede ser una solución tecnológica mucho más sostenible de las que actualmente se están implementando.

¿Qué tipo de innovación plantea el proyecto y en qué consiste?

El transporte y la industria son dos de los sectores que generan la mayor cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero. El hidrógeno verde será una vía eficaz para reducir las emisiones en estos sectores, por ejemplo, como combustible, fundamentalmente para el transporte pesado y de largas distancias.

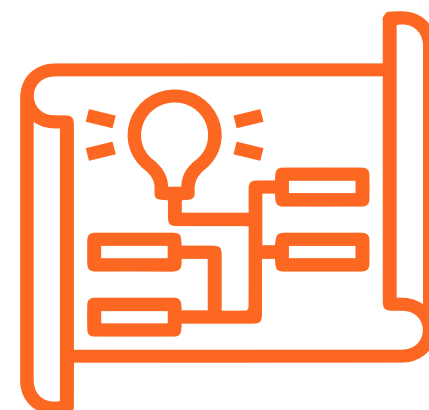


Recientemente, en el mundo se están dando pasos importantes que permitirán el desarrollo del hidrógeno en los próximos años. Un ejemplo de lo anterior es que, en 2021, la Comisión Europea presentó su estrategia para impulsar el hidrógeno verde hasta 2050, es decir, el que se produce a partir de fuentes renovables. La estrategia se divide en tres etapas. En la primera de ellas, la cual se enmarca entre los años 2020 y 2024, se pretende descarbonizar la producción de hidrógeno para usos actuales y potenciar nuevos usos. En la segunda etapa, entre los años 2024 y 2030, se quiere extender su uso a otros sectores industriales y al transporte de trenes y camiones. En la última fase, que cubre hasta 2050, el objetivo es desplegar el uso del hidrógeno a gran escala, utilizándolo en sectores donde sea difícil la descarbonización.

Son múltiples los proyectos innovadores que utilizan el hidrógeno, porque lo consideran una de las tecnologías clave del futuro. En este caso, uno de los pilares del proyecto es la sostenibilidad. Para ello, se espera que el hidrógeno sea capaz de cubrir parte de las necesidades de energía que requiere el transporte en el área metropolitana de Bucaramanga.

Otra parte innovadora del proyecto es que se busca fabricar un prototipo para el almacenamiento y uso de hidrógeno. Así, se busca garantizar la disponibilidad de hidrógeno en un uso posterior a su generación.

Articulación Plan Integral de Gestión de Cambio Climático Territorial (PIGCCT) del departamento / Instrumento de planificación



El proyecto se articula con la Política Nacional de Cambio Climático, en el marco de la línea de acción 3, correspondiente a: brindar alternativas de transporte público eficiente e integrados bajos en carbono y resilientes al clima; e incentivos para vehículos de bajas emisiones y la implementación de modos no motorizados.

De igual forma, el Ministerio de Minas y Energía se encuentra construyendo la hoja de ruta del hidrógeno como combustible. La orientación de esta hoja de ruta consiste en descarbonizar sectores como industria y transporte, apoyando el cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de gases efecto invernadero.

Asimismo, el proyecto está articulado con una de las medidas de mitigación establecidas en el Plan Integral de Gestión del Cambio Climático Territorial (Pigcct) del departamento de Santander: "Incentivar el uso de medios de transporte amigables con el ambiente en los municipios del área metropolitana de Bucaramanga".

De igual forma, este proyecto está alineado con el Plan de Desarrollo Departamental Santander contigo y para el mundo 2020-2023. En la línea estratégica "equilibrio social y ambiental", sector, "siempre ambiental y sostenible", y programa Gestión del cambio climático para un desarrollo bajo en carbono y resiliente al clima, el proyecto se articula mediante el aporte al cumplimiento de la meta "apoyar la implementación de acciones de mitigación y adaptación al cambio climático definidas en el Pigcct".

Valor del proyecto



Para la realización de la fase uno del proyecto, se estima la necesidad de una financiación de \$400 millones de pesos. En cuanto a la proyección de una futura fase 2, se estima una necesidad de financiación de

\$359 millones de pesos

Así, el valor total del proyecto, incluidas la fase uno y dos, ascendería a \$759 millones de pesos. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, el presente documento hace referencia a las actividades y el presupuesto de la primera fase del proyecto.

Tiempo Estimado

1 año.



Actores

Universidad de Santander (UNDES), Universidad Autónoma de Bucaramanga (UNAB), Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), programa Sennova, Universidad Santo Tomás Bucaramanga (USTA), Universidad Industrial de Santander (UIS), Instituto Colombiano del Petróleo (ICP), Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga (CDMB), Desarrollo Innovadores y tecnológicos de Colombia (Deintec S. A. S.), gobernación de Santander (SADER), Oficina de Cooperación Internacional, Federación Nacional de Avicultores (Fenavi), usuarios de transporte, propietarios de vehículos de transporte de carga pesada, empresas transportadoras, taxistas y conductores de plataformas tecnológicas para socios conductores y estaciones de gasolina.

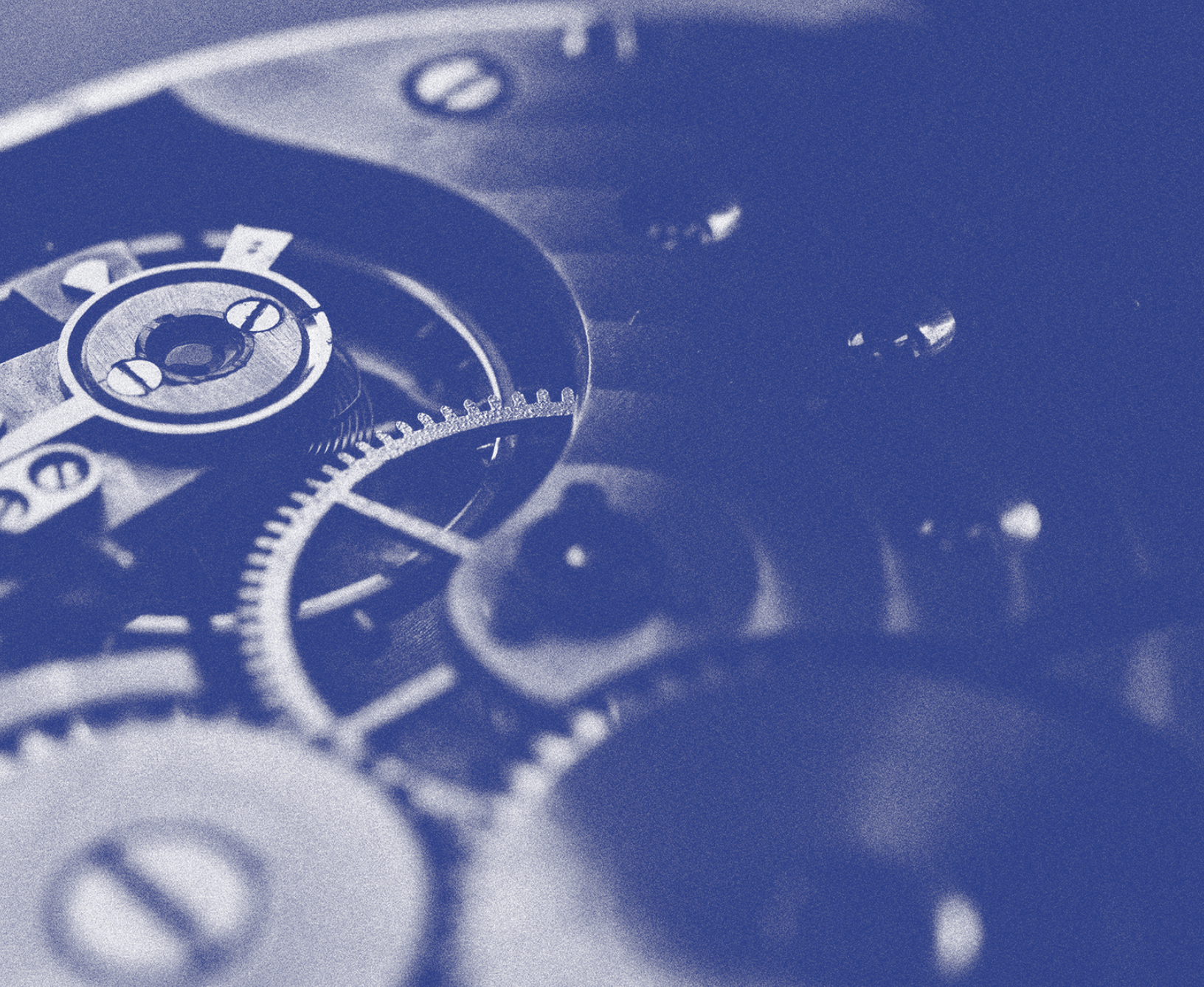
Equidad de género en el proyecto

El enfoque de equidad de género se aborda mediante la implementación del sistema de monitoreo y seguimiento. Se propone incluir indicadores para medir los impactos diferenciales de género, derivados de los beneficios esperados del uso de las celdas de hidrógeno como fuente de energía menos contaminante (dimensiones mínimas de género).

SENA Regional Santander

H-CELL Celdas de generación de hidrógeno en vehículos para la optimización de la combustión de combustibles fósiles en motores convencionales a fin de reducir las emisiones de gases efecto invernadero.

Transporte



Con el apoyo de:

