

# Cadena logística cárnica

Propuesta de acciones para su descarbonización  
25/03/2026 – Laboratorio Tecnológico del Uruguay

# Equipo consultor

---



Ing. Stella Cristobal

Ing. Sofía Donatti

Ing. Guadalupe Martínez

Arq. Andrés Olivera

# Diagnóstico con enfoque en la descarbonización

# Componentes del diagnóstico

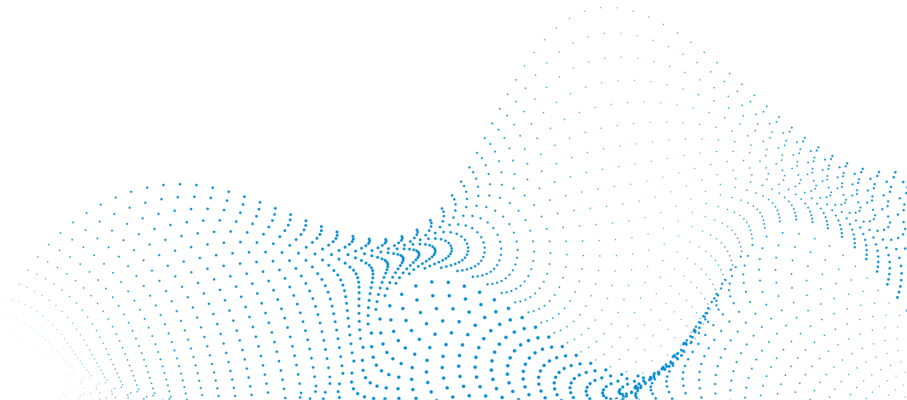
---

1. Revisión de los marcos regulatorios nacionales e internacionales vinculados a transporte sostenible, energías renovables y cambio climático.
2. Análisis de experiencias internacionales sobre descarbonización logística aplicadas a las cadenas agroindustriales, evaluando su adaptabilidad al contexto uruguayo.
3. Identificación de los compromisos asumidos por Uruguay en materia climática y de las alianzas multilaterales, bilaterales y regionales.
4. Relevamiento de certificaciones con potencial para mejorar la competitividad de la carne uruguaya en mercados que priorizan la sostenibilidad.

# Componentes del diagnóstico

---

5. Mapeo de actores globales con capacidad de cooperación técnica y financiera, detectando oportunidades para proyectos conjuntos que aceleren el cambio.
6. Análisis de tendencias en mercados que valoran productos con logística carbono neutral, identificando requisitos ambientales y oportunidades comerciales.
7. Relevamiento de información sectorial mediante entrevistas con actores públicos y privados clave, asegurando la incorporación de perspectivas nacionales en la estrategia de descarbonización.



# Recomendaciones y propuesta de acciones

# Estructura del producto

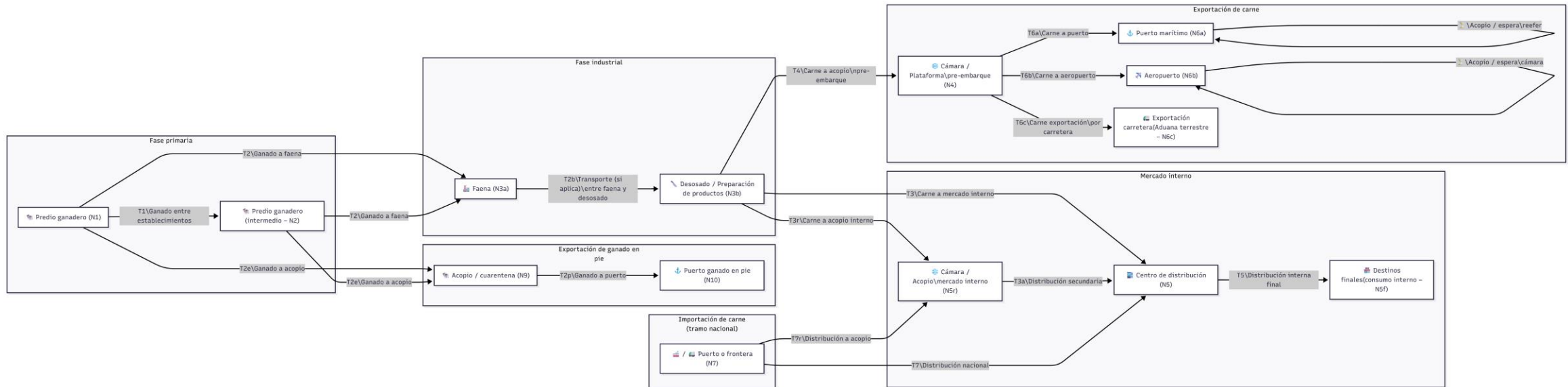
---

1. Análisis cualitativo de las diferentes alternativas tecnológicas y de gestión para descarbonizar la cadena logística cárnica:
  - Aplicabilidad de experiencias internacionales en descarbonización de la cadena logística en el contexto nacional.
  - Planteo de propuestas de optimización desde la gestión y las diferentes tecnologías.
  - Evaluación económica, ambiental y de complejidad de las medidas propuestas.
  - Pertinencia del acceso a los programas de compensación de carbono.
  - Análisis de las tendencias regulatorias de sostenibilidad en mercados clave.
  - Propuesta de acciones para la adopción de tecnologías limpias e indicadores de seguimiento y evaluación del proceso de descarbonización de la cadena cárnica.

# Estructura del producto

## 2. Análisis cuantitativo de las actuales emisiones de GEI de la cadena en estudio y su comparativo frente a las diferentes alternativas de mejora propuestas:

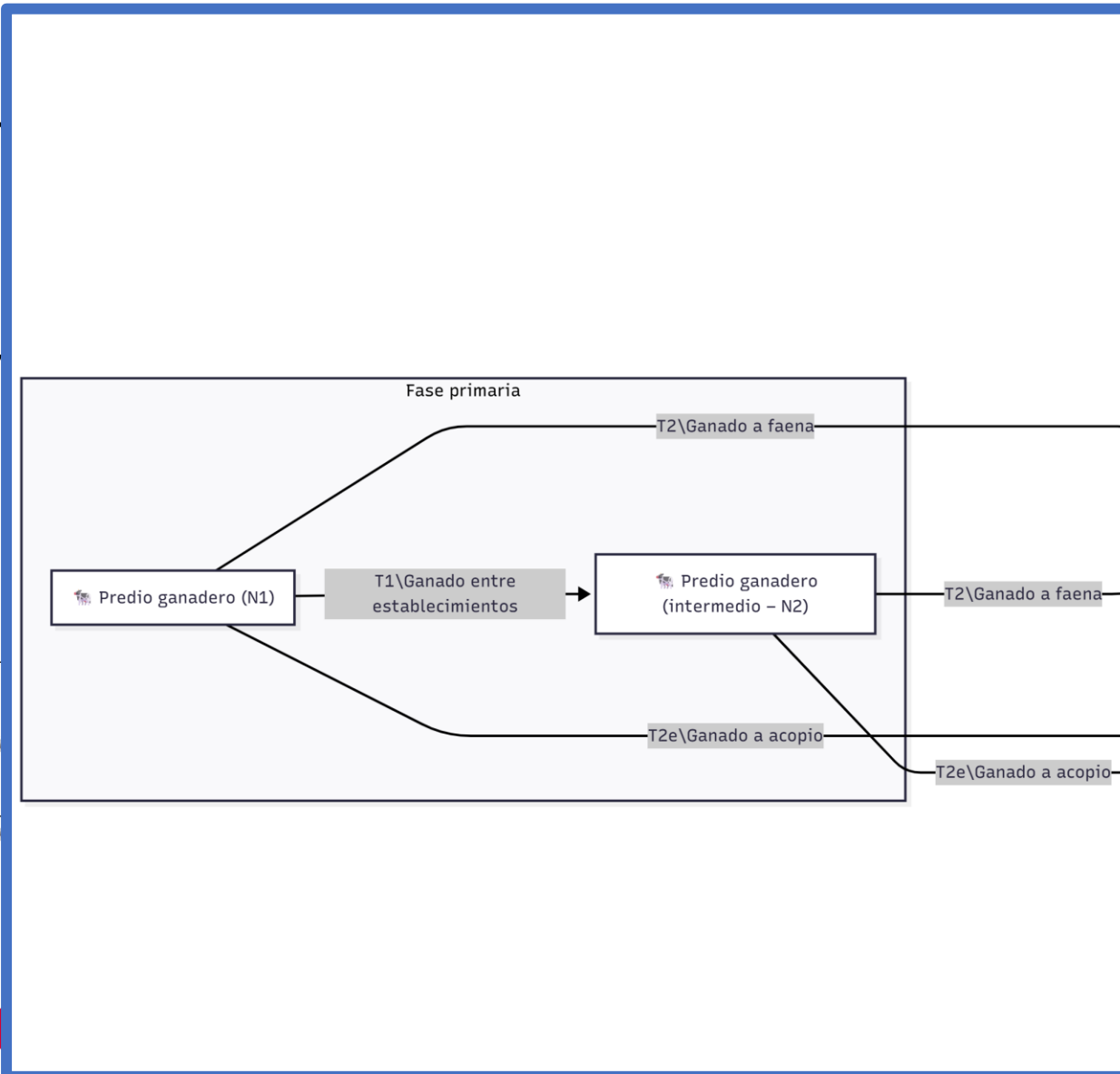
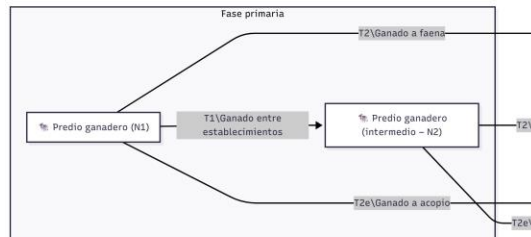
- Modelado de escenarios con diferentes niveles de adopción de tecnologías limpias y mejoras logísticas estimando la potencial reducción de emisiones de GEI.



# Estructura del producto

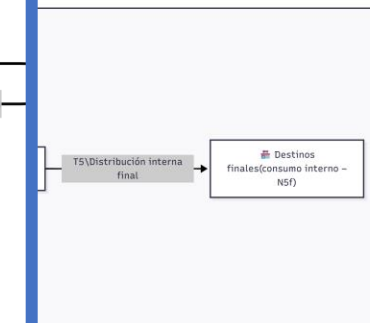
## 2. Análisis cuantitativo y comparativo

- Modelado de procesos limpios y emisiones de GEI.



ena en estudio y su  
puestas:

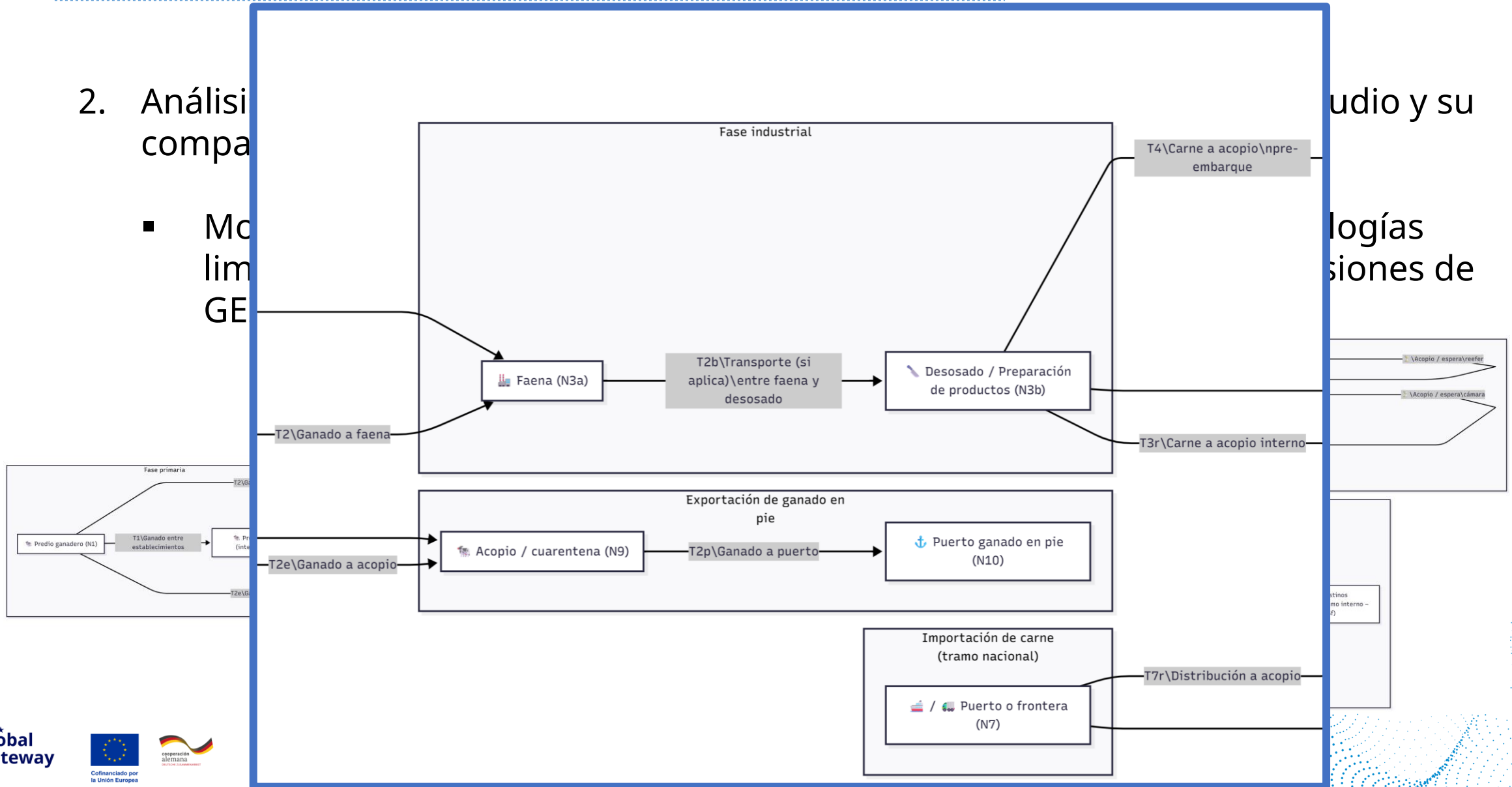
n de tecnologías  
ón de emisiones de



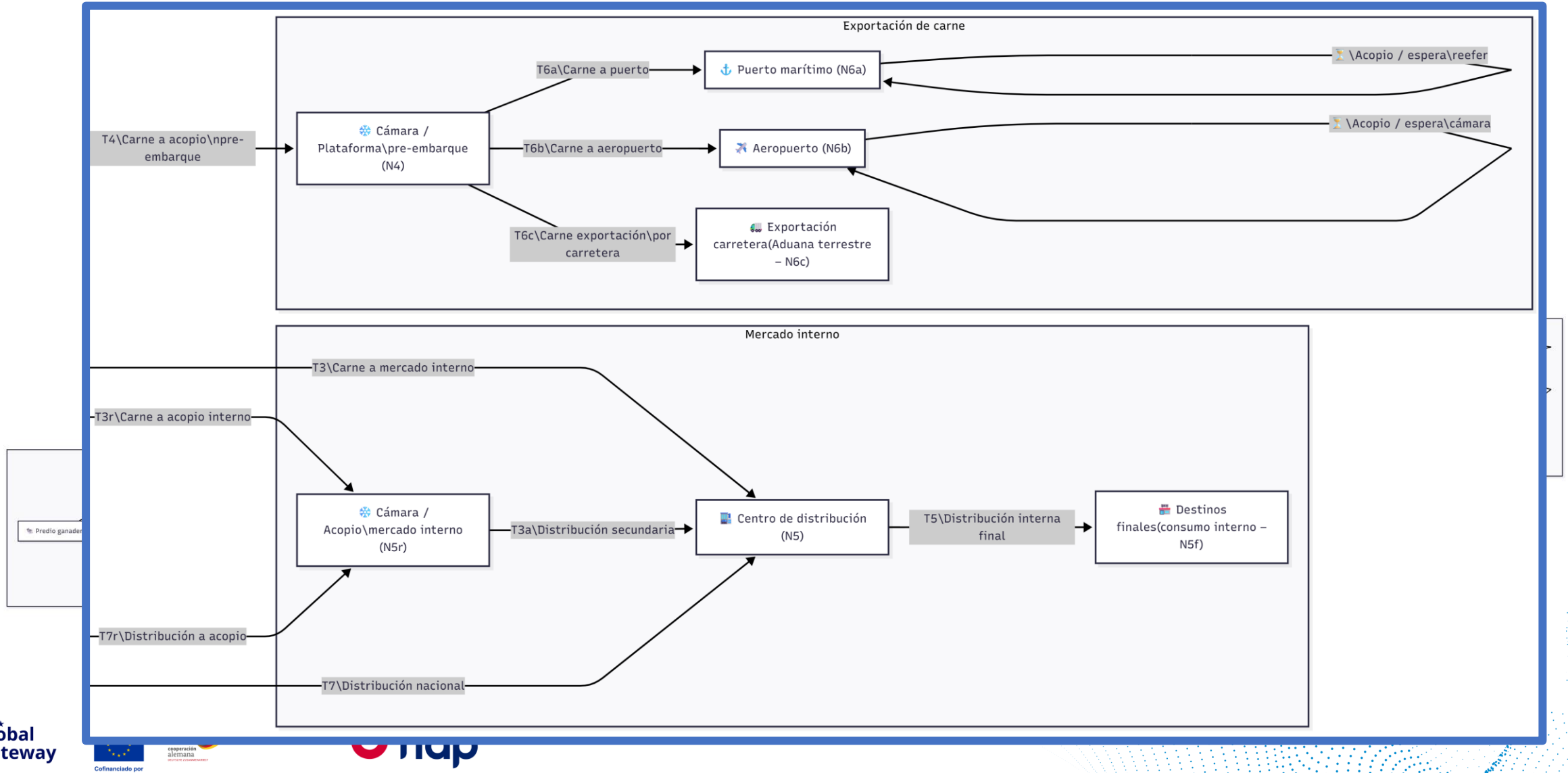
# Estructura del producto

## 2. Análisis de la estructura del producto

- Modelo de negocio



# Estructura del producto

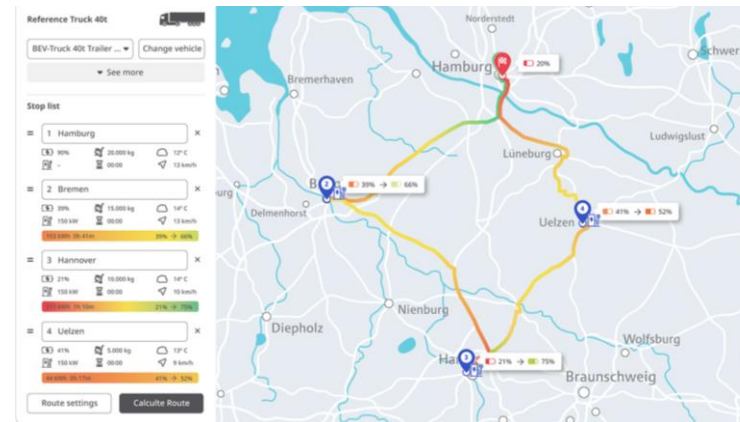
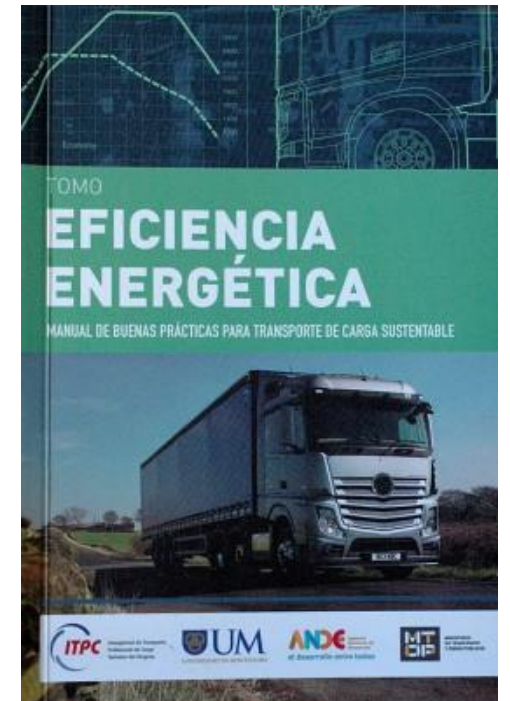


# Tecnologías consideradas

---

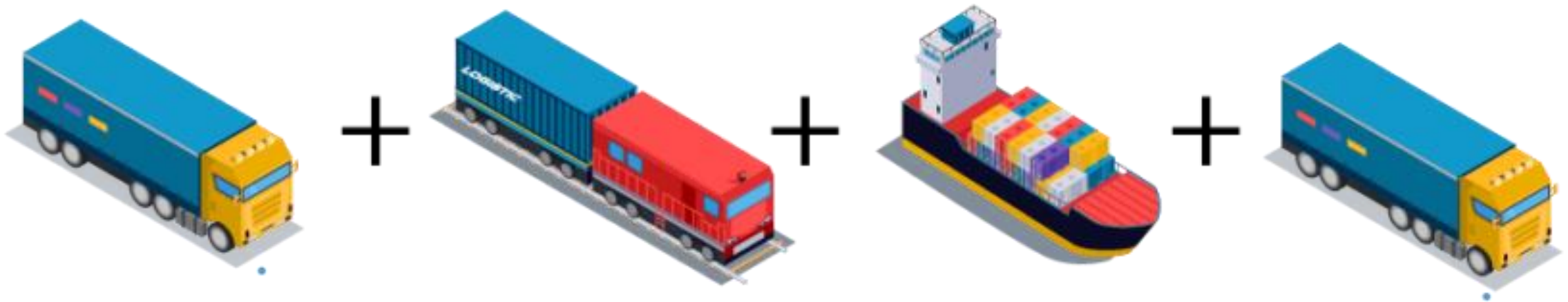
1. Mejoras de eficiencia energética en vehículos diésel /mezcla con biodiesel
2. Uso de combustibles renovables en motores diésel existentes (HVO y mezclas con biodiésel)
3. Vehículos a biometano
4. Vehículos eléctricos a batería (BEV)
5. Vehículos eléctricos con celda de combustible de hidrógeno (FCEV)
6. Vehículos con motor de combustión interna a hidrógeno (H<sub>2</sub>-ICE)

# Mejoras de eficiencia



# Mejoras de eficiencia

---



# ISO 14083 — Quantification and reporting of GHG emissions from transport chain operations

Enfoque Well-to-Wheel (WTW): cuantifica las emisiones en todo el ciclo energético del vector utilizado

## Well-to-Tank (WTT)

Extracción + refinería  
+ distribución

+

## Tank-to-Wheel (TTW)

Emisiones directas  
de combustión

=

## Well-to-Wheel (WTW)

WTT + TTW  
Total del ciclo

Unidad funcional

**g CO<sub>2</sub>e / t · km**

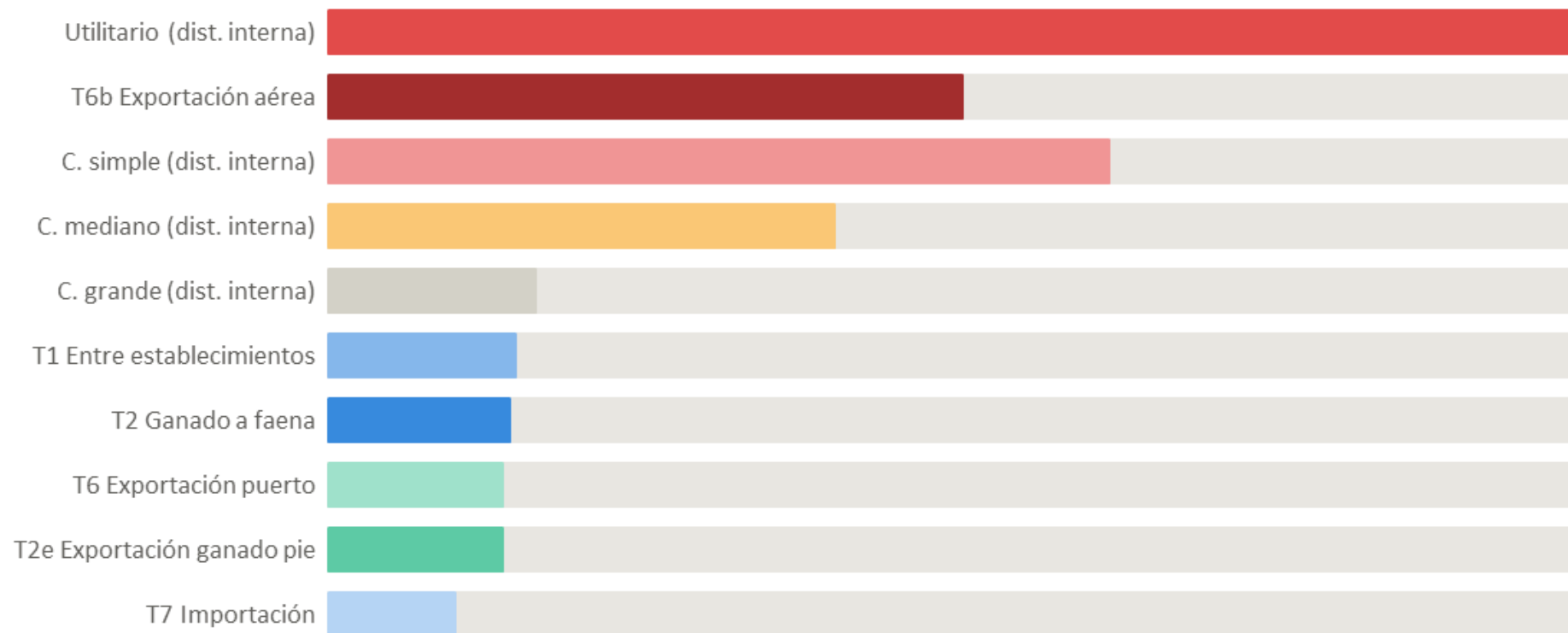
### Definiciones del estudio

|               |                                                                              |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------|
| TTW           | Emisiones directas en la operación del vehículo                              |
| WTT           | Emisiones upstream: extracción, producción y distribución del vector         |
| WTW           | TTW + WTT — huella total del ciclo energético                                |
| Retorno vacío | Camión regresa sin carga tras cada viaje — incluido en el modelo (ISO 14083) |

Fuentes: TTW combustibles fósiles → IPCC 2006 + BEN (Uruguay) - Upstream (WTT) y renovables → DEFRA 2025 - Electricidad SIN → MIEM - GWP refrigerantes → IPCC AR5 - Datos de actividad → DI Pascua (2026)

# Intensidad de emisiones baseline por tramo (g CO<sub>2</sub>e/t·km)

Escenario diésel convencional WTW — de mayor a menor intensidad. Tramos de distribución interna: C. grande, C. mediano, C. simple y Utilitario.

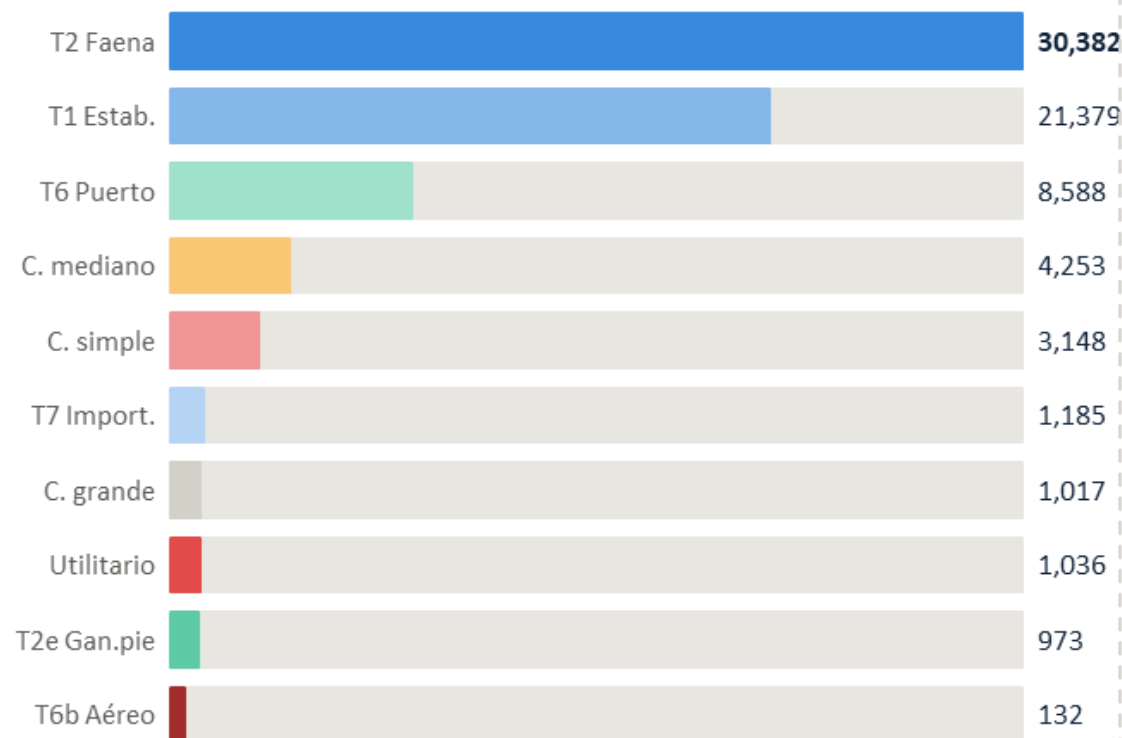


T2 Faena concentra ~41% de las emisiones absolutas (30.382 t CO<sub>2</sub>e/año) por alto volumen, aunque su intensidad unitaria es moderada. Los utilitarios tienen la mayor intensidad por baja capacidad de carga y circuitos fragmentados.

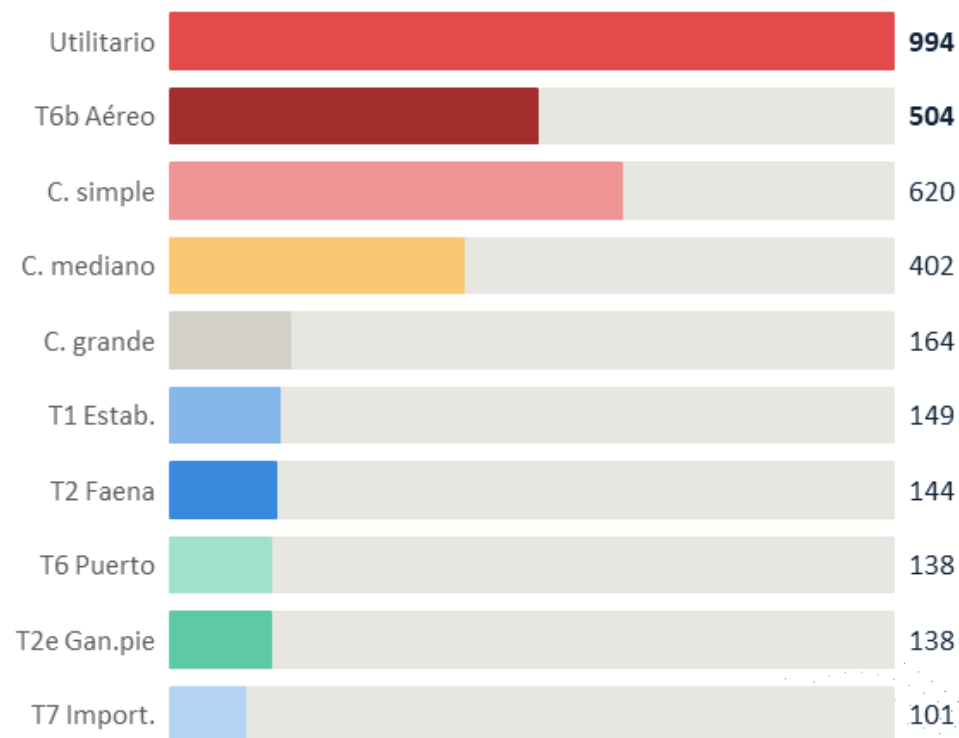
# Emisiones absolutas por tramo — escenario baseline diésel (t CO<sub>2</sub>e/año y kg CO<sub>2</sub>e/t)

Permite identificar dónde se concentra el impacto total del sistema logístico y qué tramos son más ineficientes por unidad.

## Emisiones totales anuales (t CO<sub>2</sub>e/año)



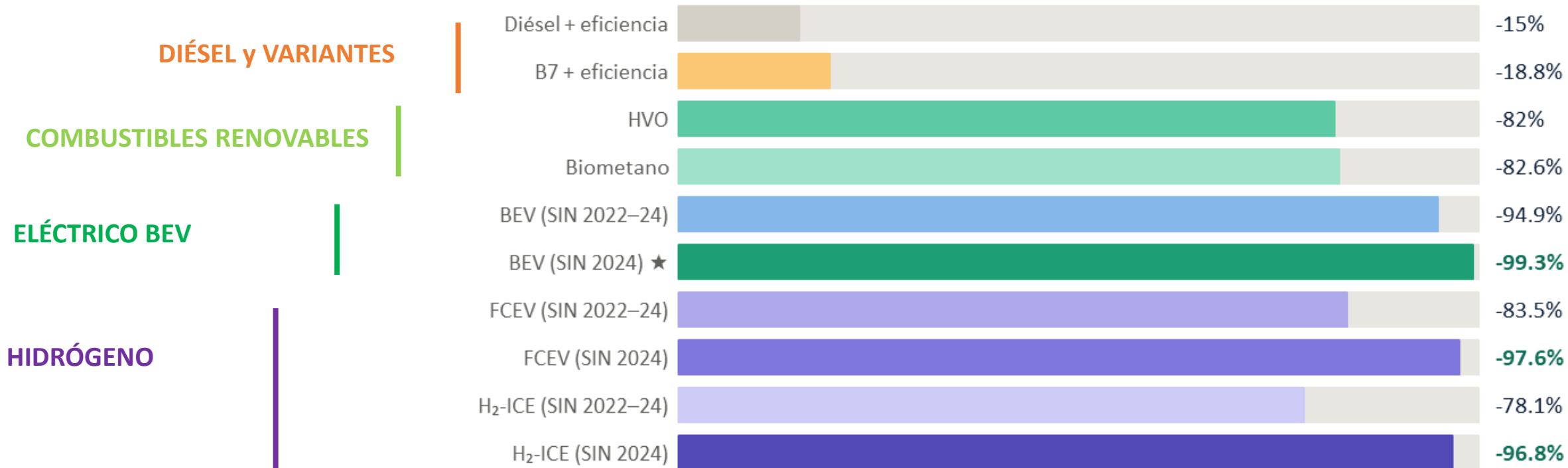
## Intensidad (kg CO<sub>2</sub>e/t)



La combinación de ambas métricas permite priorizar: T2 Faena → alto impacto por volumen pero intensidad moderada. Utilitarios → mayor intensidad por unidad pero menor impacto absoluto.

# Reducción % vs baseline por tecnología — todos los tramos

Patrón consistente: a mayor sustitución de combustible fósil y uso de electricidad renovable, mayor reducción WTW.



Uruguay: ventaja estratégica por matriz eléctrica >90% renovable → BEV logra -99.3% WTW. El hidrógeno producido localmente por electrólisis clasifica como verde (0.31 kg CO<sub>2</sub>e/kg H<sub>2</sub>, umbral internacional: 3.4).

# Transporte de ganado: entre establecimientos y a faena

Mayor emisor absoluto (~41% huella total). Retorno vacío 100% + baja densidad de carga del animal vivo.

## T1 Entre establecimientos · 149 g CO<sub>2</sub>e/t-km · 21.379 t CO<sub>2</sub>e/año

### DIÉSEL y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV



### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



## T2 Ganado a faena · 144 g CO<sub>2</sub>e/t-km · 30.382 t CO<sub>2</sub>e/año

### DIÉSEL y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV



### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



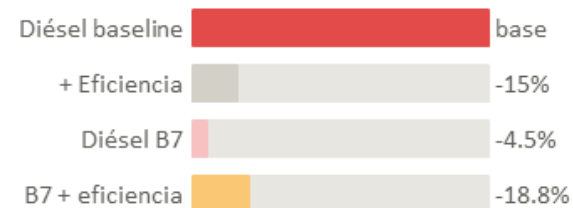
HVO y biometano: -82% sin cambio de flota (drop-in). BEV SIN 2024: -99.3% por matriz renovable. FCEV supera a H<sub>2</sub>-ICE por usar electromotor en lugar de ciclo térmico.

# Exportación: ganado en pie, carne por puerto y carne aérea

Todos los escenarios evaluados · WTW · retorno vacío 100%

## T2e Gan. pie · 138 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV

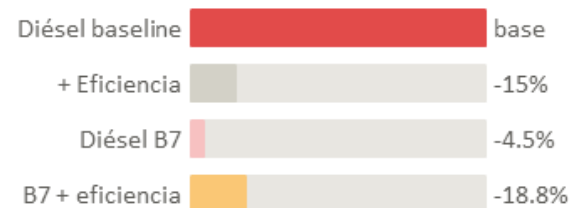


### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



## T6 Puerto/carretera · 138 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV

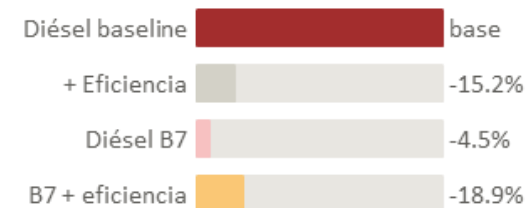


### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



## T6b Aérea · 504 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV



### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



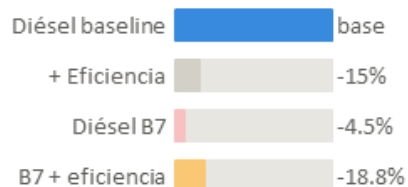
T6b presenta la mayor intensidad de la cadena (504 g/t·km): camión simple + carga útil reducida + retorno vacío + distancias cortas. La electrificación en T6b es estratégica para no erosionar la huella del producto premium en destino.

# Distribución interna y carne importada — todos los escenarios

H<sub>2</sub>-ICE y FCEV no aplican a utilitarios ni camión simple (sin disponibilidad comercial en esos segmentos).

## C. grande · 164 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



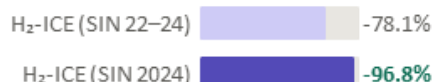
### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV

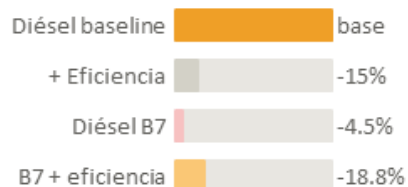


### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



## C. mediano · 402 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



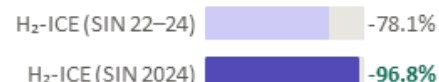
### ELÉCTRICO BEV



### HIDRÓGENO FCEV

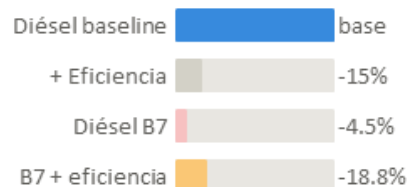


### HIDRÓGENO H<sub>2</sub>-ICE



## C. simple · 620 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV

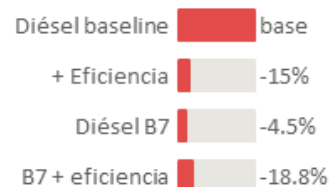


H<sub>2</sub>: no aplica

H<sub>2</sub>: no aplica

## Utilitario · 994 g/t·km

### DIÉSEL Y VARIANTES



### COMBUSTIBLES RENOVABLES



### ELÉCTRICO BEV



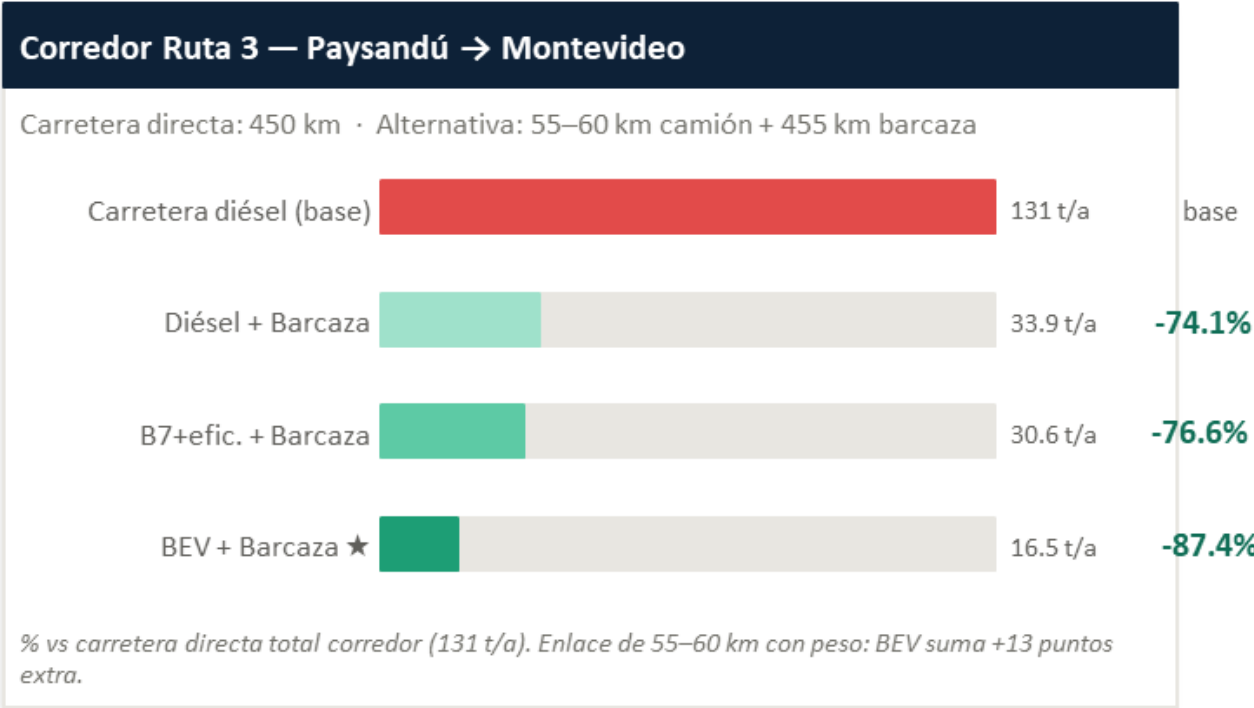
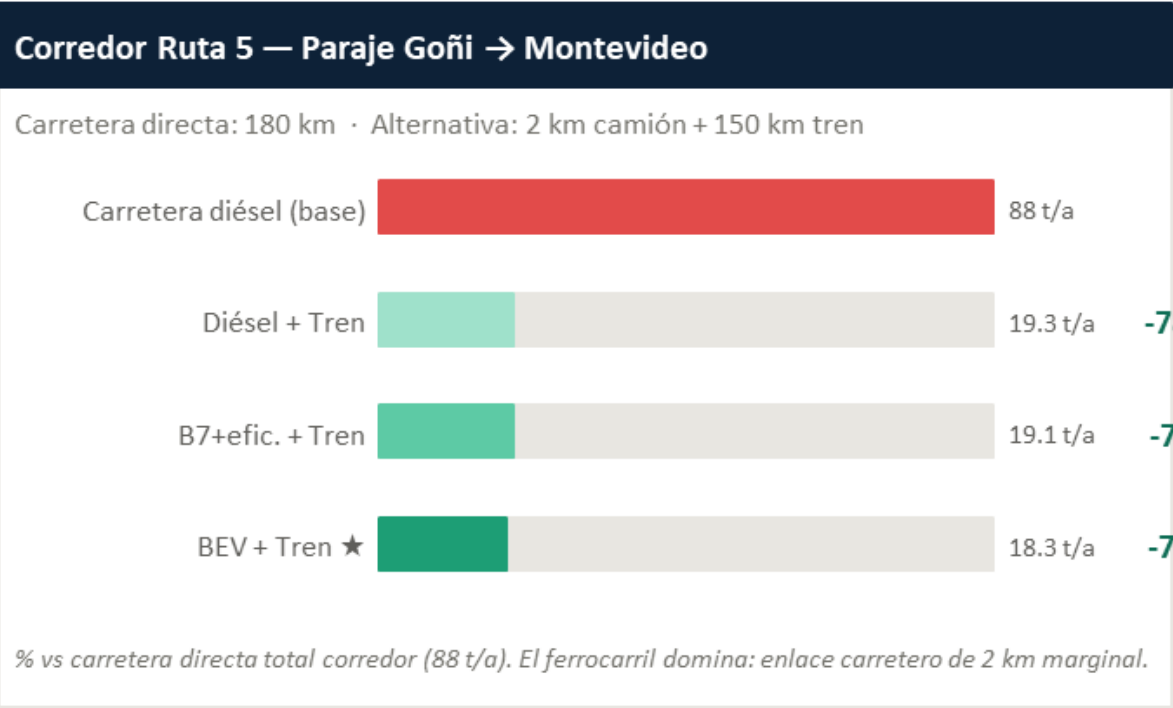
H<sub>2</sub>: no aplica

H<sub>2</sub>: no aplica

T7 Importación · 101 g/t·km · 1.185 t CO<sub>2</sub>e/año: BEV SIN 2024 → 0.76 g/t·km (-99.3%) · HVO → 18.3 (-82%) · FCEV SIN 2024 → 2.44 (-97.6%) · H<sub>2</sub>-ICE SIN 2024 → 3.26 (-96.8%)

# Corredores multimodales: exportación de ganado en pie

Comparación carretera directa vs. alternativa multimodal. Resultados exclusivamente de emisiones.

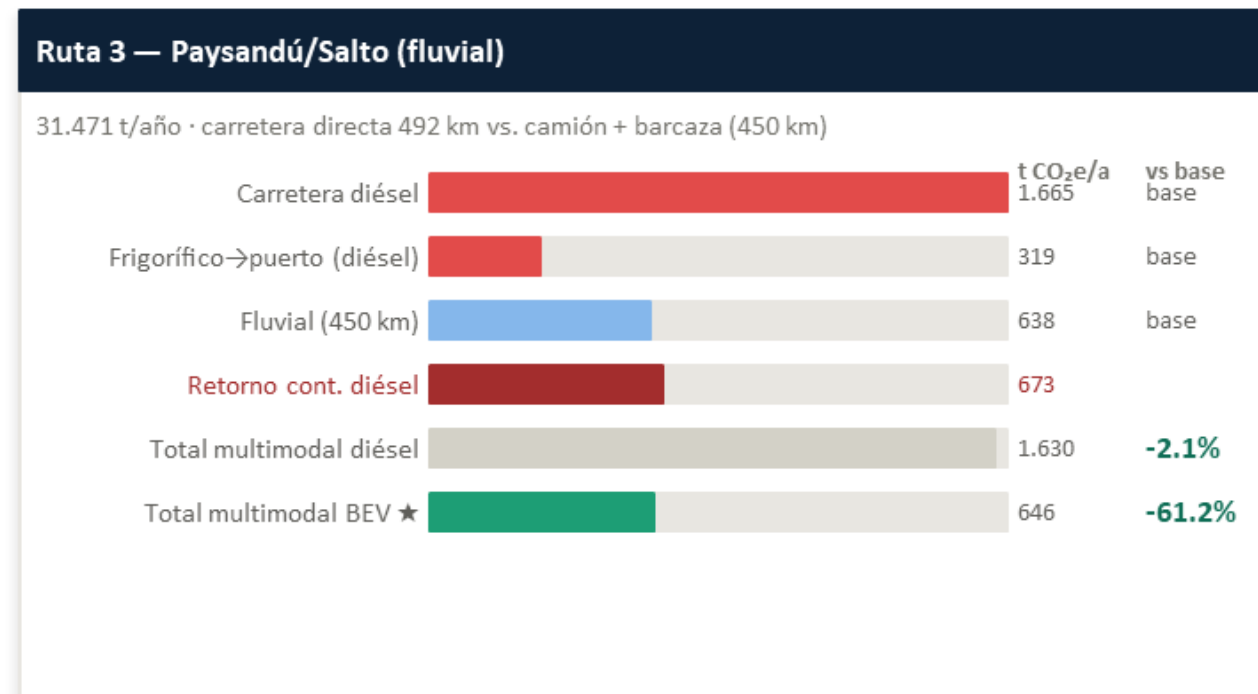
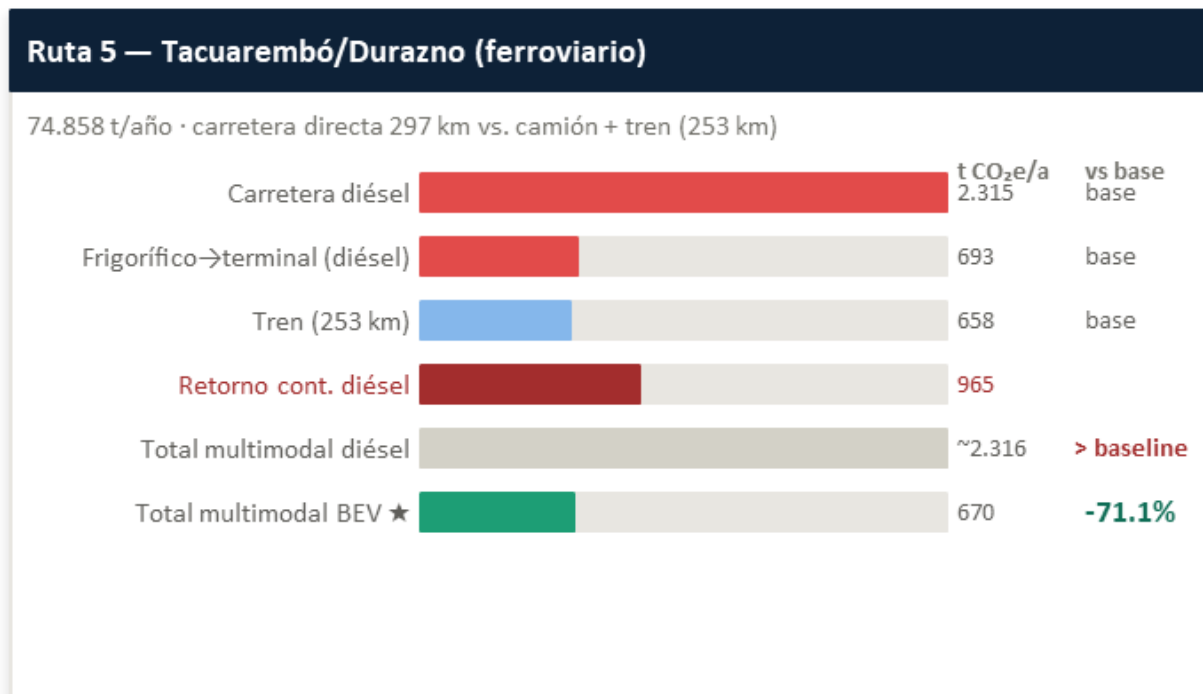


Estos resultados son exclusivamente de emisiones. La viabilidad multimodal requiere además:

- Infraestructura portuaria/ferroviaria habilitada · Coordinación entre operadores logísticos · Equipamiento de carga/descarga para animales vivos · Controles sanitarios en cada punto de transferencia
- Frecuencias de servicio adecuadas · Competitividad económica del flete multimodal

# Corredores multimodales: exportación de carne procesada

El retorno de contenedores vacíos en diésel puede superar las emisiones del propio tramo modal principal.



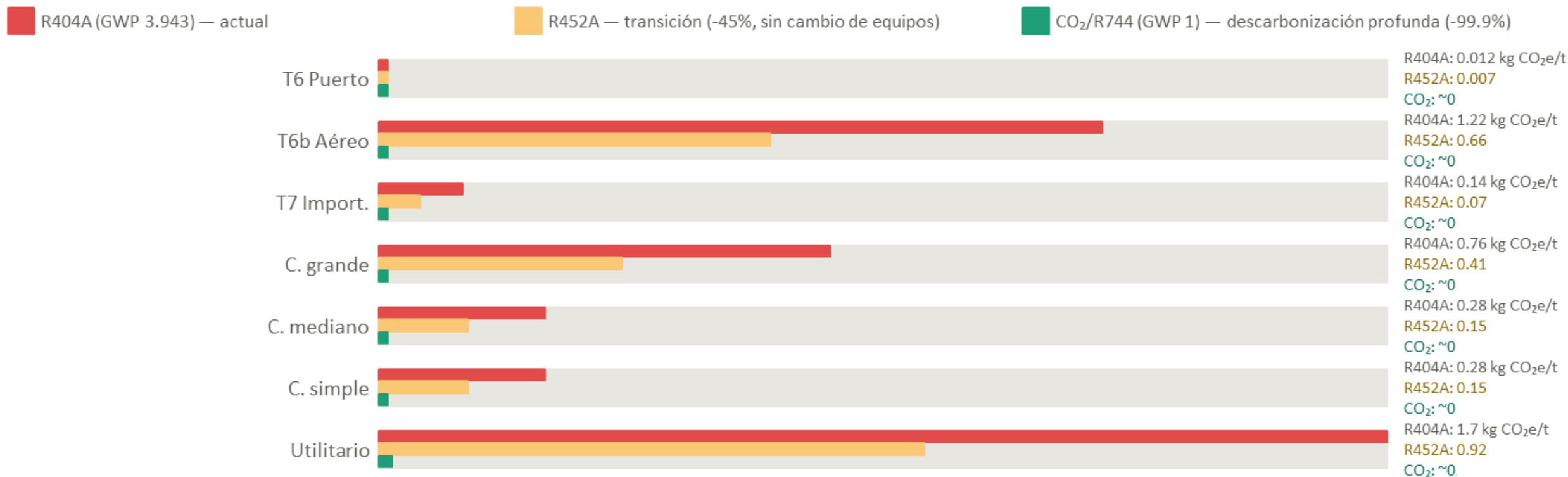
## Mismas salvedades de viabilidad que multimodal ganado, más:

Interoperabilidad de contenedores entre modos · Gestión del reposicionamiento de equipos vacíos · Tiempos de tránsito compatibles con la cadena de frío · Infraestructura de frío en puertos fluviales. El análisis presentado es exclusivamente de emisiones.

El retorno de contenedores vacíos en diésel supera las emisiones del tramo modal principal. La electrificación de los tramos carreteros terrestres es indispensable para que la multimodalidad sea climáticamente efectiva.

# Refrigerantes en transporte: impacto por tramo refrigerado

Todos los tramos refrigerados. Análisis comparativo con datos estandarizados (tasa fuga 15%/año, IPCC). Presentado separadamente del total por tramo.



Cambio R404A → R452A: acción inmediata sin cambio estructural de equipos (-45%). CO<sub>2</sub>/R744 requiere equipos nuevos pero elimina prácticamente las emisiones fugitivas. R404A tiene GWP 3.943 (IPCC AR5): incluso fugas pequeñas tienen impacto relevante.

# El mejor desempeño: eficiencia motriz + vector de baja huella + compatibilidad logística del tramo

Tres grupos tecnológicos con potencial de mitigación creciente. Uruguay tiene ventaja estratégica por su matriz eléctrica >90% renovable.

## Mejoras incrementales

- › Eficiencia diésel → -15%. Eco-driving, neumáticos, aerodinámica. Aplicable hoy, sin cambio de flota.
- › Diésel B7 → -4.5%. El 93% de la energía sigue siendo fósil. Impacto limitado.
- › B7 + eficiencia → -18.8%. Medida complementaria, no estructural.

## Transición robusta

- › HVO → -82%. Drop-in: sin modificar motor ni infraestructura. Disponible comercialmente.
- › Biometano → -82.6%. Economía circular. Requiere adaptación de flota e infraestructura de carga.

## Máxima mitigación

- › BEV (SIN 2024) → -99.3%. Ventaja única de Uruguay. Ideal para distribución y rutas con carga planificada.
- › FCEV (SIN 2024) → -97.6%. H<sub>2</sub> verde local <0.4 kg CO<sub>2</sub>e/kg (umbral: 3.4).
- › H<sub>2</sub>-ICE (SIN 2024) → -96.8%. Menor eficiencia que FCEV. Rol de transición.

Mayor intensidad  
**Utilitarios**

Mayor emisor absoluto  
**T2 Faena**

Acción sin inversión  
**-15%**

Reducción máxima WTW  
**-99.3%**

Para la priorización real por tramo considerar también: autonomía operativa, infraestructura disponible, costos de inversión, peso útil, frecuencia operativa y madurez tecnológica en el segmento.

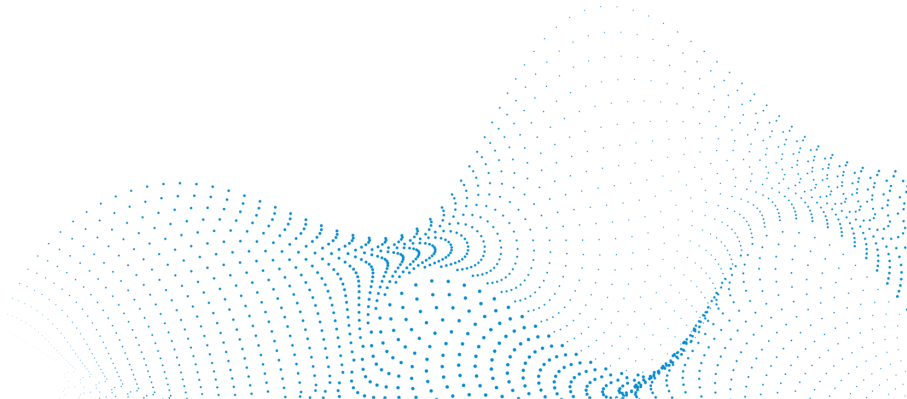
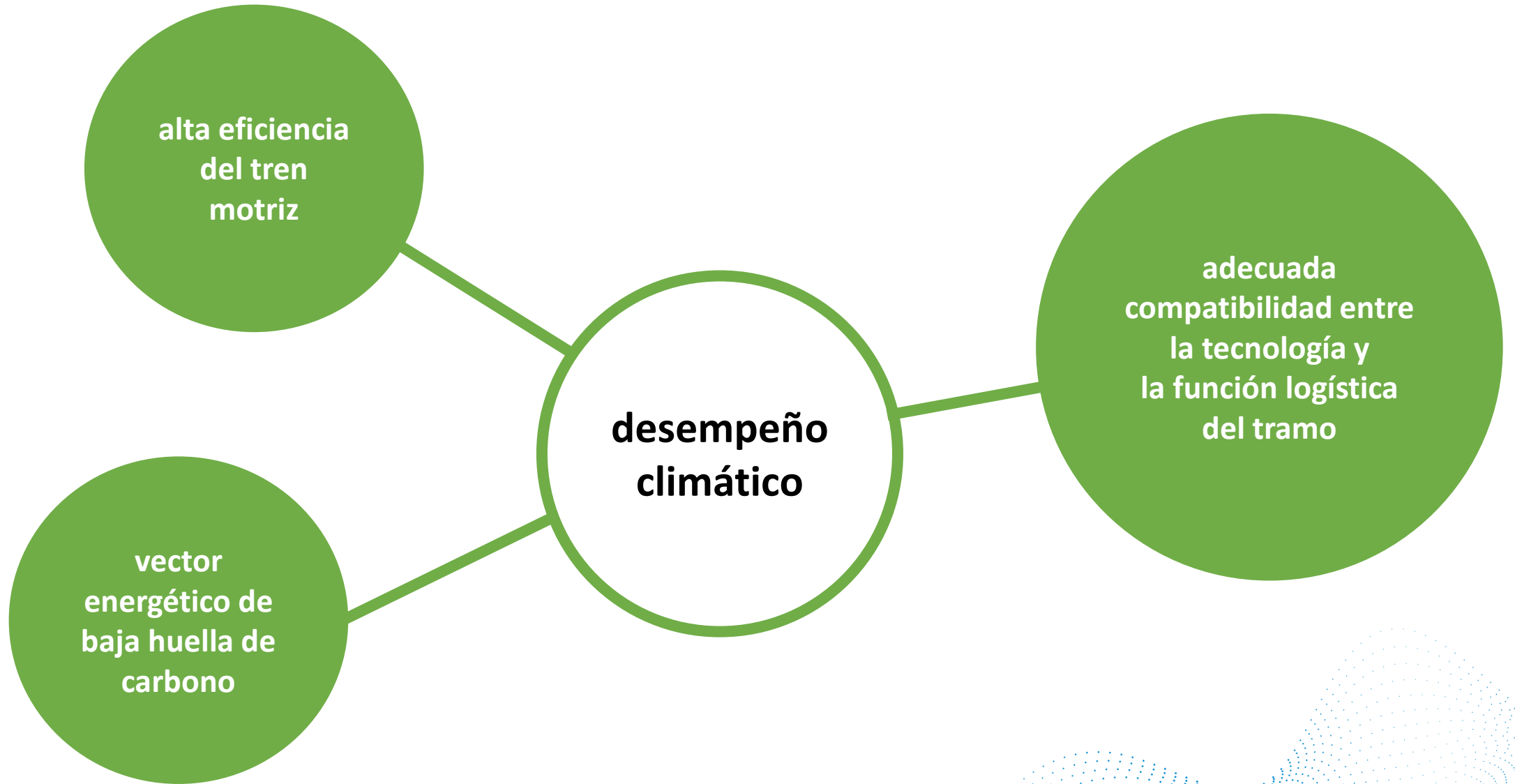
# Conclusiones

- Ventajas comparativas de Uruguay (matriz energética, infraestructura).
- Transición posible cuando confluyen regulación, incentivos económicos, información estandarizada y cooperación público-privada.
- Instrumentos de apoyo a la descarbonización.
- Electricidad + hidrógeno verde + biocombustibles.
- Optimización logísticas, incorporación de tecnologías, datos de actividad.
- Desarrollo de infraestructura para la multimodalidad, vehículos de alto desempeño.
- Descarbonización de la cadena de frío, sustitución de gases refrigerantes.

# Desempeño por grupos tecnológicos

---

1. BEV y FCEV – Descarbonización profunda. Exigen infraestructura y renovación tecnológica.
2. HVO y biometano – Aprovechan tecnologías vehiculares disponibles y pueden desplegarse más rápido en ciertos corredores.
3. Diesel + Biodiesel + eficiencia – Aplicables a corto plazo, no modifican de modo estructural la dependencia de combustibles fósiles.



# Muchas gracias



Implementado por

