

# Del Bioetanol a SAF: Un nuevo mercado global para el bioetanol de caña de azúcar

*Combustibles sostenibles de aviación y  
el desarrollo del Alcohol-to-Jet*



21 de Agosto, 2026



Tucumán, Argentina



**SAF GROUP  
ARGENTINA**

Damiana Serafini - Senior SAF Technical Expert



# SAF: múltiples materias primas, múltiples rutas de producción

Los Combustibles Sostenibles de Aviación (SAF) son combustibles líquidos renovables o de bajo carbono que cumplen especificaciones para uso en aviación y se mezclan con combustible fósil convencional.



**Distintas materias primas.  
Distintas tecnologías.  
Un mismo objetivo:  
descarbonizar la aviación.**



Menores emisiones  
de ciclo de vida



Cumplimiento de  
estándares de  
sostenibilidad



Compatibles con la  
infraestructura  
actual de aviación





# ALCOHOL-TO-JET (ATJ)

La ruta que conecta el etanol con la aviación sostenible

ATJ transforma alcoholes renovables en hidrocarburos compatibles con los aviones actuales, con menores emisiones de ciclo de vida.

## MATERIAS PRIMAS QUE PUEDEN PRODUCIR ETANOL



## ¿CÓMO FUNCIONA?



### 1. DESHIDRATACIÓN

Elimina el agua del etanol para producir olefinas ligeras (etileno).



### 2. OLIGOMERIZACIÓN

Las olefinas se convierten en cadenas más largas de hidrocarburos.



### 3. HIDROGENACIÓN

Las cadenas se saturan y se ajusta la distribución de hidrocarburos.



### 4. FRACCIONAMIENTO

Separación de los hidrocarburos en los rangos requeridos para combustible de aviación ( $C_8 - C_{16}$ ).



## ATJ-SPK

Combustible para aviación (blending component)

ASTM D7566 ANEXO A5

Mezcla máxima permitida: 50%

## SOSTENIBILIDAD Y CERTIFICACIÓN



### CICLO DE VIDA COMPLETO

Se consideran emisiones desde el cultivo y cosecha hasta la combustión en el avión.



### CRITERIOS DE SOSTENIBILIDAD

Incluyen agua, suelo, calidad del aire, biodiversidad, derechos laborales, desarrollo local y seguridad alimentaria.



### TRAZABILIDAD Y CADENA DE CUSTODIA

Permiten seguir el etanol sostenible a lo largo de toda la cadena hasta el SAF.



### CERTIFICACIÓN INDEPENDIENTE

El etanol y el SAF deben estar certificados bajo un Esquema de Certificación de Sostenibilidad aprobado.

## ESQUEMAS APROBADOS POR ICAO (CORSIA)



ATJ producido a partir de etanol de caña de azúcar, maíz o residuos puede ser elegible bajo CORSIA (sujeto a cumplimiento de requisitos de sostenibilidad).

## ¿POR QUÉ ATJ?



Utiliza materias primas renovables abundantes y diversificadas (azúcares y residuos).



Aprovecha la infraestructura existente de etanol en muchas regiones.



Tecnología comercialmente probada y en creciente expansión.



Reducción significativa de emisiones de ciclo de vida frente al combustible fósil.

## DESEMPEÑO AMBIENTAL (ejemplo)

EMISIONES DE CICLO DE VIDA\* (g CO<sub>2</sub>e / MJ)



CAÑA DE AZÚCAR (ATJ-SPK)

~24

Diseño integrado



MAÍZ (ATJ-SPK)

~40-55

Valores típicos



QUEROSENO FÓSIL

~89

Referencia

## ESTADO ACTUAL DEL MERCADO



Plantas comerciales ATJ ya operativas (EE. UU., Europa, Asia).



Capacidad instalada planeada y anunciada crece rápidamente.



ATJ es clave para diversificar el mix de SAF y reducir la dependencia de aceites y grasas.

\* Valores indicativos. Dependen de la materia prima, prácticas agrícolas, infraestructura y metodología de cálculo.



ATJ convierte el etanol —de caña, maíz y residuos— en combustible sostenible para los aviones del mundo.



Una solución escalable, compatible con los aviones actuales y con el futuro de la aviación sostenible.





# EL MERCADO GLOBAL DE SAF:

## de compromisos voluntarios a demanda regulada

Los gobiernos y regiones están adoptando políticas que crean demanda asegurada de SAF y abren oportunidades de inversión y suministro a largo plazo.

### IMPULSORES CLAVE



**Descarbonización de la aviación**  
Compromiso de la industria: Net Zero 2050



**Políticas y regulación**  
Mandatos de mezcla e incentivos económicos



**Seguridad energética y competitividad**  
Nuevas cadenas de suministro y empleos verdes



**Creciente ambición**  
De objetivos voluntarios a obligaciones legales



#### ESTADOS UNIDOS

**SAF Grand Challenge**  
Objetivo: 3.000 millones de galones/año para 2030 (incentivos fiscales 45Z)



#### CANADÁ

Objetivo voluntario: 10% de SAF para 2030



#### BRASIL – ProBioQAV NUEVA REGLAMENTACIÓN Agosto 2026

- ✓ Mandato regional de mezcla de SAF para vuelos domésticos
- ✓ Inicio: 2027 | Revisión anual
- ✓ Meta inicial: 1% en 2027 hasta 10% en 2037

**Primer mercado regulado de SAF en América Latina**



#### UNIÓN EUROPEA ReFuelEU Aviation

- ✓ Mandato de mezcla obligatorio en todos los vuelos que salen de la UE
- ✓ 2% en 2025 → 6% en 2030 → 20% en 2035 → 70% en 2050
- ✓ Subcuotas para e-SAF



#### REINO UNIDO SAF Mandate

- ✓ 2% en 2025 → 10% en 2030 → 22% en 2040 → 32% en 2045
- ✓ Esquema de créditos RTFO



#### CHINA

Impulsa uso de SAF en rutas internacionales clave y apoya proyectos de producción.



#### SINGAPUR

Objetivo: 1-3% de SAF para 2030 y 3-5% para 2035 en el aeropuerto de Changi.



#### AUSTRALIA

Objetivo voluntario: 10% de SAF para 2030. Estrategia SAF 2030+.



#### ICAO – CORSIA

Marco global para la aviación internacional

- ✓ Aplicable desde 2024 (fase voluntaria) y 2027 (fase obligatoria)
- ✓ Cobertura: ~193 Estados
- ✓ Impulsa demanda de SAF elegible a nivel mundial



#### ARGENTINA

Iniciativas y estudios en marcha para desarrollar el ecosistema SAF.



Mandatos / Obligaciones adoptados



Mandatos / Regulación en desarrollo



Iniciativas / Estudios en marcha



Objetivos voluntarios / No regulados aún



La demanda de SAF está dejando de depender únicamente de compromisos voluntarios: **la regulación está creando mercados de largo plazo.**



Más de 50 políticas e iniciativas de SAF activas en el mundo



Cobertura creciente de vuelos y mercados clave



Señal clara para inversiones y nuevas cadenas de suministro



Estos marcos regulatorios aseguran una demanda sostenida de SAF en las próximas décadas, abriendo nuevas oportunidades para productores de bioetanol y combustibles sostenibles.



Más regulaciones en desarrollo: India, Japón, Indonesia, Corea del Sur, Malasia, Nueva Zelanda, países del Medio Oriente y África.





# SAF: DE MERCADO EMERGENTE A ESCALA GLOBAL

La demanda está tomando forma. El desafío será aumentar la oferta de SAF para acompañarla.

Los compromisos y regulaciones apuntan a un crecimiento sostenido de la demanda de SAF en las próximas décadas.

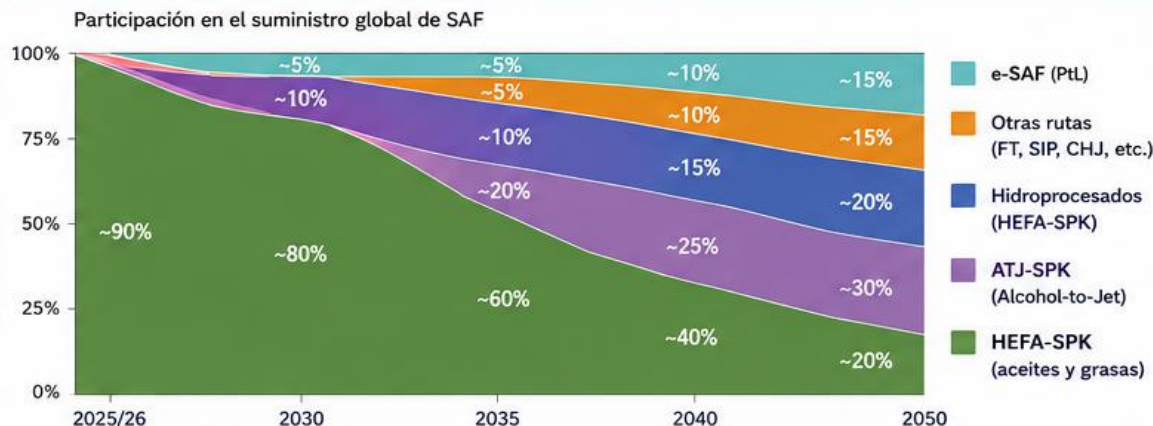
## PROYECCIÓN GLOBAL DE DEMANDA DE SAF



### ¿POR QUÉ CRECE LA DEMANDA?



## EVOLUCIÓN ESPERADA DE LAS RUTAS DE PRODUCCIÓN DE SAF\*

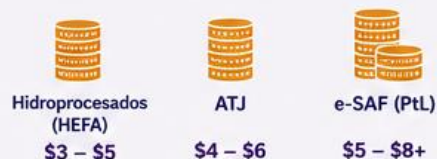


HEFA domina en el corto y mediano plazo gracias a la disponibilidad de materias primas y madurez tecnológica. A medida que mandatos, restricciones de oferta y objetivos climáticos se intensifican, se requiere una mayor diversidad de tecnologías.

## CONTEXTO DE PRECIOS Y COMPETITIVIDAD\*\*

### RANGO DE PRECIO DE SAF (2024–2026)

USD por galón equivalente



Los costos de producción varían según materia prima, tecnología, escala, ubicación e integración.

### COMPARACIÓN CON COMBUSTIBLE CONVENCIONAL

USD por galón equivalente



Existen brechas de costos que se gestionan a través de políticas, incentivos, contratos a largo plazo y mecanismos de mercado.

## MENSAJES CLAVE



La demanda de SAF muestra una trayectoria ascendente impulsada por mandatos, objetivos climáticos y compromisos de la industria.



Se espera una transición gradual hacia una mayor diversidad de rutas tecnológicas para cubrir la demanda futura.



La competitividad de costos seguirá mejorando con escala, innovación, integración y marcos de apoyo adecuados.



La oportunidad es global, pero requiere inversión sostenida, políticas estables y colaboración en toda la cadena de valor.



Los marcos regulatorios y de mercado están creando condiciones para el crecimiento de SAF. El reto a futuro será escalar la producción de manera competitiva y sostenible.



Demanda en construcción en múltiples regiones



Oferta aún limitada frente al potencial



Colaboración e inversión clave para cerrar brechas

\* Fuente: S&P Global Commodity Insights – Global Sustainable Aviation Fuel Market Outlook 2025–2050 (Abril 2025). Participación por energía.

\*\* Fuente: EASA – 2026 Briefing: Sustainable Aviation Fuels. Precios estimativos en USD/galón equivalente. Sujetos a variación.

SAF = Combustible Sostenible de Aviación





# ¿QUÉ PUEDE SIGNIFICAR ESTE CRECIMIENTO PARA LA DEMANDA DE ETANOL?

## De la demanda global de SAF a la nueva demanda potencial de bioetanol vía ATJ

Si una parte creciente del SAF futuro se produce a través de Alcohol-to-Jet (ATJ), se generará una nueva y relevante demanda de etanol. Los valores siguientes representan escenarios indicativos basados en supuestos actuales de tecnología y mercado.



### ESCENARIOS DE ADOPCIÓN DE ATJ Y DEMANDA RESULTANTE DE ETANOL

| AÑO  | DEMANDA GLOBAL DE SAF (Mt/año) | PARTICIPACIÓN POTENCIAL DE ATJ (% DEL SAF TOTAL) |                             |                     | SAF PRODUCIDO VÍA ATJ (Mt/año) |                   |           | ETANOL NECESARIO PARA ATJ (miles de millones de litros/año) <sup>(1)</sup> |                   |               |
|------|--------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------------------------|-------------------|-----------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------|---------------|
|      |                                | Escenario Conservador                            | Escenario Intermedio (Base) | Escenario Ambicioso | Conservador                    | Intermedio (Base) | Ambicioso | Conservador                                                                | Intermedio (Base) | Ambicioso     |
| 2030 | 6 – 8                          | 5%                                               | 10%                         | 15%                 | 0,3 – 1,2                      | 0,6 – 2,4         | 0,9 – 3,6 | 0,13 – 0,50                                                                | 0,25 – 1,00       | 0,38 – 1,50   |
| 2035 | 20 – 30                        | 8%                                               | 15%                         | 25%                 | 1,6 – 2,4                      | 3,0 – 4,5         | 5,0 – 7,5 | 0,67 – 1,00                                                                | 1,26 – 1,89       | 2,10 – 3,15   |
| 2050 | 150 – 250                      | 15%                                              | 25%                         | 40%                 | 22,5 – 37,5                    | 37,5 – 62,5       | 60 – 100  | 9,45 – 15,75                                                               | 15,75 – 26,25     | 25,20 – 42,00 |

### ¿POR QUÉ ATJ PUEDE AUMENTAR SU PARTICIPACIÓN?

|                                                                       |                                                                                |                                                                 |                                                                               |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Limitaciones de materias primas y crecimiento acotado de HEFA.</p> | <p>Mandatos e incentivos que estimulan la diversificación de rutas de SAF.</p> | <p>Avances tecnológicos y nuevas plantas ATJ en desarrollo.</p> | <p>Objetivos climáticos a largo plazo que requieren mayor volumen de SAF.</p> |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|



### NOTAS IMPORTANTES

- Estas cifras son indicativas y sujetas a evolución de políticas, tecnología, costos y disponibilidad de materias primas.
- La participación de ATJ dependerá de la competitividad relativa de cada ruta, la madurez tecnológica y los requisitos de sostenibilidad.
- Representa demanda potencial de etanol para el mercado SAF, no demanda garantizada.

### SUPUESTOS PRINCIPALES



Demanda global de SAF según lámina 4 (estimaciones en Mt/año).



Rendimiento industrial promedio ATJ (etanol → SAF): 0,42 litros de etanol por litro de SAF producido<sup>(1)</sup> (~2,38 litros de etanol por kg de SAF).



Cálculos en base a etanol anhidro.

### ¿QUÉ REPRESENTAN ESTOS VOLUMENES?

Comparación con la producción actual de bioetanol<sup>(2)</sup> (aprox. 2024)



Argentina – Total (bioetanol de maíz y caña)

~ 1,3 – 1,4 mil millones de litros/año



Argentina – Caña de azúcar (principalmente NOA)

~ 0,9 – 1,0 mil millones de litros/año



En el escenario INTERMEDIO 2050, la demanda potencial de etanol para ATJ (15,75 – 26,25 mil millones de litros/año) equivale a entre 12 y 20 veces la producción total actual de bioetanol de Argentina.

(1) Rendimiento promedio basado en datos industriales y reportes públicos de plantas ATJ: ~0,42 L etanol anhidro por L SAF (densidad SAF ~0,76 kg/L; rendimiento de conversión de etanol a SAF ~74–76%).

(2) Fuentes: Elaboración propia en base a datos de la Secretaría de Energía de la Nación (2024) y datos de UNICA (Brasil) para referencia regional.

### SIGLAS

**SAF:** Combustible Sostenible de Aviación  
**ATJ:** Alcohol-to-Jet  
**HEFA:** Hidroprocesados (aceites y grasas)  
**Mt:** Millones de toneladas  
**L:** Litros



El SAF está creando una nueva frontera para el bioetanol.

El potencial es significativo; capturar esta oportunidad requerirá competitividad, sostenibilidad y alianzas estratégicas.



Alianzas y colaboración en toda la cadena de valor



Sostenibilidad y certificación como habilitadores



Competitividad y escala para acceder al mercado





# NO TODO EL ETANOL PUEDE ACCEDER AL MERCADO SAF

El acceso depende de la sostenibilidad, la trazabilidad y el cumplimiento regulatorio

Para que el etanol sea elegible para SAF, debe demostrar sostenibilidad ambiental, social y de gobernanza (ESG) de acuerdo con los marcos internacionales y los requisitos de los mercados destino.



## IDEA CLAVE

Existe una potencial demanda importante de etanol para ATJ, pero solo el etanol sostenible, trazable y certificado podrá acceder a los mercados SAF regulados.

## REQUISITOS CLAVE PARA LA ELEGIBILIDAD DEL ETANOL COMO SAF



### SOSTENIBILIDAD

- Reducciones significativas de GEI vs. combustible fósil (ICAO CORSIA:  $\geq 10\%$ , UE:  $\geq 65\%$  desde 2021,  $\geq 70\%$  desde 2028).
- Protección de suelos con alto contenido de carbono, biodiversidad y recursos hídricos.



### TRAZABILIDAD

- Cadena de custodia desde la materia prima hasta el etanol.
- Identidad preservada o segregación.
- Datos verificables y auditorías independientes.



### CUMPLIMIENTO REGULATORIO

- Cumplir con los criterios de sostenibilidad del marco aplicable al mercado destino.
- Reportes y verificación periódica.
- Gestión de riesgos de cambio indirecto de uso del suelo (ILUC).



### RESPONSABILIDAD SOCIAL

- Derechos laborales y humanos.
- Condiciones de trabajo seguras y justas.
- Relactes y desarrollo de las comunidades locales.



### GOBERNANZA

- Sistemas de gestión transparentes.
- Anticorrupción y ética empresarial.
- Mejora continua.

## REQUISITOS DE SOSTENIBILIDAD SEGÚN EL MERCADO DESTINO (FOCO EN ETANOL DE MAÍZ Y CAÑA)



### ICAO CORSIA

Elegibilidad del combustible

- ✓ Reducción mínima de GEI  $\geq 10\%$  vs. Jet A-1.
- ✓ Sin conversión de tierras desde dic. 2008.
- ✓ Cumplimiento de buenas prácticas agrícolas.
- ✓ Sistema de certificación reconocido.
- ✓ Reporte de emisiones del ciclo de vida.



CORSIA no distingue por tipo de cultivo, pero exige demostrar sostenibilidad.



### UNIÓN EUROPEA

ReFuelEU Aviation / RED III

- ✓ Reducción de GEI  $\geq 65\%$  (2021–2027) y  $\geq 70\%$  (desde 2028).
- ✓ Criterios de ILUC (factores de riesgo bajo/alto).
- ✓ Trazabilidad y balance de masas.
- ✓ Cumplimiento de criterios sociales.



Los combustibles con ILUC alto no son elegibles para el cumplimiento de mandatos.



### OTROS MERCADOS

(USA, UK, Asia, etc.)

- ✓ Enfoques variados, muchos alineados con CORSIA.
- ✓ Algunos requieren umbrales de GEI más altos.
- ✓ Certificación y trazabilidad generalmente requeridas.
- ✓ Incentivos fiscales o créditos de carbono pueden aplicar.



Revisar requisitos específicos de cada país y programa de incentivos.



La sostenibilidad abre el mercado. La competitividad lo consolida. Invertir hoy en sostenibilidad, datos y certificación es asegurar el acceso del etanol al mercado global de combustibles de aviación sostenibles.



Demostrar sostenibilidad es clave para acceder a la demanda futura.



La colaboración en la cadena de valor fortalece la competitividad.



Los mercados SAF recompensarán la calidad, la transparencia y el impacto.





# NO TODO EL ETANOL PUEDE ACCEDER AL MERCADO SAF

## El acceso depende de la sostenibilidad, la trazabilidad y el cumplimiento regulatorio

Para que el etanol sea elegible para SAF, debe demostrar sostenibilidad ambiental, social y de gobernanza (ESG) de acuerdo con los marcos internacionales y los requisitos de los mercados destino.



### IDEA CLAVE

Existe una potencial demanda importante de etanol para ATJ, pero solo el etanol sostenible, trazable y certificado podrá acceder a los mercados SAF regulados.

### ESQUEMAS DE CERTIFICACIÓN RECONOCIDOS

Esquemas voluntarios de sostenibilidad y cadena de custodia trabajando con CORSIA y aceptados en mercados clave.



Enfoque holístico (social, ambiental y económico).  
Reconocido por CORSIA.



Esquema global aplicable a múltiples materias primas y rutas.  
Reconocido por CORSIA y la UE (RED III/RefuelEU Aviation).



Esquema de sostenibilidad y cadena de custodia.  
Reconocido por CORSIA.



Particularmente relevante para caña de azúcar y sus derivados.

### BARRERAS Y RIESGOS A CONSIDERAR



Riesgo de cambio indirecto de uso del suelo (ILUC).



Disponibilidad y calidad de datos verificables.



Costos de certificación, trazabilidad y cumplimiento.



Complejidad y actualizaciones regulatorias.



Diferencias entre mercados pueden limitar el acceso.



La gestión proactiva de estos riesgos es clave para asegurar el acceso continuo y competitivo al mercado SAF.

### RUTA PARA ACCEDER AL MERCADO SAF



**1 PRODUCCIÓN SOSTENIBLE**  
Adoptar prácticas agrícolas responsables y eficientes.



**2 CERTIFICACIÓN Y TRAZABILIDAD**  
Implementar sistema de cadena de custodia y obtener certificación reconocida.



**3 CÁLCULO DE GEI**  
Realizar LCA del etanol y demostrar reducciones de emisiones.



**4 CUMPLIMIENTO**  
Alinear con los requisitos del mercado objetivo y reportar la información requerida.



**5 ACCESO AL MERCADO SAF**  
Etanol elegible para producir SAF via ATJ y cumplir con mandatos e incentivos.



**EL ETANOL SOSTENIBLE Y CERTIFICADO ES LA LLAVE PARA ACCEDER A LOS MERCADOS SAF DEL FUTURO.**

La sostenibilidad no es solo un requisito: es una ventaja competitiva.



**La sostenibilidad abre el mercado. La competitividad lo consolida.**

Invertir hoy en sostenibilidad, datos y certificación es asegurar el acceso del etanol al mercado global de combustibles de aviación sostenibles.



Demostrar sostenibilidad es clave para acceder a la demanda futura.



La colaboración en la cadena de valor fortalece la competitividad.



Innovación y mejora continua reducen costos y emisiones, creando valor.



Los mercados SAF recompensarán la calidad, la transparencia y el impacto.





# ¡Muchas Gracias!



El bioetanol y los combustibles sostenibles de aviación  
abren un nuevo horizonte de oportunidades para el  
bioetanol de caña de azúcar Argentino.

**Sigamos impulsando un futuro sostenible juntos.**



**SAF GROUP  
ARGENTINA**

**Damiana Serafini - Senior SAF Technical Expert**

✉ [damiana.serafini@gmail.com](mailto:damiana.serafini@gmail.com)

