Acta de Reunión Cuarta Mesa Temática

# “Hoja de Ruta: Interés y desafíos de la regulación, certificaciones e investigación”

**Cuarta mesa de trabajo público-privada para el desarrollo de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF) en Chile.**

**Fecha: 16 de marzo de 2023**

Ministerio de Energía Gobierno de Chile

Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones Gobierno de Chile

Junta de Aeronáutica Civil Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones Gobierno de Chile

Agencia de Sostenibilidad Energética

Vuelo limpio

BID

## Cuarta mesa de trabajo público-privada para el desarrollo de Combustibles de Aviación Sostenibles (SAF) en Chile.

**Fecha:** 16 de marzo del 2023
**Coordinador:** Programa Vuelo Limpio y Banco Interamericano de Desarrollo

**Principales aspectos relevados en la MESA 4:**

- Hay cuestiones de regulación que deben ser consideradas a la hora de tomar medidas que promuevan el uso de SAF. Una de las más importantes es la modificación de contratos vigentes, por ejemplo, de los aeropuertos, porque son de largo plazo y no pueden modificarse tan fácilmente. Requieren acuerdo de las partes, y si afecta a un tercero, requerirá probablemente su acuerdo. Es posible entonces que sólo pueda considerarse el uso de SAF en contratos futuros.
- Algunas universidades en Chile están bien equipadas y han hecho importantes avances en temas de investigación, tanto en lo teórico como en lo práctico, en temas relacionados con biocombustibles. Hay laboratorios ya operando, equipamiento y sobre todo la disponibilidad y voluntad de contribuir en posibles pilotos para la obtención de SAF.
- En SGS se refirieron a la posibilidad de instalar un laboratorio en Chile y la inversión no era demasiada alta (650 mil dólares y un año de aproximadamente en tiempo de instalación). Esto podría acercar el ámbito de las certificaciones a las Universidades y demás instituciones interesadas, y fomentar nuevas normativas en relación con el SAF para el contexto nacional.
- El hidrógeno como combustible requiere mayor investigación para lograr disminuir los costos de producción. Hay distintas opciones en el uso de hidrógeno: el azul y el gris son alternativas menos caras, pero no son igual de sustentables que el hidrógeno verde. Sin embargo, hay alguna capacidad instalada y debe ser aprovechada para avanzar en los estudios pertinentes.
- La biomasa forestal parece ser una materia prima viable si se analiza a fondo lo que sucede con los residuos que hoy no se utilizan por parte de los privados y si se considera la posibilidad de crear planes de manejo para el bosque nativo que permitan una explotación sustentable de esta biomasa. Las plantaciones dendroenergéticas también son una alternativa, pero hay que considerarlo de manera cautelosa porque no es bien visto plantar bosques para la tala, sin embargo, hay maneras de hacerlo en algunos sectores que están deforestados, de manera sostenible.

**Asistentes:**
Cristina Segura (Universidad de Concepción); Andrés Mejía (Universidad de Concepción); Josefina Retamal (Universidad de Concepción); Gastón Ramos (Axens); Bárbara Barra (Somitomo Corporation); Felipe Huerta (Escuela de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica); Álvaro Cortés (Mitsui Chile); Fernando Márquez (Universidad de Concepción); Romina Altamirano (Junta de Aeronáutica Civil); Fabian Olave (Agencia de Sostenibilidad Energética); Rodrigo Aguayo (SGS Chile); Hugo Rodríguez (SGS Chile); Nicolás Cárcamo (Director de DIT); Mauricio Utreras (BID).

**Cuarta mesa:**
**"Hoja de Ruta: Combustibles de Aviación Sostenible"**

**Puntos más relevantes de la mesa N°3:**

- Las presentaciones anteriores nos mostraron el potencial real de la biomasa en Chile. Algunos de los presentadores se mostraron disponibles en buscar sinergias con actores que participan en la mesa para el desarrollo de SAF en Chile.
- Los actores coinciden en la necesidad de crear incentivos a las inversiones para disminuir costos en las tecnologías necesarias para desarrollar SAF y en particular para la producción de combustibles sintéticos.
- Se identificó la existencia de capacidad instalada en investigación a nivel de laboratorios. Lo necesario es apalancamiento de inversiones para poner en movimiento lo teórico.
- Los créditos fiscales podrían ser una alternativa para promover el uso de SAF, por eso es importante y necesario aprender de las experiencias de otros países o ciudades, como California, para avanzar en la materia.
- Un problema identificado es que habría más incentivos a la producción de biodiesel o de otros productos derivados del etanol que para la producción propiamente de SAF. Esta realidad debe ser considerada a la hora de diseñar políticas públicas que promuevan la producción y uso de SAF.
- Se identificó la existencia de un campo que requiere mayor exploración en el ámbito de la biomasa forestal. Los datos indican que no habría suficiente disponibilidad de esta materia prima, sin embargo, eso podría cambiar con la incorporación de planes de manejo de bosques y un análisis de lo que ocurre actualmente con los residuos de las empresas forestales.

1. **Presentaciones de Organizaciones y Empresas**
   a) **DGAC.** Ignacio Tabilo
   b) **Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC).** Felipe Huerta
   c) **Axens.** Laurent Samy
   d) **SGS Chile.** Hugo Rodríguez
   e) **Universidad de Concepción.** Andrés Mejía y Cristina Segura

a) **Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).** Ignacio Tabilo.

El enfoque dado a la presentación tiene que ver con la gestión de los contratos para el almacenaje, distribución y venta de combustible de aviación dentro de los recintos aeroportuarios.

La DGAC está liderada por el director general Raúl Jorquera, donde existen distintos departamentos en el organigrama, entre los que se encuentra el área comercial, a cargo de María Olga Dublé. El principal objetivo de este departamento es generar todos los ingresos, asegurando el flujo de dinero para cumplir sus fines institucionales mediante la comercialización de servicios aeronáuticos, meteorológicos y otros relacionados con los fines del servicio (como todos los contratos que se celebren en la superficie de los terminales aeronáuticos siempre que estén fuera de las áreas concesionadas). Esto es así porque son una institución autofinanciada.

En relación con los contratos de combustible de aviación, existe una red primaria de distribución en aeropuertos y aeródromos. Los principales proveedores son Esmax, Copec y Enex. El objetivo buscado al concesionar estos servicios es entregar a un tercero especialista, asegurando así la provisión de combustible con un alto estándar de calidad. Esto es importante dado que el volumen de venta de combustible a nivel nacional se encuentra concentrado en el aeropuerto Arturo Merino Benítez, en un 82% (1,2 millones de mt3 vendidos a nivel nacional en el 2022).

Las principales características de los contratos de concesión son:

- Se otorgan concesiones por superficies o instalaciones existentes.
- Se pide el pago de un derecho Aeronáutico mensual (Art. 59 DAR-50: US $5,75 por metro cúbico vendido).
- Vigencia de entre 20 y 30 años en promedio.
- Se requieren instrumentos de garantía para caucionar el fiel y oportuno cumplimiento de obligaciones y construcciones.
- Se requiere una declaración mensual de venta de combustible.
- Se incorporan cláusulas con derechos y obligaciones para el concesionario.

Acerca de cómo se incorpora el SAF dentro de los contratos de la DGAC, es necesario diferenciar entre contratos vigentes y contratos futuros. Los contratos vigentes sólo pueden modificarse por acuerdo de las partes y las modificaciones no pueden afectar a terceros que hayan participado en el proceso de licitación. Por lo tanto, hay una dificultad, que se relaciona con la duración antes mencionada de los contratos (20/30 años).

En los contratos futuros, el SAF y los servicios relacionados podrían ser incluidos sin problemas, pero para esto deben existir certezas legales y técnicas.

Tienen expectativas a futuro con respecto al SAF derivadas de estas mesas de trabajo, ya que son ejecutores de políticas públicas.

**Preguntas**

**Pregunta a.1**

**JAC:** ¿Cuál sería el procedimiento que deberían adoptar los actores en el área aeronáutica para llevar a cabo pilotos con SAF y cómo deben coordinarse con la DGAC?

**DGAC:** Se puede tratar de forma diferente. En operaciones se debe enviar una solicitud al jefe de operaciones. La cooperación también debe hacerse con otros sectores públicos, además de considerar a los privados.

**Pregunta a.2**

**WPD Chile:** ¿Los contratos de 20 y 30 años pueden sufrir modificaciones?

**DGAC:** El decreto supremo mencionado no ha sufrido modificaciones desde que se dictó.

**Pregunta a.3**

**WPD Chile:** ¿El contrato es solo con DGAC para acceso al aeropuerto donde se tranza el combustible, o se trata de un cobro extra para acceder al área administrada por la DGAC y después se llega a un acuerdo con las aerolíneas para el llenado?

**DGA:** Ellos entregan la superficie de las instalaciones existentes a un tercero proveedor de combustible, luego los tratos para la compra o provisión del combustible por parte de las aerolíneas con el proveedor de combustible son tratos privados. Luego, ellos cobran de las ventas de combustible que realiza la empresa, y por eso, les deben declarar los volúmenes de venta.

**Pregunta a.4**

**BID:** ¿Cuántos contratos son y cuáles son los plazos vigentes?

**DGAC:** Sólo puede responder de manera general por probidad. La DGAC está regida por la ley de acceso a la información pública. Tienen contratos que terminarían en pocos años y otros a muchos años. Por eso es importante que la demanda de SAF empiece a ser detonada por los clientes, quienes van a presionar al sistema para incorporar el SAF. Se tendrán que revisar uno a uno los contratos para ver si es posible incorporarlo.
En relación con los contratos futuros, hay organismos como la SEC que se dedican a temas de combustible que deben informar sobre esto, entonces este tema debe pasar por otros filtros sectoriales.

**Pregunta a.5**

**IATA:** Su pregunta se enfoca en la manera en que los SAF se distribuyen dentro de los sistemas. ¿Cómo la autoridad aeronáutica puede ayudar en la manera en que los volúmenes se integran en Chile sin necesidad de llevar a cabo cambio de contrato en las licitaciones? Sobre todo, porque los primeros volúmenes no serán tan significativos.

**DGAC:** Los contratos vigentes consideran la provisión de combustibles de aviación para las empresas. Eso, desde su punto de vista, implica modificación del contrato con afectación de un tercero. Por eso, hay que verlo caso a caso. Puede que en algunos casos no se afecten los contratos. Cuando el SAF sea un requerimiento de mercado, deberá analizarse contrato por contrato.

**Pregunta a.6**
**Ministerio de Energía:** ¿La infraestructura entonces, es de los aeropuertos y no de las compañías?

**DGAC:** Hay unidades en que ellos entregan un terreno eriazo y las petroleras crean una planta de combustible. Entonces al final de la concesión el concesionario puede llevarse todo lo que no genere detrimento al patrimonio fiscal, por lo tanto, si el tanque produce detrimento no puede sacarlo. Depende de cómo diseñaron la planta. Hay que considerar también que se encuentran en el marco de la legislación ambiental, que debe ser cumplida. Todo lo que no se lleven pasaría a ser de la DGAC.

**Pregunta a.7**
**Ministerio de Energía:** Hay varios proveedores por aeropuerto ¿la modalidad es que a algunos le compran kerosene de aviación y a otros, diésel para vehículos, o mes a mes se ve quien vende el producto más barato?

**DGAC:** Ahí ese tema es entre privados y ellos no se involucran. Es decir, cada aerolínea decide a quién comprar. El objetivo de ellos es asegurar la provisión. Los contratos no son parte de su ámbito de acción.

**Pregunta a.8**
**Indeterminado:** ¿En el aeropuerto Arturo Merino Benítez la concesión la tiene una empresa, o la puede tener más de una?

**DGAC:** En AMB hay una situación particular porque está la empresa que almacena (SIA) y otras que distribuyen. En otros, en la misma empresa que hace todo. Por eso se ven varios actores. Si tienen más preguntas pueden hacerlo mediante el portal o por transparencia, así pueden acatar la norma de acceso a la información pública.

**Pregunta a.9**
**Agencia de Sostenibilidad Energética:** Considerando que la DGAC se autofinancia, si se modificara el decreto ¿Se podría establecer el pago de un derecho diferenciado entre SAF y combustibles fósiles? ¿Eso afectaría sus ingresos? ¿Qué tan bajo podría ser ese pago diferenciado?

**DGAC:** La respuesta a esa pregunta excede las atribuciones que posee.

b) **Pontificia Universidad Católica de Chile.** Felipe Huerta.

El profesor asistente de la escuela de ingeniería Felipe Huerta presenta el tema: "Hidrógeno verde para la producción de SAF a mediano plazo e hidrógeno líquido criogénico a largo plazo".

Es necesario un cambio disruptivo en la industria de la aviación para lograr reducir en un 75% las emisiones de CO2 para el 2050. El sector de la aviación emite un 2,6% de las emisiones globales y un 5,9% de los gases de efecto invernadero antropogénicos. El desafío es que se espera un crecimiento sostenido de la demanda de vuelos en un 4,5% anual, lo que aumentaría en un 200% las emisiones de GEI para el 2050. En este contexto, los contratos nuevos serán muy relevantes. El diagnóstico es que es urgente descarbonizar la aviación para prevenir el aumento de 1,5°C en la temperatura terrestre. Esto está consagrado en el acuerdo de París, pero es difícil de lograr. Será entonces necesario adaptarse, ser realista y saber que esta meta se logrará, pero a largo plazo.

Para una transición energética ideal, se debe tomar en consideración que hoy existe una mayor demanda de combustible kerosene, y que hay una muy baja participación de SAF (1 o 1,5% en aerolíneas noruegas, por ejemplo). El SAF es relevante porque permite rebajar emisiones sin cambiar los motores de los aviones. Muchos de estos SAF incorporan además en su proceso de producción la captura de CO2.

Se espera que para el 2035 ya podamos contar con hidrógeno líquido. Para el 2050, se requeriría un uso combinado de SAF y de combustibles sintéticos para lograr la meta. Los SAF basados en hidrocarburos son una solución a mediano plazo con desafíos económicos, ambientales y tecnológicos.

Uno de sus beneficios es que no requieren ningún cambio estructural en el tren de trabajo de los aviones. Son fáciles de implementar siempre y cuando cumplan con los requisitos técnicos. El problema es que requiere mucha energía para su producción.

Otro beneficio es que pueden provenir de distintas fuentes: biomasa (BtL), que es más barato de producir que el que proviene de energía eléctrica (PtL). El problema es que algunas materias primas pueden ser dañinas para el medio ambiente o pueden implicar el uso de suelos con riesgo de deforestación, mientras que hay algunas que no tienen este problema.

La combustión de los SAF produce mucho menos material particulado y emisiones de NOx que el kerosene. El problema es que tiene altos costos de producción, el que puede ser mayor o menor dependiendo de las materias primas. Sin embargo, las emisiones de los aviones usando SAF son las mismas.

A largo plazo, el hidrógeno líquido (LH2) permitiría una aviación con emisiones netas cero a un costo competitivo. Si se produce por electrólisis renovable, su producción no genera

$CO_2$. Esto es condicional, porque hay muchas maneras de llegar a este combustible. El problema es que esto requiere la modificación del tren de potencia de los aviones y una nueva infraestructura para el transporte del combustible, por ejemplo, en los aeropuertos.

El hidrógeno líquido es totalmente independiente de reactivos provenientes de hidrocarburos y su combustión no genera $CO_2$. El problema es que produce óxidos nitrosos si no se procesan los gases expulsados, por lo que requiere un proceso apropiado de catálisis para que sea limpio y eso también es un aumento de costos.

La densidad energética gravimétrica (Jules por unidad de masa) es 150% superior que el keroseno. El problema es que la densidad volumétrica es mucho menor. Por ello, se requiere de un volumen mucho mayor para almacenarlo y en un avión requeriría más espacio, por ejemplo.

Por otro lado, el líquido criogénico tiene un punto de ebullición igual a -253°C a 1 atm. Nuevamente esto genera un problema de almacenaje porque es como una olla a presión en los tanques. Dado lo anterior, debe ventilarse el hidrógeno, lo que requiere otro ciclo de licuefacción y por tanto mayores costos, lo que no sería un problema en el avión mismo ya que hay una demanda inmediata y constante por combustible.

Otro beneficio es que no necesariamente el avión debe ser potenciado por líquidos criogénicos. Puede utilizarse en celdas de combustible, turbinas a gas y sistemas híbridos. Es flexible en cuanto a la combustión. El problema es que es una tecnología aún en desarrollo, por lo que falta información sobre cómo poner las mangueras, o cómo almacenarlo.

Se presenta un gráfico, obtenido de la Nationale Wasseertof-und Brennstottzellentechnologie (2021) sobre las fuentes posibles de SAF. Aquí se muestran las tres fuentes identificadas:

1. Fuentes fósiles: carbón, petróleo, gas natural, etc.
   Los pasos de procesamiento son mediante refinerías o síntesis. El producto es CAF o AAF (combustibles que no son sustentables).
2. Electricidad: eólica, solar, fotovoltaica.
   El proceso es la electrólisis que puede ser renovable o no. Luego, mediante síntesis se logra el producto SAF. Esta puede requerir a su vez mucha energía. Aquí se usan las modalidades *power to liquid,* y un método nuevo, *Sun to liquid* que usa energía solar.
3. Biomasa: maíz, caña de azúcar, desechos, etc. Puede usar electrólisis mediante *biomass to liquid*, o bien usar procesos biogénicos.

El diagnóstico que hacen es que Chile puede generar SAF *power to liquid* usando hidrógeno verde y dióxido de carbono, lo que es caro, pero muy limpio. Se puede generar también hidrógeno mediante otras formas más competitivas.

Describe los métodos científicos detrás de las tecnologías:
El proceso de Fischer-Tropsch (FT) utiliza electrólisis renovable (por donde viene la energía, solar o eólica). Energía que se usa para romper la molécula de agua. Produce una molécula de dióxido de carbono sin gas. Se pasa al monóxido de carbono, el cual mediante síntesis puede producir parafinas u olefinas. En ambos casos se produce hidrógeno, dependiendo de dónde proviene este hidrógeno entonces dará la denominación de si es verde, azul o gris.

La PUC posee el Centro UC de energía, que es un conjunto de investigadores que se unen libremente para impulsar y promover la transición energética del país hacia una matriz limpia y sustentable. Ponen a disposición sus capacidades para lograrlo y encontrar un equilibrio entre la naturaleza y el hombre.

Sus líneas de investigación son: almacenamiento de energía renovable, modelamiento y simulación de procesos, catálisis, captura de carbono, grupo hidrógeno verde y combustibles sintéticos y análisis técnico-económico. A diferencia de lo que ofrece la UCSC, que vino a la reunión anterior, ellos no pueden ofrecer capacidad de laboratorio para la generación de SAF, pero si pueden hacer otros aportes en los procesos.

Su experiencia actual es el modelamiento del almacenamiento de hidrógeno. Esto es relevante para estanques de hidrógeno líquido en aviones y en toda la cadena de suministro.

Muestra un esquema del modelo donde se pueden observar las dificultades del sistema. En un tanque de almacenamiento de hidrógeno líquido hay un ingreso de calor por todos los alrededores que aumentará la temperatura del hidrógeno y sobrecalentará el vapor que se produce en el proceso. Se genera una convección natural y flujo boyante, por tanto, una transferencia de calor desde el vapor hacia el líquido. El resultado de eso es la evaporación del líquido y podría haber condensación.

Presenta conclusiones relevantes para el almacenamiento isobárico mediante un diseño simulado de cómo se mueve el vapor. Ahí muestra que la tasa de evaporación disminuye con el nivel de llenado. El sistema alcanza un estado pseudo estacionario (las variables cambian lentamente) facilitando su modelamiento. Construyen modelos simples y precisos con 99% de precisión que permiten simular un año de almacenamiento en dos segundos.

De su lectura de las actas anteriores propone algunas preguntas de investigación para la producción de SAF a mediano plazo (para el 2035):

- ¿Qué producción de SAF PtL se podría generar en Chile, considerando la disponibilidad y costos de captura de carbono?
- ¿Cuál es la fuente óptima de CO2 para la síntesis de SAF considerando la realidad nacional?
- ¿Qué costo tendría el SAF en Chile?

A largo plazo, hacia el 2050, pensando en el aeropuerto AMB:

- ¿Cuál sería el diseño óptimo de los tanques de almacenamiento de hidrógeno líquido en estaciones de llenado y camiones?
- ¿Cuál sería la política óptima de carga y descarga?

La oferta de la Universidad es desarrollar investigación para responder a las preguntas emergentes de la mesa y facilitar de esta forma la toma de decisiones. Esto lo harían mediante capital humano, la generación de proyectos aplicados de investigación para pre y postgrado, generación de investigación básica alimentando ideas para proyectos FONDECYT y buscando instituciones que quieran aportar, y generar investigación aplicada mediante los FONDEF.

**Comentarios**

**IATA**: Están interesados en la descarbonización total al 2050. El punto fundamental que han desarrollado es como ellos como aviación acceden a un mercado competitivo para el uso de hidrógeno. Por un lado, porque los requerimientos energéticos son altos, tendrían que competir con los países en este punto, además el costo asociado de estos proyectos es muy alto. Creen que Chile puede desarrollar este mercado de manera competitiva.

**Preguntas**

**Pregunta b.1**

**Ministerio de Energía**: Refiriéndose a las preguntas de investigación presentadas, en particular las últimas sobre el diseño de tanques de almacenamiento y las políticas de carga y descarga ¿Esas preguntas tienen respuestas hoy económicamente viables o si eso se ve en un futuro?

**PUC:** Esas son preguntas a largo plazo. Hay algunas investigaciones al respecto. Preliminarmente cree que es factible, pero hay que estudiarlo para Chile, y para Chile seguramente es más factible aún.

**Pregunta b.2**

**Dirección de Aeropuertos del MOP:** ¿Han dimensionado las implicancias en la infraestructura del área de movimiento de los aeropuertos, pistas, calles de rodaje y plataformas? ¿Hay que hacer alguna modificación en ellas, considerando el cambio de peso de las aeronaves? Porque eso implicaría tener que mejorar las resistencias.

**PUC:** Ese elemento no lo ha visto incorporado en la literatura sobre el diseño de aeropuertos futuros a hidrógeno líquido, por lo que queda por investigar. Dependiendo de qué tan largo sea el vuelo, uno podría poner baterías simples o combinadas de gran tamaño, y estas tienen un peso distinto. Pero no ve que el cambio de peso sea significativo debido al combustible mismo que sería más liviano; lo que sí habría que ver es el cambio en el volumen de las aeronaves y si eso podría significar un mayor costo, por más peso o solo por espacio. Cree que puede tener más implicancia en vuelos cortos, no tanto así en vuelos largos.

**DAP:** Indica que es necesario porque esto puede tener impacto ambiental y hay que coordinarlo con eso, para que todo lo que se hace sea sustentable.

**Pregunta b.3**
**Asociación Chilena de Biomasa**: Se mencionó previamente que las tecnologías de PtL en base a hidrógeno verde y CO2 capturado son tecnologías muy caras, ¿pero ese comentario está sensibilizado con la idea de que ahora se puede vender ese CO2 capturado?

**PUC:** No es que sean infinitamente caras, sino que son más caras en relación con el uso de keroseno de la refinería de petróleo. La respuesta es que dependerá de la colaboración internacional para aumentar el impuesto al dióxido de carbono. Hay estudios que muestran que una de las tecnologías para captar carbono es cara y requiere aumentar el costo de los impuestos. Cree que será cada vez más competitivo.

**Asociación Chilena de Biomasa:** Desde la industria forestal hay mucho potencial de captura. Se está esperando un retorno por impuestos, pero no hay una comercialización del CO2 y cree que puede ser un modelo de negocios muy interesante referido al CO2 de biorrefinería.

**PUC:** Menciona que hay que usar tecnologías diversificadas. No poner todos los huevos en la misma canasta.

c) **Axens.** Laurent Samy

Axens es una filial del instituto francés del petróleo, institución de investigación pública y cubren 5 segmentos: petróleo, refinería y petroquímica, aguas, energías renovables y gas. También venden catalizadores.

Como vienen de una institucionalidad pública operan como un círculo virtuoso desde los años 40. IFP investiga, Axens comercializa y el dinero que reciben lo vuelven a invertir en tecnologías para nuevas energías y nuevos catalizadores.

En el segmento de los renovables, muestra todas las tecnologías que desarrollan internamente para responder a la demanda de combustible renovable, en este caso SAF. Hay tres materias primas utilizadas: lípidos, biomasa lignocelulósica y *green power* (solar u hidráulico).

Detalla en la presentación cada una de las tecnologías (comprobadas) existentes:

- Vegan: transforma los lípidos (depende de donde viene el hidrógeno para saber qué tan verde es).
- Biomasa lignocelulósica: Es una mezcla entre tres componentes, celulosa, lignocelulosa y lignina. Primero se hace una reacción enzimática, se transforman en azúcar, se obtiene una molécula de etano, se deshidrata para conseguir etileno, y de ahí se consigue jet fuel.

- Otra forma desde la biomasa es mediante gasificación para obtener una mezcla, que luego se ajusta mediante Fischer-*Tropsch,* con lo que *se* logra conseguir combustibles renovables.

La diferencia entre el diésel renovable (oxigenado) y biodiésel (HVO) es que, aunque tienen el mismo origen, que son las grasas o aceites renovables, el primero requiere mucho más hidrógeno (hidrotratamiento), pero el resultado es mucho más limpio, no tiene oxigeno lo que mejora mucho la combustión. Tiene un cetano enorme lo que permite mezclarlos con otras fuentes de Jet con cetanos más bajos. Los dos productos cumplen con la normativa internacional (EN 15940 y ASTM D7566).

La tecnología en sí (Vegan) consiste en dos etapas. Una primera etapa es una hidrogenación y desoxigenación, que pretende remover la parte de oxígeno para alimentar la segunda etapa con moléculas parafínicas y lineales. Las moléculas deben trabajarse para ser limpias para el caso del diésel. En el caso del SAF las moléculas son muy largas y hay que realizar craqueo, para obtener moléculas compatibles con el Jet (C14 y C15 compatibles con los requisitos del Jet). Ambos procesos permiten flexibilidad en el mercado según las necesidades.

En la primera etapa hay un consumo importante de hidrógeno para remover el oxígeno que se encuentra como agua y como CO2. Para cortar los triglicéridos se genera propano, que a su vez se requiere para producir hidrógeno, entonces se cierra el círculo y vuelve en forma de hidrógeno. En términos de CO2, en vez de liberarlo a la atmósfera se puede recuperar, (es costoso) pero como viene concentrado y bajo presión, se puede recuperar en puntos bajos, y cuando esto se logra tiene impactos positivos porque genera créditos de carbono negativo. Existe además un rango muy amplio de aceites y grasas que pueden utilizarse, por lo que el portafolio de materias primas es más flexible y está constantemente en evolución.

En el caso de la tecnología mencionada (Vegan) para producir SAF, no hay uso de gas natural. Cuando se produce Jet de esta forma hay una coproducción de nafta y esta se reúsa en la producción de hidrógeno, y este es totalmente verde por lo que el producto es 100% renovable. Aunque el uso de esta tecnología era mayor en Europa, hoy hay una explosión en su demanda desde América Latina, porque es flexible (tanto en materia prima como en producto) lo que disminuye la incerteza y miedos futuros en relación con las inversiones.

Otra tecnología descrita es el Futurol y el AtJ. Cuando se comenzó a usar esta tecnología hubo muchos desafíos por resolver. En una primera etapa, que se realiza a partir de biomasa lignocelulósica, requerían de una flexibilidad completa y de una producción in situ de enzimas. No podían traer todos los días camiones de enzimas (no era económicamente viable) para la fermentación. Por lo tanto, decidieron realizarla mediante un hongo (organismo genéticamente modificado) que se inserta y se come la celulosa y la lignocelulosa y produce la enzima perfecta necesaria para el procedimiento de fermentación de las mismas.

Como esta no era su especialidad (ellos hacen refinería y petroquímica) implementaron en Francia con una inversión de más de 100 millones de euros, una planta piloto que trata 2 o 3 toneladas por hora (la tecnología es confidencial) y en un año pudieron recolectar datos para mejorar la tecnología. Una vez que se tiene el etanol el proceso es muy simple, pasa por deshidratación y luego por una endogenación parcial para ajustar las propiedades y de ahí sale el SAF (cumpliendo con las normativas ASTM D7566). En términos de referencias ya hay 4 referencias para la primera etapa, más de 50 para la segunda y 71 para la tercera. Esto porque esta misma tecnología se puede producir en distintos lugares. Se logra un 99% de rendimiento del carbono (mediante la tecnología AtJ). Axens indica que tiene mucho conocimiento sobre problemas que se pueden producir en el proceso. Lo importante es que desde la biomasa lignocelulósica hasta el JET hay un solo proveedor de tecnología (que son ellos).

La tercera tecnología es la de gasificación mediante *Fischer-Tropsch*. La primera etapa en un pretratamiento, que tiene por objetivo homogenizar todo tipo de materia prima (con la finalidad de lograr flexibilidad). Se llama torrefacción y genera un polvo de café, se separa la lignina porque es difícil de gasificar. Luego el polvo se gasifica en un reactor de alta temperatura cuyo objetivo es generar un gas de síntesis. Saliendo del reactor se forman olefinas o parafinas. Luego tienen que ajustar la ratio de las moléculas (H2 y O2) mediante watershift (pasa por un catalizador) para poder pasar a *Fischer-Tropsch* que genera Jet. Finalmente, pasa por una última etapa para ajustar las propiedades del Jet.

En términos tecnológicos y químico utilizaron un tipo de catalizador y reactor que se usa en la aromatización de los cortes C5, C6 para los cortes aromáticos de la gasolina para la síntesis FT (también confidencial porque involucra patentes).

**Preguntas.**
**Pregunta c.1**
**PUC:** Respecto a la última separación que genera nafta, SAF y diésel, ¿se trata de una columna de destilación?

**Axens:** Muestra que sí, que es el mismo tipo de separación, con bandejas simples.

**Pregunta c.2**
**PUC:** ¿De dónde viene la energía para operar esas columnas?

**Axens:** Depende de cada tecnología. La reacción de hidrogeno lisis y descarbonilación es muy exotérmica, y en el corazón de la planta hay una producción de vapor enorme. Por otro lado, cuando hay excedente de propano, saliendo de la primera etapa se puede usar en ese propano en hornos para separar.

**Pregunta c.3**
**Mitsui**: Respecto a los últimos dos tipos de proceso derivados de biomasa forestal mencionados en la presentación ¿Cómo son comparables en costos de inversión y en costos de operación?

**Axens:** La primera vía es volver a moléculas originales (CO2 y H2), y para poder ajustar todos los parámetros y producir se requiere la tecnología *Fischer-Tropsch* que es mucho más flexible. La tecnología *Futurol* tiene que pasar por etanol (moléculas mayores) y es menos flexible en términos de productos, pero es menos costosa. Entonces, la tecnología de gasificación FT es más costosa, pero tiene una producción mucho más flexible.

**Pregunta c.4**
**Mitsui**: Sobre biomasa forestal, en una de las diapositivas se muestra un proceso previo de torrefacción: ¿Es necesario la torrefacción o puede ser saltado ese paso en el tratamiento de la biomasa forestal?

**Axens:** Debe ser así porque la tecnología se hace con un producto muy homogéneo y ya está probado que así funciona, algo similar a lo que se hace con el café. Probaron muchos tipos de biomasa, y aparte de moler no hay otra posible forma de unificar el material.

d) **SGS Chile.** Hugo Rodríguez

Son una empresa de certificación a nivel mundial, que poseen alrededor de 400 personas y tienen un área de recursos naturales donde tienen 3 laboratorios de combustible, de gas licuado, lubricantes y químicos. Trabajan con SEC, Aduanas, etc. Su trabajo principal es certificar o fiscalizar de alguna manera los procesos y asegurar que las normativas exigidas se cumplan. Hoy trabajan con algunos aeropuertos y distribuidores en el contexto de SAF. Ellos están al final de la cadena de suministro, antes de la distribución.

Hoy tienen laboratorios a nivel mundial. Específicamente en temas de SAF trabajan con un instituto de energía en el Reino Unido, con Alemania y Estados Unidos. A veces no se cumplen las especificaciones lo que genera algunos problemas. Son parte del comité ASTM.

En Chile no tienen toda la cadena implementada. Aquí realizan solo algunos análisis al kerosene porque los volúmenes son bajos, la mayoría se analiza afuera.

En el ámbito del Jet oil son pocos los controles que se realizan por el volumen. Se hacen a un estanque completo. EL control exigido es poco. No como en la gasolina o el diésel que tienen mayor fiscalización.

Participan en diferentes comités. En abril participarán en uno del instituto de energía donde se está realizando una guía para SAF (con controles y regulaciones) y les comentaron que hay mucho involucramiento de empresas privadas. Ellos estiman que se requieren

alrededor de 650 mil dólares para poder implementar un laboratorio aquí en Chile. Cuanto se tarden dependerá de la autoridad y sus exigencias, pero puede ser un año o un año y medio (si se requieren acreditaciones extras). Así podrían fiscalizar ambas normas: ASTM D1655 y D7566.

**Preguntas**
**Pregunta d.1**
**BID:** ¿Hay alguna experiencia internacional ya operando en este tema? ¿La guía para SAF tiene algún plazo?

**SGS:** Si, en Reino Unido. Ya están haciendo pruebas en aviones. Sobre la guía, va saliendo cada tres meses y se ofrece a compartir los avances.

**Pregunta d.2**
**Ministerio de Energía:** ¿Cuál es el monto de inversión de la norma ASTM o de otras normas que hubiera que implementar? ¿Vislumbra algún cuello de botella o riesgo en el costo de la realización de la norma misma o en la generación de filas por tiempo (que el análisis sea muy largo o que haya que enviar las muestras al exterior).

**SGS:** No cree que haya mayores problemas en compra de equipos e implementación, pero dependerá de la nueva regulación y las exigencias de la autoridad. Hoy hay pocas exigencias que tiene el combustible y baja demanda, por lo que se envían las muestras al exterior. Quizás podría haber un cuello de botella en cuántas muestras pueden realizar, dependiendo de si hay competencia.

**Pregunta d.3**
**Agencia de Sostenibilidad:** ¿Cómo ven en el corto o mediano plazo que se aumente la capacidad de *blending* del SAF con el combustible convencional?

**SGS: Con quienes trabajan en Reino Unido les** llamó la atención que estuviéramos en una mesa porque ellos van más avanzados. Ellos trabajan en la normativa, pero desde el ámbito privado. Los gobiernos no están muy involucrados en este aspecto.
Respecto a la pregunta, en 5 a 10 años debiera haber más desarrollo, uso y masificación del SAF en las compañías.

**Comentarios**
**PUC:** Considera que lo indicado por SGS respecto a la visión de Reino Unido respecto a la Mesa SAF es un incentivo para apretar el acelerador y que, dado esto, Chile debiera poder quedarse con la propiedad intelectual.

e) **Universidad de Concepción. Andrés Mejías y Cristina Segura.**

**La Universidad de Concepción** tiene más de 100 años, más de 31 mil estudiantes y más de 200 académicos.

La agenda de su presentación considera los siguientes temas: producción de combustibles sostenibles de aviación, contribución al programa Vuelo Limpio, verificación de calidad de biocombustibles de aviación y utilización de residuos como fuente de combustibles sostenibles.

La universidad puede aportar considerando la disponibilidad de materias primas y el nivel de desarrollo de las tecnologías para producir combustibles en cuatro etapas: investigación y desarrollo, pilotos, prueba de conceptos y comercialización. Lamentablemente hoy, la tecnología más desarrollada es la que tiene menos suministro, es decir, hay más restricciones de esas materias primas, y, en este sentido, la UdeC quiere ir hacia los alcoholes que si son más abundantes.

La contribución concreta que quieren realizar en este ámbito es, en consideración a las etapas de desarrollo de SAF existentes, proponer mezclas de combustibles y evaluar materias primas. En este sentido, proponen tomar un residuo, llevarlo a un proceso y valorizarlo. Luego, pueden participar en la verificación de la calidad de los combustibles, pues poseen laboratorios con la que trabajan y que puede permitir hacer estas evaluaciones.

Además, han estado en almacenamiento criogénico de hidrógeno. Ellos ya están trabajando en eso. En infraestructura, tienen tensiómetros que permite medir las presiones. Permite recuperar los combustibles ante accidentes, por ejemplo, si caen al agua. También tienen densímetros y viscosímetros.

Sobre la utilización de residuos para combustibles de aviación, menciona las materias primas que pueden ser usadas a mediano plazo en la biomasa forestal:

- Lignocelulosa: Hay un potencial que no está siendo explotado, especialmente en lo relacionado al aprovechamiento del bosque nativo. Según datos disponibles podrían ser 9 millones de toneladas secas al año, que hoy no se utilizan (siempre en el contexto de un manejo sostenible).
- Desarrollo de plantaciones dendroenergéticas, plantaciones de corta rotación, se estima 9 mil hectáreas disponibles para desarrollar estas plantaciones. Los costos y otros detalles son desconocidos aún, todo esto desde la región del Maule hacia el Sur, principalmente en Coyhaique. Otro desafío es cómo lo acercamos al nivel central.
- Las plantaciones de pinos y eucaliptus están destinados a un tipo de producción, lo que implica una competencia porque la biomasa está siendo utilizada. Sin embargo, hay una parte de biomasa que aún no se recupera y que no se usa por tema de

costos. También pueden usarse las cortezas en los aserraderos, que tampoco se han usado aún.

En el ámbito agrícola los volúmenes son muy pequeños, quizás los volúmenes más interesantes son la paja de los animales, donde habría mayor disponibilidad, o posibilidades de materia prima.

Por otro lado, si bien no son residuos propiamente, los plásticos residuales que no pueden ser reciclados mecánicamente, y también los neumáticos de los camiones, que por ley REP deben ser reciclados por parte de las mineras, pueden servir de materia prima. No es mucha la cantidad de este plástico que no se recicla.

Las líneas de investigación en que han trabajado, en relación con este tema son:

- Pirólisis de NFU y plásticos residuales para combustión alternativa y productos químicos de interés comercial.
- Gasificación de biomasa para generación eléctrica y producción de gas de síntesis.
- Pirólisis catalítica e hidro procesamiento de aceites y *tall oil* para combustibles líquidos.
- Pirólisis de biomasa y lignina para producción de biocrudo y refinación.
- Investigaciones financiadas con fondos ANID, CORFO.

La UdeC tiene infraestructura disponible, por ejemplo, para procesos termoquímicos de conversión de biomasa (pirólisis); esta planta también la tienen en tamaño piloto, donde se usa un sistema de horno rotatorio. También tienen capacidad de gasificación y de torrefacción. Tienen capacidades técnicas para escalar estas plantas. Asimismo, poseen infraestructura para realizar procesos termoquímicos de conversión de plásticos/NFU. Han estado trabajando con empresas que llevan a cabo pirólisis y han podido replicar las fórmulas para hacerlo. En el caso de la pirólisis de plásticos residuales han estado elaborando la tecnología necesaria para producir combustibles y están en vías de patentar esta tecnología.

Se menciona el trabajo colaborativo de la universidad con las empresas, mediante capacitaciones, asistencia técnica y contratos tecnológicos, asesorías que permiten a las empresas participar en licitaciones públicas y privadas, y apoyo a las empresas para el diseño de proyecto de Ley en I+D.

Por otro lado, apoyan mediante I+D aplicada, la gestión tecnológica de las mismas, y transferencia de tecnologías mediante fondos concursables.

Finalmente, plantean los aportes que efectivamente puede realizar la universidad en este tema, los que se centran en la exploración de materias primas para combustible (residuos forestales, agrícolas, plásticos y NFU), la evaluación de tecnologías de producción (pirólisis, gasificación y deshidratación), prestar infraestructura para pilotos, muchos ya patentados (para conversión de biomasa, de plásticos/NFU y equipos de medición como densímetros

tensiómetros, viscosímetros y contenido de agua), y la verificación de biocombustibles para la aviación (control de calidad, evaluación y comparación de rutas de conversión y validación de propuestas de combustibles).

**Preguntas**

**Pregunta e.1**

**Agencia de Sostenibilidad Energética:** ¿Cuándo mencionas que hay 9 mil Ha que potencialmente pueden usarse, cómo están siendo utilizadas esas hectáreas hoy?

**UdeC**: Lo que hay es un estudio de la Universidad Austral sobre los espacios y territorio con potencial de generar cultivos de corta rotación. En general son de privados. En ese estudio está excluido todo lo que tenga que competir con agricultura y considera algunas restricciones relacionadas al tema de aguas. Hay varios estudios de distintas universidades que han hecho pilotos de plantaciones dendroenergéticas.

**Pregunta e.2**

**PUC:** En relación con las 9,5 millones de toneladas secas mencionadas. ¿Si tomáramos una foto de Chile como desde Google *maps*, y pusiéramos esas toneladas en el terreno, cuán menos verde se vería el mapa?

**UdeC:** Se refiere al uso sustentable del bosque nativo, no es tala rasa de lo estamos hablando, si no del raleo, descarte, etc. en general del potencial que tiene el bosque nativo para producir ese residuo. Entonces un manejo sustentable del bosque nativo, según los expertos en temas forestales, ayudaría a mejorar la calidad del mismo bosque.

**PUC:** La opinión pública justamente se centra en que se van a talar árboles y que se van a afectar los ecosistemas.

**UdeC:** Eso sería en el bosque nativo que hoy existe y que no tiene manejo y que está muy deteriorado desde ese punto de vista. Siempre hay opiniones divididas cuando hablamos de esto, pero varias instituciones como CONAF y las mismas universidades han puesto sobre la mesa lo que significa un uso sustentable del bosque nativo. Además, el bosque nativo captura CO2 y si ese bosque es más productivo pues es mayor la captura. Hay ciertos tipos de árboles que se pueden aprovechar, mientras que otros no.

**Pregunta e.3**

**Mitsui:** En el mencionado proceso de plásticos de neumáticos ¿Han analizado qué hacer con ese aceite pirolítico, como craquearlo o para qué pudiera tener mejor uso?

**UdeC:** En el caso del aceite de neumático, se usa para fabricar combustibles pesados. Lo que han estado haciendo es buscar usos como rejuvenecedores de asfalto, es decir, separar componentes que son de alto interés para otras aplicaciones. Se puede pensar también en incorporar una mayor proporción de esos combustibles para sustituir parte del bitume en asfaltos y también en otros procesos para obtener combustibles de mejor calidad, mediante

gasificación o procesos catalíticos. En el caso del plástico, la vía es más directa, se hace un craqueo medianamente controlado, y lo que se obtiene es acotar el largo de cadena y la ramificación obtenida mediante procesos que usen la infraestructura existente.

Mitsui**:** Le parece que hace falta una mayor participación del mundo agrícola. Por otro lado, resulta interesante lo del FNU (los neumáticos) y, en este sentido, existe una gran oportunidad con muchas mineras del norte que están analizando los materiales que pueden reciclar.

**Pregunta e.4**
**Asociación Chilena de Biomasa:** Los forestales tienen una distorsión en las mediciones porque todo lo miden en metros cúbicos de madera. ¿Cuál es el rendimiento del volumen de madera a líquido de biocombustible?

**UdeC:** Por medio de gasificación tendríamos rendimientos más altos, pero la fracción específica para los combustibles de aviación estarían en el orden del 30%. Debemos considerar que el 40% de la biomasa es oxígeno, por lo que el 60% restante es carbono e hidrógeno, a lo que hay que restarle la eficiencia para transformarlo en un kerosene. La selección dentro de los productos que queremos también es una fracción dentro de los otros hidrocarburos. Dependerá de la tecnología de conversión que se utilice y de los análisis del ciclo de vida. Los desarrolladores de tecnología podrían responder con más precisión.

**Pregunta e.5**
**BID:** Comenta que en el banco están estimando los volúmenes que se puedan necesitar de SAF, no solo al principio si no más adelante. Esto con la finalidad de estimar costos. Le parece que es relevante que, aunque se produzca poco, se produzca igual porque sirve de todas maneras. ¿Qué materias primas quedarían afuera por tema de costos desde el principio?

**UdeC:** Hay información histórica acumulada sobre biomasa, uno podría hablar de $80/$100 por tonelada, pero aún no está tan claro cuánto cuesta obtenerla. Además, hay calidad de biomasa y eso también afecta el costo.
El CO2 será una moneda de cambio en algún momento, se está valorizando y hay que considerarlo. Hay un pago emocional también, de cómo aportamos a la descarbonización, el valor de la sustentabilidad, que será un valor que irá aumentando.

**Pregunta e.6**
**Enap:** Sobre los consorcios, en especial Biocomsa, el valor de la biomasa era cero, pues era un residuo y casi les pagaban por retirarlo. 5 años después ya costaba $50 la tonelada, aspecto que hay que considerarlo.

**UdeC:** Hay que considerar que nunca es costo cero, porque, aunque no haya que pagar por la materia prima, tomarla y transportarla para procesarla ya tiene un costo de $80. Si las distancias son mayores los costos aumentan.

**Comentarios**

**Asociación Chilena de Biomasa:** Las dos más grandes empresas tienen disponibilidad de 2 millones de toneladas de biomasa costo cero, más la del bosque nativo. Además, hay que considerar la externalidad positiva de extraerla evitando la propagación de incendios.