

# 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

Financiado por



Fecha: Septiembre 2025



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

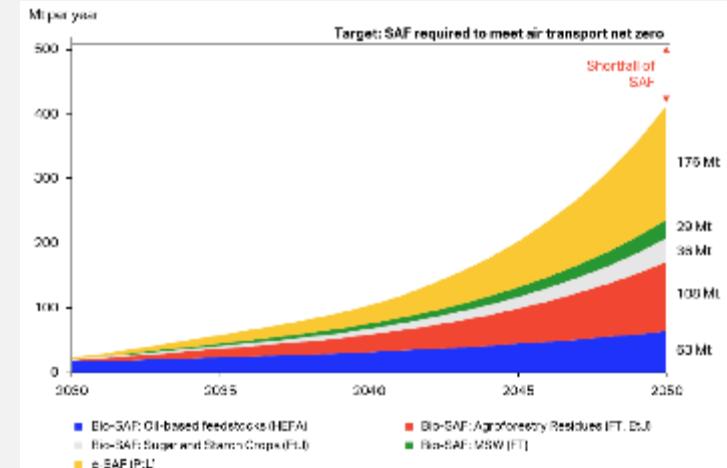
**⚠ EL RETO:** La descarbonización de la aviación es una necesidad global (CORSIA, Net-Zero 2050).

**💡 LA SOLUCIÓN:** El SAF es la principal herramienta para lograrlo, permitiendo reducir hasta un 80% de emisiones de CO<sub>2</sub> 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.

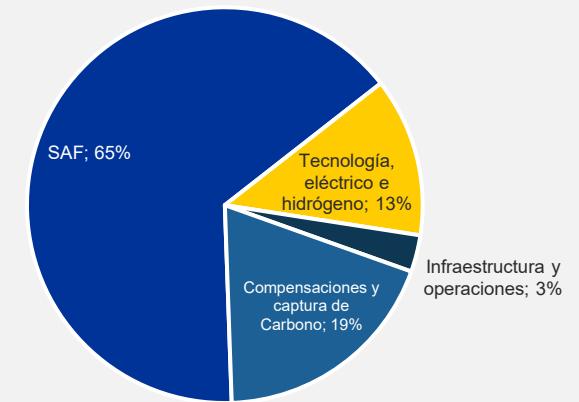
**📍 LA OPORTUNIDAD:** El Valle del Cauca está en una posición única para el ser hub de producción de SAF de Colombia y un actor relevante en la región

## 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.

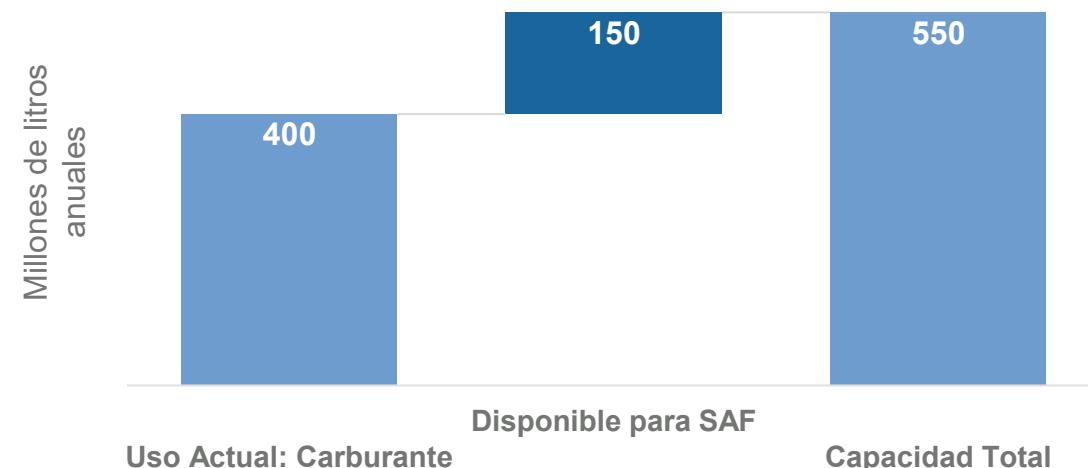
# RESULTADOS: Etanol de Primera Generación (1G)

## 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 Biommasas 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 <sub>2</sub> O / ton SAF	38,57	150,0
Energía eléctrica excedente	kWh / ton SAF	5.190,9	2.416,3
Consumo de hidrógeno	ton H <sub>2</sub> / 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
<b>UPSTREAM</b> (Origen y Preparación)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cultivo, cosecha y procesamiento de caña.</li> <li>Certificación de sostenibilidad.</li> <li>Logística de recolección</li> <li>Pretratamiento de residuos agrícolas</li> <li>Etanol</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Agricultores de caña</li> <li>Ingenios azucareros</li> <li>Entidades certificadoras</li> <li>Empresas de logística</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caña de azúcar</li> <li>Residuos agrícolas de cosecha</li> <li>Bioetanol anhidro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Logística eficiente</li> <li>Certificación robusta</li> <li>Políticas de incentivo y fomento</li> </ul>
<b>MIDSTREAM</b> (Producción)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conversión tecnológica de materias primas a SAF puro mediante gasificación + Fischer-Tropsch o Alcohol-to-Jet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productores de SAF</li> <li>Proveedores de tecnología</li> <li>Proveedores de insumos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Residuos agrícolas</li> <li>Bioetanol</li> <li>Hidrógeno (verde)</li> <li>Energía (renovable)</li> <li>Catalizadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Altos requerimientos de inversión</li> <li>Acceso a financiación</li> <li>Disponibilidad de hidrógeno verde</li> <li>Agilización de permisos</li> </ul>
<b>DOWNSTREAM</b> (Distribución y Uso)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Almacenamiento de SAF puro</li> <li>Mezcla con Jet A-1</li> <li>Certificación del lote mezclado</li> <li>Transporte al aeropuerto</li> <li>Suministro a aeronaves</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Productores de SAF</li> <li>Distribuidores mayoristas</li> <li>Operadores de aeropuertos</li> <li>Aerolíneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>SAF puro</li> <li>Jet A-1 convencional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inversión en infraestructura</li> <li>Coordinación logística</li> <li>Definición de estándares de calidad</li> </ul>
<b>ECOSISTEMA HABILITADOR</b> (Servicios Transversales)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Definición de políticas públicas</li> <li>Creación de incentivos fiscales</li> <li>Investigación y desarrollo</li> <li>Formación de capital humano</li> <li>Gobernanza y colaboración</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gobierno</li> <li>Entidades regulatorias</li> <li>Banca / Fondos / Cooperación</li> <li>Universidades / Centros I+D</li> <li>Gremios y asociaciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Políticas</li> <li>Capital</li> <li>Conocimiento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Entorno de mercado favorable</li> <li>Liderazgo y coordinación</li> <li>Marco regulatorio claro y estable</li> </ul>

**"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    \$2737.75/mt  
(HEFA-SPK) FOB FAR...  
+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
<b>Liderazgo y gobernanza:</b> Factor crítico de éxito	<b>“Doble vía”:</b> Estrategia óptima para una planta ATJ con etanol 1G y posteriormente complementada con Etanol 2G
<b>Ecosistema resiliente:</b> Múltiples actores	<b>Incentivos:</b> 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> .
<b>Certificación de sostenibilidad:</b> Requisito fundamental para acceso a mercados	
<b>Book and Claim:</b> Acelerador de mercado	
<b>Segunda generación:</b> Urgencia en la transición	

# Conclusiones finales: Barreras y oportunidades.

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

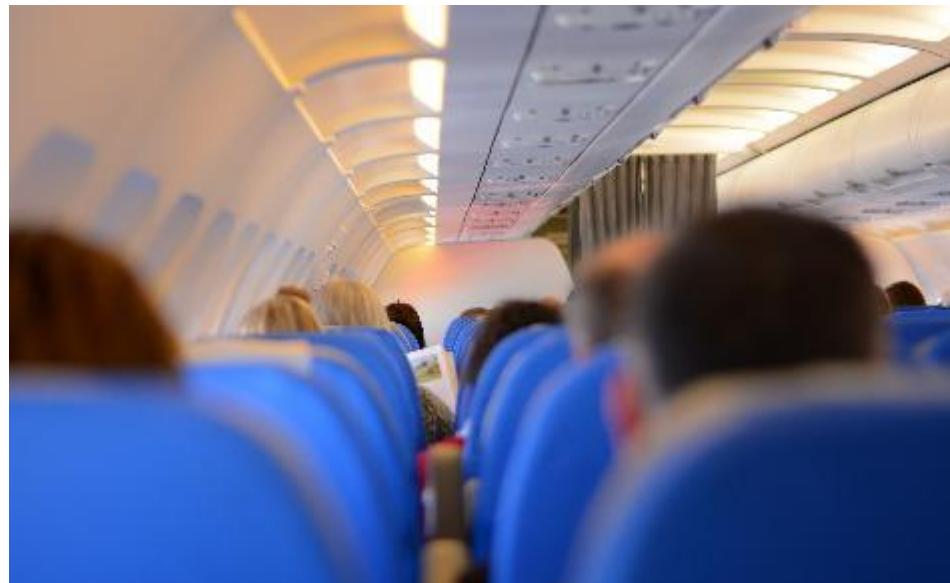


## PLAN DE ACCIÓN: 4 Ejes Estratégicos

- 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 promisoria 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.

### Biomasas complementarias

Profundizar el estudio de otras biomasas 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](mailto:johanmartinez1@hotmail.com)
-  +34 656 322796
-  [johanmartinez](https://www.linkedin.com/in/johanmartinez/)
-  [Johan-Martinez-4](https://github.com/Johan-Martinez-4)

**Edgar Fernando Castillo**

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