

PROYECTO DE APOYO A LA IMPLEMENTACIÓN DE ODS EN COLOMBIA:

FINANZAS PÚBLICAS, CRECIMIENTO SOSTENIBLE Y ENFOQUE DE GÉNERO

**ATCP 90 – Determinar la viabilidad de
implementación de una planta de SAF en el Valle
del Cauca**

Equipo Consultor:

Johan Martínez
Edgar Castillo

Fecha: Septiembre 2025

Financiado por



Operado por:





AGENDA

- 01 INTRODUCCIÓN**
Contexto global y oportunidad local
- 02 PRODUCTO 1:**
Disponibilidad de materias primas.
- 03 PRODUCTO 2:**
Ruta tecnológica
- 04 PRODUCTO 3:**
Cadena de valor
- 05 PRODUCTO 4:**
Análisis de inversiones y retornos.
- 06 PRODUCTO 5:**
Conclusiones y plan de acción
- 07 RECOMENDACIONES:**
Recomendaciones finales

CONTEXTO GLOBAL

OPORTUNIDAD LOCAL

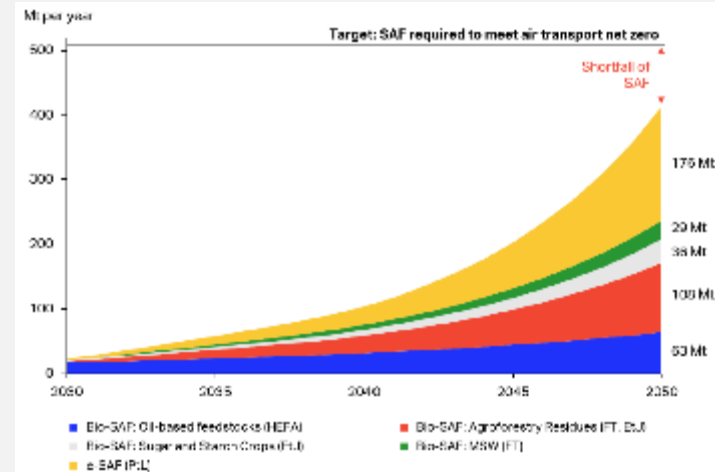
⚠ **EL RETO:** La descarbonización de la aviación es una necesidad global (CORSIA, Net-Zero 2050).

💡 **LA SOLUCIÓN:** El SAF es la principal herramienta para lograrlo, permitiendo reducir hasta un 80% de emisiones de CO₂ en el ciclo de vida.

📈 **EL MERCADO:** La demanda no es especulativa, es mandatoria. ReFuel EU crea un mercado de exportación garantizado con metas de 2% para 2025 y 70% para 2050.

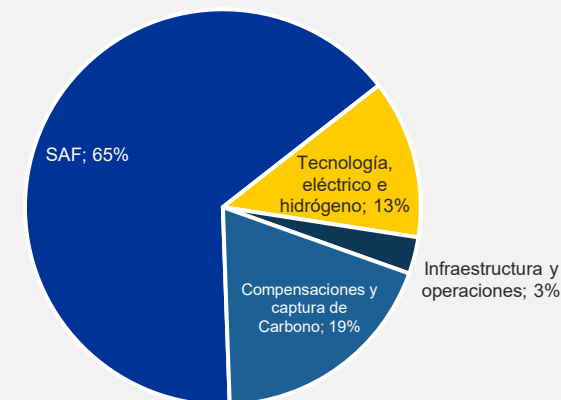
📍 **LA OPORTUNIDAD:** El Valle del Cauca está en una posición única para el ser hub de producción de SAF de Colombia y un actor relevante en la región

Potencial de producción de SAF a 2050



Fuente: IATA 2025

Reducción de emisiones para alcanzar NET ZERO en 2050



Fuente: IATA






PRODUCTO 1: **ANÁLISIS DE DISPONIBILIDAD DE MATERIAS PRIMAS**



Objetivo y Metodología

¿Cuenta el Valle del Cauca con la materia prima suficiente y competitiva para sostener una planta de SAF?

METODOLOGÍA

-  Revisión y síntesis de estudios clave (UPME, UNAL Palmira, Consorcio Biocombustibles).
-  Cuantificación del potencial bruto y análisis de usos actuales para determinar la disponibilidad neta.
-  Evaluación de costos de oportunidad y aspectos logísticos.
-  Análisis geográfico de la distribución de biomasa en el Valle del Cauca.
-  Evaluación de la capacidad instalada de la industria azucarera y alcoholera.

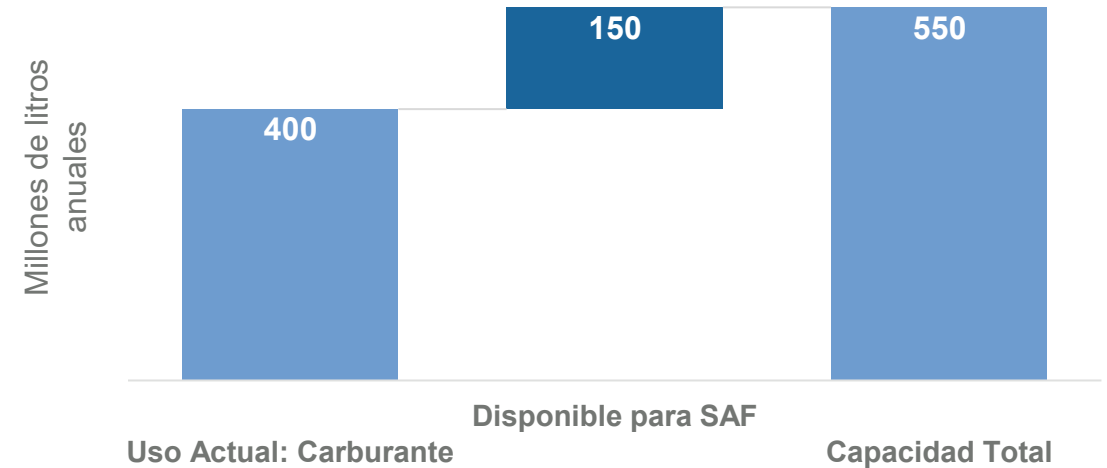
RESULTADOS: Etanol de Primera Generación (1G)

HALLAZGO PRINCIPAL

Existe una capacidad de producción adicional de al menos **150 millones de litros anuales**, sin afectar la disponibilidad para el mercado de alcohol carburante.

- ✓ Industria consolidada con tecnología madura para la producción de etanol.
- ✓ Capacidad instalada de destilación que puede ser utilizada en mayor proporción.
- ✓ Menor riesgo tecnológico y financiero para la primera fase del proyecto.

Capacidad de Producción de Etanol en el Valle del Cauca



💡 Conclusión

El Etanol 1G es la materia prima ideal para un arranque rápido del proyecto, aprovechando la infraestructura existente y la experiencia de la industria azucarera del Valle del Cauca.

RESULTADOS: Biomasa Residual de la Caña

RAC: Residuo Agrícola de Cosecha

- ✓ Potencial sostenible de **1,6 millones de toneladas/año.**
- ✓ Base para la competitividad a largo plazo.
- ✓ Cumplimiento de estándares de exportación de la UE.
- ⚠ Principal reto: **Desarrollo de cadena logística eficiente.**

Bagazo

- ✓ Potencial de **4,7 millones de toneladas/año.**
- ⚠ Alta competencia de uso (cogeneración, papel)
- ⚠ Disponibilidad condicionada a la sustitución por otras biomasas.
- ✓ Disponibilidad neta estimada: **>200 mil toneladas.**



RESULTADOS: Otras Biomosas de la Región

Residuos Forestales

- ✓ Potencial de **53 mil toneladas/año**.
- ⚠ Volumen limitado y con uso competitivo ya existente en la región.
- ✓ Rol **complementario**.



Residuos Agrícolas de Otros Cultivos

- ✓ Potencial de **3,2 millones de toneladas/año**.
- ⚠ No hay estudios que detallen su composición y el volumen aprovechable.
- ⚠ Alta dispersión y falta de cadenas logísticas.
- ✓ Rol marginal.
- ✓ Oportunidad para profundizar su estudio.

CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 1

Biomasa	Potencial Bruto (Valle del Cauca)	Aspectos Habilitantes	Limitantes Clave	Disponibilidad Neta Estimada
Alcohol 1G	600 millones litros/año	Industria consolidada, tecnología madura	Competencia con mercado de carburante	Aprox. 150 millones litros/año
RAC	1,6 millones ton/año	Alta disponibilidad, fuente de lignocelulosa	Logística de recolección, conservación del suelo	1 millón ton/año (depende de logística)
Bagazo	4,7 millones ton/año	Producción concentrada, alto contenido energético	Uso actual para cogeneración y producción de papel	> 200 mil ton/año (condicionado a sustitución)

Conclusión Central

El Valle del Cauca tiene una **base de materia prima robusta y dual**, centrada en la caña de azúcar, que soporta una **estrategia de implementación por fases**:

- ✓ **Fase 1:** Arranque con Etanol 1G, aprovechando la infraestructura existente.
- ✓ **Fase 2:** Integración progresiva de RAC y bagazo para mejorar la sostenibilidad y competitividad.

PRODUCTO 2: PROCESOS DE PRODUCCIÓN (RUTA TECNOLÓGICA)



Objetivo y Metodología

¿Cuál es la tecnología más idónea para transformar nuestra materia prima en SAF de manera eficiente y sostenible?



METODOLOGÍA

- Análisis de las rutas tecnológicas **aprobadas** por ASTM D7566.
- 🔗 Comparación detallada de las dos rutas más prometedoras: **Alcohol-to-Jet (ATJ)** y **Gasificación-Fischer Tropsch (G-FT)**.
Evaluación de madurez tecnológica (TRL), rendimientos, consumos de recursos y sinergias con la industria local.

PRODUCTO 2: La Elección Lógica es Alcohol-to-Jet (ATJ)

Indicador	Unidad	ATJ	G-FT
Rendimiento	ton SAF/ ton Biomasa	0,1076	0,114
Consumo de agua	ton H ₂ O / ton SAF	38,57	150,0
Energía eléctrica excedente	kWh / ton SAF	5.190,9	2.416,3
Consumo de hidrógeno	ton H ₂ / ton SAF	0,016	0,002



¿Por qué ATJ?

- ✓ **Sinergia Perfecta:** Aprovecha la industria de etanol existente en el Valle del Cauca.
- ✓ **Menor Consumo de Agua:** Factor crítico. ATJ consume aprox. 4 veces menos agua que G-FT.
- ✓ **Mayor Excedente de Energía:** Potencial para generación de ingresos por venta de electricidad.
- ✓ **CAPEX más bajo:** Para la ruta de Etanol 1G, reduciendo la barrera de entrada inicial.

💡 Conclusiones

- ✓ La ruta ATJ se alinea perfectamente con las ventajas comparativas del Valle del Cauca.
- ✓ Permite una estrategia evolutiva y de menor riesgo:
Primera fase: Comenzar con Etanol 1G
Segunda fase: Integrar producción de Etanol 2G a partir de RAC y bagazo.




PRODUCTO 3: **CADENA DE VALOR DE SAF EN EL VALLE**



Objetivo y Metodología

¿Quiénes son los actores involucrados en esta nueva industria? ¿Dónde está el mercado para nuestro SAF?

METODOLOGÍA




-  Mapeo de la cadena de valor
-  Análisis de Stakeholders (interés vs. Influencia)
-  Estudio de marco regulatorio de los mercados de exportación clave: **Unión Europea**

PRODUCTO 3: CADENA DE VALOR DE SAF EN EL VALLE

Etapa	Actividades	Actores Clave	Materias Primas	Consideraciones Clave
UPSTREAM (Origen y Preparación)	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo, cosecha y procesamiento de caña. • Certificación de sostenibilidad. • Logística de recolección • Pretratamiento de residuos agrícolas • Etanol 	<ul style="list-style-type: none"> • Agricultores de caña • Ingenios azucareros • Entidades certificadoras • Empresas de logística 	<ul style="list-style-type: none"> • Caña de azúcar • Residuos agrícolas de cosecha • Bioetanol anhidro 	<ul style="list-style-type: none"> • Logística eficiente • Certificación robusta • Políticas de incentivo y fomento
MIDSTREAM (Producción)	<ul style="list-style-type: none"> • Conversión tecnológica de materias primas a SAF puro mediante gasificación + Fischer-Tropsch o Alcohol-to-Jet 	<ul style="list-style-type: none"> • Productores de SAF • Proveedores de tecnología • Proveedores de insumos 	<ul style="list-style-type: none"> • Residuos agrícolas • Bioetanol • Hidrógeno (verde) • Energía (renovable) • Catalizadores 	<ul style="list-style-type: none"> • Altos requerimientos de inversión • Acceso a financiación • Disponibilidad de hidrógeno verde • Agilización de permisos
DOWNSTREAM (Distribución y Uso)	<ul style="list-style-type: none"> • Almacenamiento de SAF puro • Mezcla con Jet A-1 • Certificación del lote mezclado • Transporte al aeropuerto • Suministro a aeronaves 	<ul style="list-style-type: none"> • Productores de SAF • Distribuidores mayoristas • Operadores de aeropuertos • Aerolíneas 	<ul style="list-style-type: none"> • SAF puro • Jet A-1 convencional 	<ul style="list-style-type: none"> • Inversión en infraestructura • Coordinación logística • Definición de estándares de calidad
ECOSISTEMA HABILITADOR (Servicios Transversales)	<ul style="list-style-type: none"> • Definición de políticas públicas • Creación de incentivos fiscales • Investigación y desarrollo • Formación de capital humano • Gobernanza y colaboración 	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno • Entidades regulatorias • Banca / Fondos / Cooperación • Universidades / Centros I+D • Gremios y asociaciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas • Capital • Conocimiento 	<ul style="list-style-type: none"> • Entorno de mercado favorable • Liderazgo y coordinación • Marco regulatorio claro y estable

"Todos los actores necesarios están presentes. El éxito radica en su articulación."

CONCLUSIONES DEL PRODUCTO 3

-  **Potencial de Materia Prima:** El Valle del Cauca tiene una sólida base de materia prima, pero su uso para SAF depende de logística eficiente y de la competitividad del bioetanol. La sostenibilidad es indispensable para el negocio y la exportación.
-  **Ecosistema:** El Valle cuenta con un ecosistema de actores con **alto interés y alta influencia**. La gobernanza es el principal desafío para evitar la parálisis.
-  **Mercado:** La **Unión Europea** es el **mercado de exportación más atractivo y seguro** a corto plazo, pero impone estrictos requisitos de sostenibilidad (RED III) que limitan el uso de Etanol 1G a largo plazo.

*El éxito dependerá de la **capacidad** de los actores del Valle del Cauca para **colaborar, innovar y ejecutar** esta visión de manera **coordinada**, transformando su ventaja agroindustrial en una ventaja competitiva en el mercado global de la energía limpia.*





PRODUCTO 4: **ANÁLISIS DE INVERSIONES Y RETORNOS**



Objetivo y Metodología

¿En qué condiciones es rentable el proyecto?

METODOLOGÍA

-  Estimación de costos Clase 5 (prefactibilidad), con un margen de +/- 50%.
-  Desarrollo de un modelo financiero para calcular Valor Presente Neto (VPN), Tasa Interna de Retorno (TIR) y payback.
-  Análisis de dos escenarios clave:
 - ✓ Business As Usual (BAU)
 - ✓ SAF de Segunda Generación (2G).
-  Análisis de sensibilidad para identificar las variables críticas.

PRODUCTO 4: El Costo de la “Prima Verde”

Escenario	Materia Prima	Precio Materia Prima	CAPEX Estimado	Precio Mín. Venta SAF (VPN=0) <u>Con</u> BT*	Precio Mín. Venta SAF (VPN=0) <u>Sin</u> BT*
BAU	Etanol Anhidro	1.200 USD/ton	94,6 MM USD	7,35 USD/gal	7,49 USD/gal
SAF-2G	Biomasa (RAC/Bagazo)	35 USD/ton	222,6 MM USD	5,01 USD/gal	7,92 USD/gal

Consideraciones:

- **Escenario BAU:** Capacidad de la planta de 500 mil litros SAF/día. Producción SAF de 1.530 barriles/día
- **Escenario SAF 2G:** Capacidad de planta de 200 mil ton/año. Producción SAF de 427 barriles/día

Nota: BT = Beneficios tributarios similares a los contemplados para otras energías renovables.



Conclusión Central

- 💡 Ningún escenario es rentable a los precios actuales del Jet Fuel (~2 USD/galón). El proyecto requiere un sobreprecio ("prima verde") para ser viable.
- 💡 El escenario SAF-2G, aunque requiere mayor CAPEX, logra el precio de venta más competitivo, demostrando la importancia estratégica de la biomasa residual.
- 💡 Las dos variables de mayor sensibilidad son el precio del etanol y el CAPEX

El Precio del SAF en Perspectiva

SAF prices surge on supply-side concerns



Note: Sustainable Aviation Fuel (HEFA-SPK) CIF NWE

Source: S&P Global Commodity Insights

Sustainable Aviation Fuel (HEFA-SPK) FOB FARA... \$2737.75/mt
+0.71% 19.250 ↑
SUAFA00 - 23/09/2025 - \$/mt

US\$ 2.737 / ton ≈ **US\$ 8,29 / gal**

Conclusión: De acuerdo con los escenarios planteados el SAF del Valle es competitivo con los precios internacionales (**BAU:** US\$7,35/gal y **SAF-2G:** US\$5,01/gal)





PRODUCTO 5: **CONCLUSIONES Y PLAN DE ACCIÓN**



Objetivo y Metodología

¿Cómo se relacionan los hallazgos de los cuatro documentos anteriores?

METODOLOGÍA

-  Conclusiones individuales
-  Conclusiones cruzadas
-  Alineación estratégica con la Hoja de Ruta nacional
-  Recomendaciones

Conclusiones finales:

Individuales	Cruzadas
Liderazgo y gobernanza: Factor crítico de éxito	“Doble vía”: Estrategia óptima para una planta ATJ con etanol 1G y posteriormente complementada con Etanol 2G
Ecosistema resiliente: Múltiples actores	Incentivos: Necesarios para la viabilidad económica del proyecto. El etanol es la <i>materia prima crítica</i> y el alto CAPEX la <i>principal barrera de entrada</i> .
Certificación de sostenibilidad: Requisito fundamental para acceso a mercados	
Book and Claim: Acelerador de mercado	
Segunda generación: Urgencia en la transición	

Conclusiones finales: Barreras y oportunidades.

Categoría	Barreras Identificadas (Desafíos Clave)	Oportunidades Identificadas (Ventajas Estratégicas)
Técnica y Logística	<p>Cadena de Suministro del RAC: Inexistente a escala industrial, requiriendo inversión en logística de recolección, densificación y transporte.</p> <p>Disponibilidad de Hidrógeno Verde: Falta de una oferta local a costo competitivo, lo que incrementaría el CAPEX de la planta de SAF.</p> <p>Infraestructura Aeroportuaria: Necesidad de adecuar la infraestructura de almacenamiento y mezcla de combustible en los aeropuertos.</p>	<p>Industria Consolidada: Ecosistema de la caña de azúcar maduro con infraestructura, logística de etanol y capital humano ya existentes.</p> <p>Potencial de Sinergias: Posibilidad de integrar la planta de SAF con un ingenio para aprovechar vapor, electricidad de cogeneración y otros servicios.</p>
Económica y Financiera	<p>Alto Costo de Producción ("Green Premium"): El SAF es estructuralmente 3-4 veces más caro que el combustible fósil, lo que requiere incentivos para ser viable.</p> <p>Costo de Oportunidad: El etanol y el bagazo ya tienen mercados establecidos (combustible, azúcar, energía, papel) que definen un precio base alto.</p> <p>Acceso a Capital: La alta inversión inicial (CAPEX) y los riesgos de mercado y tecnología dificultan la financiación de proyectos pioneros.</p>	<p>Materia Prima Residual Abundante: El RAC es un residuo de bajo o nulo costo en campo, lo que representa un gran potencial económico si se resuelve la logística.</p> <p>Atracción de "Inversión Verde": El proyecto es un candidato ideal para atraer capital de fondos de impacto, bancos de desarrollo y financiación climática.</p>
Regulatoria y de Políticas Públicas	<p>Ausencia de un Marco de Incentivos Competitivo: Falta de un paquete de incentivos (fiscales, a la producción) que compita con los de EE.UU. (IRA) y la UE.</p> <p>Incertidumbre Regulatoria: Ausencia de una política de estado a largo plazo con metas claras y mecanismos definidos que brinde certidumbre a los inversores.</p>	<p>Marco de la Hoja de Ruta Nacional: La existencia de una política pública que prioriza el SAF crea un entorno favorable y da una señal positiva al mercado.</p> <p>Experiencia Regulatoria Previa: Colombia cuenta con más de una década de experiencia en la regulación de biocombustibles.</p>
De Mercado y Sostenibilidad	<p>Restricciones de Mercado para Etanol 1G: La regulación de la UE (RED III) limita el uso de biocombustibles de 1ª generación, creando una barrera comercial creciente.</p> <p>Complejidad de la Certificación: La certificación de sostenibilidad de toda la cadena de valor (CORSIA/ISCC) es un proceso costoso y complejo.</p> <p>Aseguramiento de la Demanda: Dificultad para firmar acuerdos de compra a largo plazo (offtakes) debido a la volatilidad de precios.</p>	<p>Demanda Garantizada en Mercados de Exportación: Los mandatos de la UE (ReFuelEU) crean una demanda obligatoria y predecible.</p> <p>Mecanismos de Mercado Innovadores: El sistema "Book & Claim" permite crear una demanda temprana y diversificada, reduciendo el riesgo.</p> <p>Economía Circular y Desarrollo Rural: La valorización del RAC genera nuevos empleos e ingresos rurales, alineando el proyecto con objetivos de desarrollo sostenible.</p>

Tenemos los recursos, la tecnología y el mercado.

Ahora necesitamos la estrategia y la acción coordinada.

Conclusiones y Plan de Acción

ES VIABLE, PERO CONDICIONADO

La implementación de una planta de SAF en el Valle del Cauca es técnicamente factible y estratégicamente atractiva. Sin embargo, su viabilidad económica depende de la creación de un marco de incentivos y una gobernanza efectiva.



PLAN DE ACCIÓN: 4 Ejes Estratégicos

- 1 GOBERNANZA**
Crear la "Mesa SAF Valle del Cauca" para alinear a todos los actores regionales y nacionales.
- 2 POLÍTICA PÚBLICA**
Abogar por un Paquete de Incentivos Nacional inspirado en modelos internacionales exitosos.
- 3 CADENA DE SUMINISTRO**
Lanzar "Proyecto Piloto de Logística y Certificación del RAC" para validar costos y operaciones.
- 4 MERCADO**
Organizar Rueda de Negocios para "Offtake Agreements" que conecte a productores con aerolíneas.

**El momento de actuar es ahora.
El Valle del Cauca tiene las capacidades
y el camino está trazado.
La ejecución coordinada convertirá esta
oportunidad en una realidad.**

RECOMENDACIONES FINALES



Asegurar sostenibilidad

Crear la “Mesa SAF Valle del Cauca”

Es la recomendación más urgente. Hay que contar con un articulador de la estrategia regional que sea vocero ante el gobierno nacional.

Necesidad de un paquete de incentivos

Es necesario que la inversión sea atractiva y competitiva a nivel internacional.

Lanzar proyectos piloto

El RAC es la biomasa promisoría para el Etanol 2G. Se requiere probar la logística y la certificación.

Asegurar demanda temprana

Gestionar y posibilitar la firma de acuerdos de compra a largo plazo (Offtake Agreements), así como la implementación del Book and Claim.

Profundizar el estudio a nivel de factibilidad

Avanzar a una fase de profundización de los análisis de ingeniería, logística, costos a nivel de factibilidad (Clase 3 o 4) para tener mayor certeza en el modelo de negocio.

Valorización integral de coproductos







Abrir el debate del costo de los coproductos de acuerdo con sus características renovables y ambientales. Esto mejora el flujo de ingresos y logra reducir el costo del SAF.

Biomásas complementarias






Profundizar el estudio de otras biomásas abundantes en la región para encontrar alternativas que viabilicen su aprovechamiento.

¡Muchas gracias por su atención!

Johan Martínez

 Economista – MBA
 Experto en Bioenergía
 johanmartinez1@hotmail.com
 +34 656 322796
 [johanmartinez](#)
 [Johan-Martinez-4](#)

Edgar Fernando Castillo

 Ph. D. Chemical Engineer
 Experto en Energía
 efcastil@yahoo.com
 +57 314 4433543
 [Edgar-Castillo-6](#)