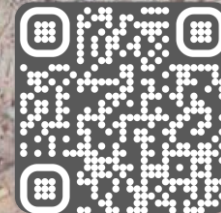


Recopilación de antecedentes técnicos y económicos para norma de emisión de metano para rellenos sanitarios

Unidad GreenLab



Estudio solicitado por la Subsecretaría del Medio Ambiente

Santiago, 09-09-2026

Sesión de cierre y transferencia · MMA y MINSAL





Componentes

- Objetivos de la consultoría
 - Caracterización de rellenos sanitarios de Chile
 - Revisión de normas internacionales
 - Emisiones históricas y proyectadas (1950-2050)
 - Tecnologías de reducción de emisiones de metano en rellenos sanitarios
- Propuesta de norma de emisión
 - Metodología y escenarios de norma
 - Estándar tecnológico de referencia
 - Potencial de reducción de emisiones
 - Futura norma de emisión y DS189/2005 MINSAL
 - Análisis económico
 - Propuesta de MRV y Fiscalización
 - Conclusiones y lecciones





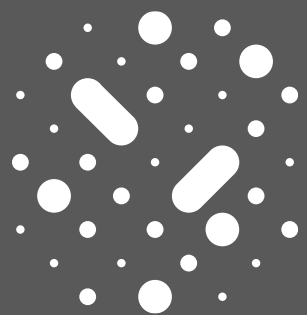
Objetivos consultoría

- a) **Identificar, caracterizar y describir normas de emisión de metano** e instrumentos relacionados **internacionales y nacionales**, que puedan servir de referencia.
- b) **Caracterizar los rellenos sanitarios del país**, contando con una estimación del nivel de actividad y emisiones de metano para cada sitio de disposición de residuos domiciliarios, mono rellenos industriales y similares del país.
- c) **Proponer, describir y evaluar, prácticas de operación y soluciones tecnológicas** aplicables que permitan **la reducción de emisiones de metano** en rellenos sanitarios del país.
- d) **Generar propuesta de al menos tres escenarios de norma de emisión de metano en rellenos sanitarios**, conforme a los artículos 14 y 15 de la ley 21.455/2022.
- e) **Analizar y sistematizar los elementos técnicos, operativos y regulatorios contenidos en el DS N°189** actualizado, con el fin de utilizarlo como línea base, estableciendo sinergias y compatibilidades con los productos de la consultoría.
- f) **Proponer mecanismos de monitoreo para la fiscalización y cumplimiento de la respectiva norma** considerando que debe ser eficiente y sinérgica con otras normas que tengan por objeto regular a los rellenos sanitarios como el D.S. 189/2005 del MINSAL y sus actualizaciones.
- g) **Elaborar análisis técnico y económico de los escenarios de norma de emisión** propuestos y de la modificación del decreto considerando para esto último el Informe Financiero del PSM del MINSAL.



Cumplimiento de objetivos y productos entregados

- **a) Normas e instrumentos de referencia.** 9 jurisdicciones caracterizadas (EE.UU., Canadá, Nueva Zelanda, Reino Unido, Unión Europea, Colombia, Australia, Suecia y México) más 4 entrevistas a reguladores. Informe de Avance 1.
- **b) Caracterización y emisiones por sitio.** 110 sitios identificados, serie de actividad 1950-2024 y emisiones por relleno con modelo FOD, más proyección 2025-2050. Informe de Avance 2.
- **c) Medidas de control.** Tres grupos funcionales, con CAPEX, OPEX, costo de abatimiento y potencial de reducción. Informe de Avance 2.
- **d) Escenarios de norma.** 3 escenarios distributivos × 2 temporales × 2 de umbral de excedencia, con límites por relleno y estándar tecnológico de referencia. Informe de Avance 3.
- **e) DS N°189 como línea base.** Sistematización de elementos técnicos, operativos y regulatorios, sinergias con la norma y coherencia con los PPDA. Informe de Avance 3.
- **f) MRV y fiscalización.** Mecanismos por solución tecnológica, actores, costos y brechas, articulados con la Res. Ex. 431 y el Informe Financiero del PSM. Informe Final.
- **g) Análisis técnico y económico.** Potencial de reducción frente a línea base y PSM, curvas de costo calibradas, financiamiento, beneficios y comparación entre escenarios. Informe Final.



Caracterización Rellenos Sanitarios en Chile





Sitios de disposición final (SDF) identificados

- **110 sitios de disposición final** identificados en el país: 25 basurales, 36 vertederos y 49 rellenos sanitarios.
- **40 rellenos sanitarios en operación** constituyen el universo normativo; 9 más están por operar.
- **Tres categorías**, según el catastro SUBDERE 2024: basural, vertedero y relleno sanitario. La diferencia es el cumplimiento del DS N°189.
- **Fuentes:** Catastro Nacional de Rellenos Sanitarios de SUBDERE y RCA disponibles en el SEIA.

N° de sitios por tipo y operación

Tipo Sitio	En Operación	Por Operar	Total
Basural	25		25
Relleno Sanitario	40	9	49
Vertedero	36		36
Total	101	9	110

N° de sitios por tipo y operación según la región

Región	En Operación			Por Operar	Total
	Basural	Relleno	Vertedero	Relleno	
Región de Arica y Parinacota	1	1	1	-	3
Región de Tarapacá	1	3	1	4	9
Región de Antofagasta	-	5	3	1	9
Región de Atacama	1	4	-	1	6
Región de Coquimbo	-	1	9	-	10
Región de Valparaíso	2	3	1	-	6
Región Metropolitana	-	3	1	-	4
Región del Libertador General Bernardo O'Higgins	-	2	-	-	2
Región del Maule	-	4	-	-	4
Región del Ñuble	-	1	-	-	1
Región del Biobío	-	3	1	-	4
Región de La Araucanía	2	3	5	-	10
Región de Los Ríos	-	-	1	1	2
Región de Los Lagos	6	2	7	-	15
Región de Aysén del General Carlos Ibáñez del Campo	7	5	5	2	19
Región de Magallanes y de la Antártica Chilena	5	-	1	-	6
Total	25	40	36	9	110

Composición de los residuos en SDF

~65% residuos son
Materia Orgánica
Descomponible
en rellenos sanitarios (promedio)

30 de los 40 rellenos
sanitarios a estudiar
cuentan con RCA.

Los 10 restantes atienden a
poblaciones inferiores a 20.000 [hab]
y reciben menos de 4.000 [ton] M.O.
por año.





Revisión de normas internacionales





Normas internacionales

Resumen de los límites de concentración CH₄ para rellenos sanitarios – Normativas Internacionales

País	Nombre	Monitoreo instantáneo	Monitoreo integrado	Límite en estructuras	Observaciones
EEUU – CA	Regulations on Methane in Landfills	500 ppmv	25 ppmv	–	Doble estándar: instantáneo + media espacial
EEUU – MD	COMAR – Methane Emission Control from RSM Landfills	500 ppmv	25 ppmv	–	Fuga de componentes: 500 ppmv o mayor requiere etiquetado y reparación.
EEUU – OR	Division 239 – LANDFILL GAS EMISSIONS	500 ppmv	25 ppmv	–	Fuga de componentes: Concentración de metano de 500 ppm o más.
EEUU – DC	Chapter 70A.540 RCW LANDFILLS—CH ₄ EMISSIONS	500 ppmv	25 ppmv	–	Fugas del sist. de recolección de gas: No exceder 500 ppmv en comp. bajo P positiva
EEUU – DC	Landfill Methane Emissions	500 ppmv	25 ppmv	–	–
AU – NSW	Enviormental Guidelines: Solid Waste Landfills	500 ppmv 1% v/v	–	–	–
NZ	Resource Management (National Enviormental Standars for Air Cuality) Regulations 2004	5.000 ppmv	–	–	Deriva de la “Resource Management Act 1991”, que promueve el manejo sustentable de los recursos físicos y naturales, considera al CH ₄ como una consecuencia del manejo de los recursos y no un forzante climático
CA – QB	Regulations respecting the landfilling and incineration of residual materials (Cap. Q-2, r.19)	500 ppmv	–	25% LEL (≈1,25%v/v)	El CH ₄ no debe superar el 25% del límite explosivo inferior (LEL) en estructuras ni en el límite de la propiedad, excluye los sistemas de control o recuperación de gas
EEUU – EPA	Criteria for municipal solid waste landfills	–	–	25% LEL (≈1,25%v/v)	Aplica a estructuras y límite de propiedad, excluye componentes del sistema de control o recuperación de gas

Resumen de políticas macro de GEI – Normas Internacionales

País	Norma	Tipo de límite	Unidad	Valor	Aplicabilidad/Disparador
AU	Nacional Greenhouse and Energy Reporting (Safeguard Mechanism)	Reducción de línea base	% (CO ₂ e)	4,9% anual	Por instalación cubierta. Tasa anual de reducción aplicada a la línea base.
CA – QB	Regulation respecting a cap-and-trade system for greenhouse gas emission allowances (Capítulo Q-2, r.46.1)	Umbral de cobertura	tCO ₂ e/año	25.000	Cobertura y uso de compensaciones (≤8%)
EEUU – CA	Regulación SB 1383 (Short-Lived Climate Pollutants: Organic Waste Methane Emission Reduction)	Meta estatal por contaminante Reducción al 2030 vs 2013	MMTCO ₂ e	-CH ₄ : 71 -CN: 19 -HFC: 24	-CH ₄ : 40% reducción (118 a 71 MMTCO ₂ e). -CN: 50% reducción (38 a 19 MMTCO ₂ e). -HFC: 40% reducción (40 a 24 MMTCO ₂ e).
EEUU – CO	5 CCR 1001-26 – Regulation Number 6, Part A: Standards of Performance for New Stationary Sources	Metas de reducción GEI	–	–	Reducción de GEI de 26% al 2025, 50% al 2030 y 90% al 2050 respecto a 2005



Normas internacionales

500

[ppmv]

Monitoreo
Instantáneo.

25

[ppmv]

Monitoreo
Integrado.

25%

L.E.I.

~1,25%v/v.

- No existen normas de **emisión** de metano, pero sí metas de reducción sectoriales.
- Existen 2 categorías de regulaciones:
 - Seguridad → Monitoreo de concentraciones
 - Sistema de Transacción de Emisiones (ETS) → “Cap and Trade”



Normas internacionales

Resumen de mecanismos de comercio de emisiones aplicables al CH4 de rellenos sanitarios – Normativas internacionales

País	Norma	Objetivo y meta	Umbral ingreso	Sectores	Asignación de permisos o créditos	Comercio y unidad
EEU U – CA	Cap and Trade	Límites de emisión anual, alineado al presupuesto local para Carbono Neutralidad 2050	Industrias con emisiones > 25.000 tCO2e/año	-	Subastas públicas, asignación gratuita, reserva estratégica y mercado secundario	Los regulados pueden cubrir 4-6% de sus emisiones
CA – QB	Cap Q-2, R.46-1 Cap and Trade	Límites de emisión por actividad	Industrias con emisiones ≥25.000 tCO2e/año	Generación/transmisión/distribución eléctrica, minería, distribución de gas natural, gases refrigerantes, manufactura, petróleo crudo y derivados	-	Cada establecimiento puede cubrir con créditos solo el 8% de sus emisiones totales
NZ	Climate Change Response Act 2002	Cero emisiones netas de GEI a 2050; la autoridad presenta presupuestos nacionales periódicos	-	-	Presupuesto anual nacional: Asignación gratuita (grandes industrias expuestas), subasta de permisos de emisión y remociones forestales	Se transan NZUs; las empresas reducen, compran NZUs o implementan proyectos forestales (única fuente directa de NZUs)
AU	Safeguard Mechanism	Reducción 10% a 2030 y 14-24% a 2050, respecto a 2017 (metano biogénico)	>100.000 tCO2e/año	Minería, petróleo y gas, manufactura pesada, energía, transporte pesado y residuos	El Clean Energy Regulator fija baselines por actividad según lo reportado; deben disminuir 4,9%/año a 2030 y 3,285%/año a 2050	Genera SMC comerciables por disminución de la baseline anual; admiten ACCUs externos generados por proyectos certificados de reducción de emisiones
AU	Carbon Credits (Carbon Farming Initiative)	Ley que crea créditos de carbono para reducción o captura fuera de la industria regulada	-	-	Proyectos de Remoción de carbono (forestación, manejo vegetación, carbono en suelo) o Reducción de emisiones (Captura CH4 de rellenos, eficiencia energética, cambios tecnológicos y de combustibles)	Genera ACCUs (Australian Carbon Credit Units), demandados por el SM

SMC = Safeguard Mechanism Credits

1 NZU = 1 tCO2e

1 ACCUs (Australian Carbon Credit Units) = 1 tCO2e



Límite de emisión sectorial

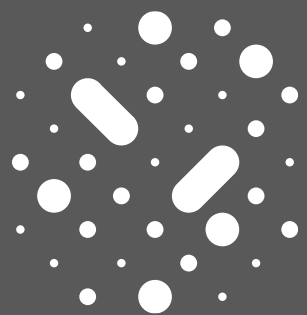
Asociado a la carbono
neutralidad 2050.

Umbral de ingreso

25.000 [tCO₂eq/año]
en US-CA y CA-QB;
100.000
[tCO₂eq/año] en AU.

ETS Limitado

Regulado sólo puede
cubrir un % de
emisiones con
créditos (4-6% US-CA;
8% CA-QB).

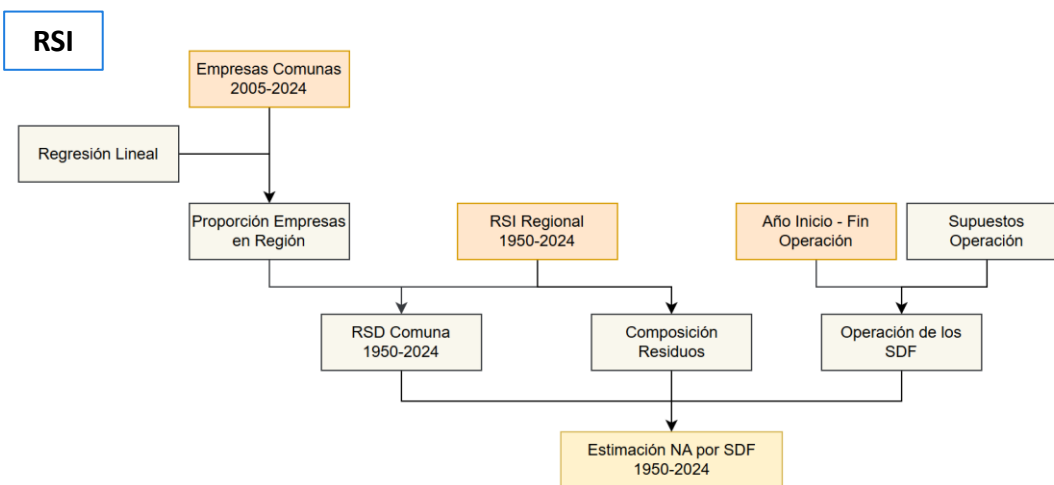
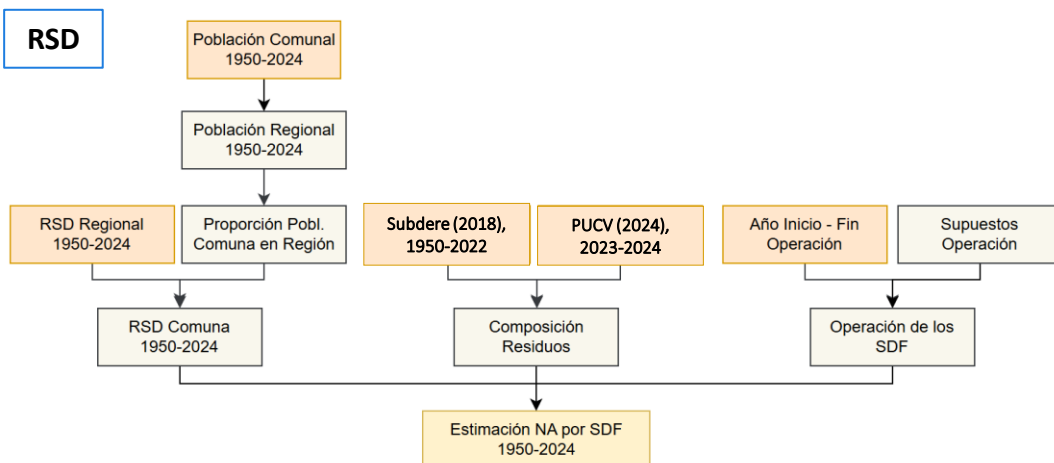


Emisiones históricas (1950- 2024) y proyectadas (2025-2050)



Nivel de actividad comunal, 1950-2024

Metodología y supuestos



• Residuos por comuna:

- RSD: Se realiza mediante una **proporción basada en la población** de cada comuna y los RSD regionales.
- RSI: Se realiza mediante una **proporción basada en la cantidad de empresas comunales** y los RSI comunales.

• Composición de residuos:

- RSD: 1950-2022 según estudio Subdere (2018) y 2023-2024 según PUCV (2024).

• Distribución de los SDF en tiempo:

- Relación secuencial: Basural → Vertedero → Relleno.
- Se asigna un tipo de SDF por comuna por año, respetando la distribución temporal del INGEI.
- Se asigna como “Sitio Desconocido” aquellos años previo a la existencia del SDF identificado en que no se encontraba en operación.



Inventario y proyección de emisiones, 1950-2050

Metodología adoptada

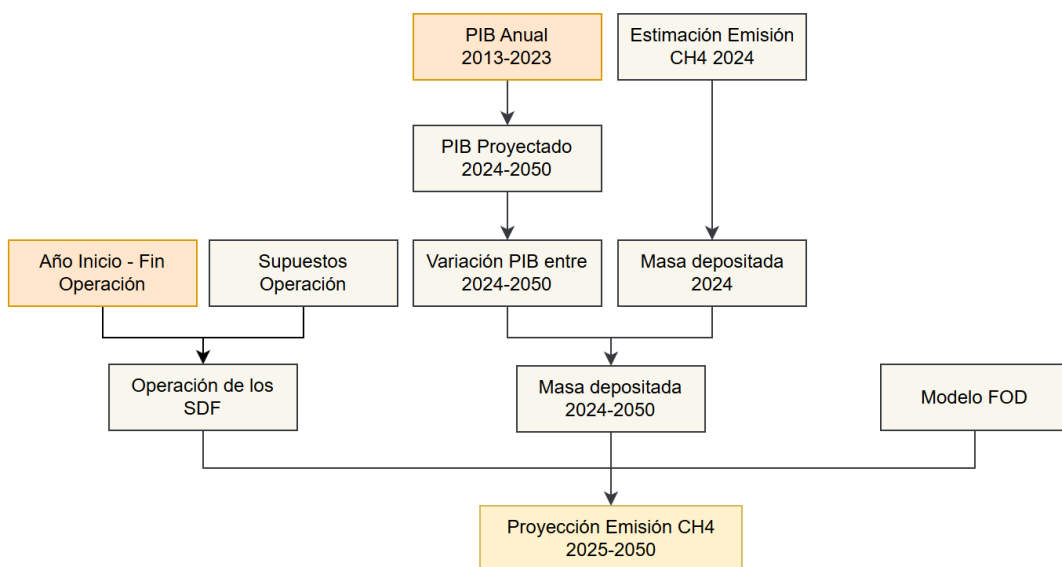
- Modelo de Decaimiento de Primer Orden (FOD)
 - **Consistencia con las Directrices del IPCC**, referencia internacional para inventarios de GEI.
 - **Consistencia con metodología y parámetros nacionales**, modelo FOD utilizado por INGEI y SNP.
 - **Representación temporal de la generación de metano**, considerando la degradación progresiva de los residuos.
 - **Mayor capacidad de incorporar información y parámetros locales**, permite mejorar las estimaciones a medidas que se dispone de nuevos antecedentes.

Selección metodología para la estimación de emisiones de CH₄

Metodología	Características	Limitaciones	Aplicabilidad
Modelo FOD - Directrices IPCC	Considera la degradación gradual de los residuos y la composición de los residuos.	Requiere mayor cantidad de información y parámetros	Referencia internacional para inventario de GEI.
LandGEM (US EPA)	Modelo simplificado basado en una cinética de primer orden	Utiliza parámetros predeterminados y fue desarrollado para condiciones específicas de EE.UU.	Menor representatividad para condiciones locales
Factor de emisión por tonelada de residuos (NZ ETS y otros países)	Método simple basado en factores promedio de emisión	No representa la evolución temporal ni las características de los residuos	Adecuado para inventarios simplificados



Proyección de emisiones, 2025-2050 Supuestos



- **Mantenimiento condiciones actuales de los SDF:**
 - Se supone que los SDF operarán bajo las condiciones actuales sin cambios en su operación ni cierre de basurales o vertedero, esto incluye que no se consideran los efectos de la Ley REP ni de la ENRO.
- **Residuos por comuna desde estimación NA 2024:**
 - Desde estimación NA 1950-2024 para RSD y RSI, se usa el año 2024 como base para proyección.
- **Proyección residuos 2025-2050:**
 - Se asume que la producción per cápita de residuos aumentará de forma proporcional al crecimiento proyectado del PIB regional.



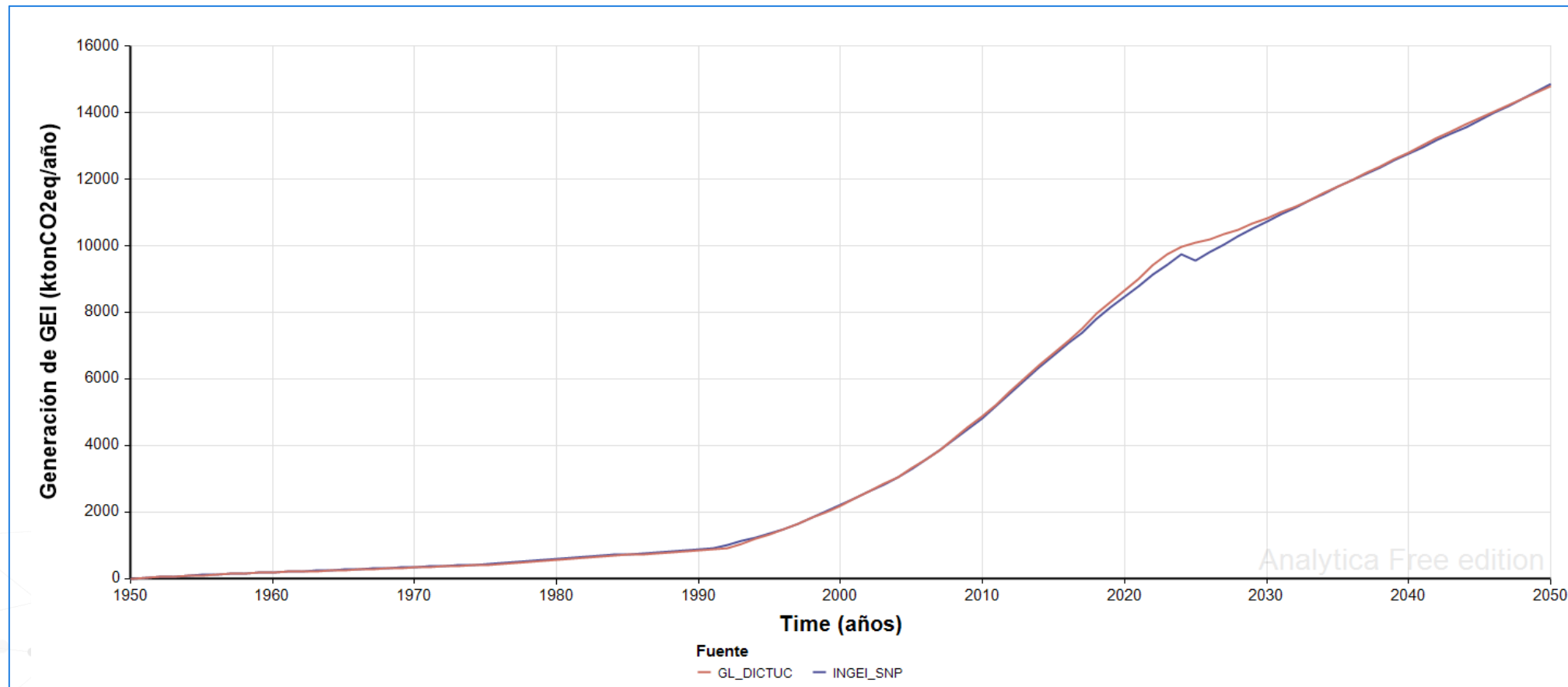
Generación CH₄ (ktonCO₂-eq) Comparación con INGEI - SNP

Resumen comparación metodología entre INGEI-SNP y GreenLab-Dictuc, inventario y proyección

Parámetros		Residuos	Composición de residuos	Distribución de los sitios de disposición	Metodología est. de emisiones	Parámetros est. de emisiones
Inventario RSD	INGEI-RSD	Residuos regionales desde múltiples fuentes, 1950-2022	Promedio regional. 1950-2022: cte. según SUBDERE (2018)	Distribución regional, según MMA, SUBDERE y SINADER	Metodología FOD	Directrices IPCC 2006
	GreenLab-Dictuc	Residuos municipales desde proporción poblacional, residuos regionales desde INGEI como base	Promedio comunal. 1950-2022: cte. según SUBDERE (2018). 2023-2024: cte. según PUCV (2024)	Distribución por SDF, se ajusta para cumplir distribución INGEI		
Inventario RSI	INGEI-RSD	Residuos por composición regional, desde múltiples fuentes y análisis, 1950-2022	-	Distribución regional, según MMA, SUBDERE y SINADER		
	GreenLab-Dictuc	Residuos municipales desde cantidad de empresas, residuos regionales desde INGEI como base	-	Distribución por SDF, se ajusta para cumplir distribución INGEI		
Proyección	SNP	Proyección hasta 2060 con proyección PIB per cápita usando la fórmula del banco mundial (What a Waste 2.0)	Composición SUBDERE (2018) para 1950-2022, luego para 2022-2050 se realiza un ajuste lineal	Distribución regional, desde proyección modelo propio		
	GreenLab-Dictuc	Proyección hasta 2050 con proyección PIB per cápita anual según datos del Ministerio de Hacienda	Residuos municipales por composición desde estimación 2024, luego se obtienen hasta 2050 con proyección PIB per cápita	Distribución por SDF, se ajusta para cumplir la distribución del SNP		



Generación de GEI: Comparación INGEI-SNP



Nota: INGEI_SNP considera la estimación de INGEI para 1950-2024 y la estimación de SNP para 2025-2050.



Incertidumbre y limitaciones metodológicas

- **Serie 1950-1991: reconstrucción, no dato observado.** No existe registro de residuos anterior a los censos; el tramo antiguo se toma desde el INGEI y su incertidumbre es mayor que la del tramo reciente.
- **Parámetros de generación.** La constante k y el DOC_f son los parámetros más sensibles del modelo FOD. Se adoptan valores por zona climática consistentes con INGEI-SNP.
- **Composición de residuos.** Promedio comunal constante según SUBDERE (2018) hasta 2022 y PUCV (2024) desde 2023: los cambios de composición dentro de cada período no se capturan. No existen mejores datos disponibles.
- **Proyección de actividad.** Se asume que la producción per cápita crece con el PIB regional y que los sitios operan sin cambios; **no incorpora los efectos de la Ley REP ni de la ENRO.**
- **Curvas de costo.** Calibradas con LFG-Cost (EPA), proyectos MDL en Chile y literatura. El ajuste es bueno para captura activa ($R^2=99\%$ con antorcha, 93% con valorización) y **débil en captura pasiva ($R^2=60\%$).**
- **Eficiencias tecnológicas.** Se trabajan como rangos mínimo-nominal-máximo. La norma debe permitir actualizarlos en su guía de cumplimiento.



Tecnológicas de Reducción de emisiones de CH₄ en rellenos sanitarios





Medidas de control de emisiones de CH₄

- Las medidas para la reducción de emisiones se organizan en **tres grupos funcionales**, en base al rol que cumplen:
 - Mejoras en la eficiencia de captura.
 - Dispositivos de control.
 - Incremento de bio-oxidación del CH₄ en superficie.

Resumen de medidas de control de emisiones

Grupos	Tecnología		Efic. de captura (%)	Costos Cobertura (USD/m ²)
Mejoras en la eficiencia de captura	Captura Pasiva		35%	N/A
	Captura Activa	Cobertura diaria	65%	3 - 5
		Cobertura final de arcilla	85%	3 - 5
		Cobertura final de geomembrana	90%	1,5 - 2

Grupos	Ruta tecnológica	CAPEX actual	OPEX actual	Unidad ^(a)	Costo de abatimiento (USD/tCO ₂ eq)	Potencial de reducción (%)
Dispositivos de control de biogás	Antorcha	116.355	19.877	USD/ha	11,8 - 47,1	84,15 - 91,5%
	Motor	3.335	353	USD/kW	23,5 - 31,4	82,88 - 90,44%
	Turbina	2.747	255	USD/kW	23,5 - 35,3	82,88 - 90,44%
	Microturbina	10.791	746	USD/kW	3,9 - 25,5	82,88 - 90,44%
	Cogeneración: CHP Motor	4.513	355	USD/kW	13,7 - 111,8	83,3 - 90,89%
	Uso directo: inyección por flujo continuo	67.268	6.306	USD/(m ³ /h)	N/A	84,15 - 89,1%
	Uso directo: Compresión y transporte	402.309	N/A	USD/km	N/A	84,15 - 89,1%
Incremento de bio-oxidación del CH ₄ en superficie	Biocobertura	232.711	N/A	USD/ha	1.461,7	32%
	Biofiltro	5,49	6.807	USD/(m ³ /h)	N/A	19%

(a) Valores actualizados al dólar en 2025



Visitas técnicas a 2 rellenos sanitarios

- Visitas técnicas:
 - 2 visitas al Relleno Sanitario Santa Marta.
 - 1 visita al Relleno Sanitario San Pedro.
- Rellenos pequeños no suelen financiar inversión propia.
- Difícil capturar todo lo generado, actualmente se llega al 48-50%, mejor cobertura aumenta la captura:
 - La **baja cobertura disminuye la eficiencia** por ingreso de aire (biogás + oxígeno = explosivo) y se pierden zonas de extracción.
 - Considerar que **si el proyecto quema o valoriza son mercados distintos**, retornos de inversión distintos.
- Valorización energética requiere almacenamiento (BESS):
 - Durante las **horas de mayor generación fotovoltaica**, los bajos costos marginales del sistema **desplazan las centrales de biogás**.





Propuesta de norma de emisión





Instrumentos que interactúan con la futura norma

- **Compromisos y marco climático.** NDC de Chile y Artículo 6 del Acuerdo de París; Ley N°21.455; ECLP; DS N°12 (reglamento de normas de emisión de GEI y forzantes climáticos de vida corta).
- **Sector salud y residuos.** DS N°48/2024 del MINSAL (Plan Sectorial de Mitigación); DS N°189/2005 y su modificación; Ley N°20.920 (REP); ENRO; Estrategia Nacional de Gestión de Residuos Sólidos; Hoja de Ruta Chile Circular 2040; Boletín N°16.182-12 de valorización de residuos orgánicos.
- **Instrumentos de precio.** Ley N°20.780 y su modificación por la Ley N°21.210 (impuesto verde) y DS N°4/2023 sobre proyectos de reducción de emisiones, que definen el sistema de compensación existente.
- **Coherencia con los PPDA.** Los planes de prevención y descontaminación atmosférica revisados no imponen exigencias sobre metano de rellenos; la norma no genera duplicidad, pero sí conviene alinear la fiscalización territorial.
- **Implicancia.** El diseño de la norma debe leer estos instrumentos como **condiciones de borde, no como antecedentes: la ENRO y la ley de residuos orgánicos cambian la fracción orgánica que llega a los rellenos y, con ella, la línea base.**



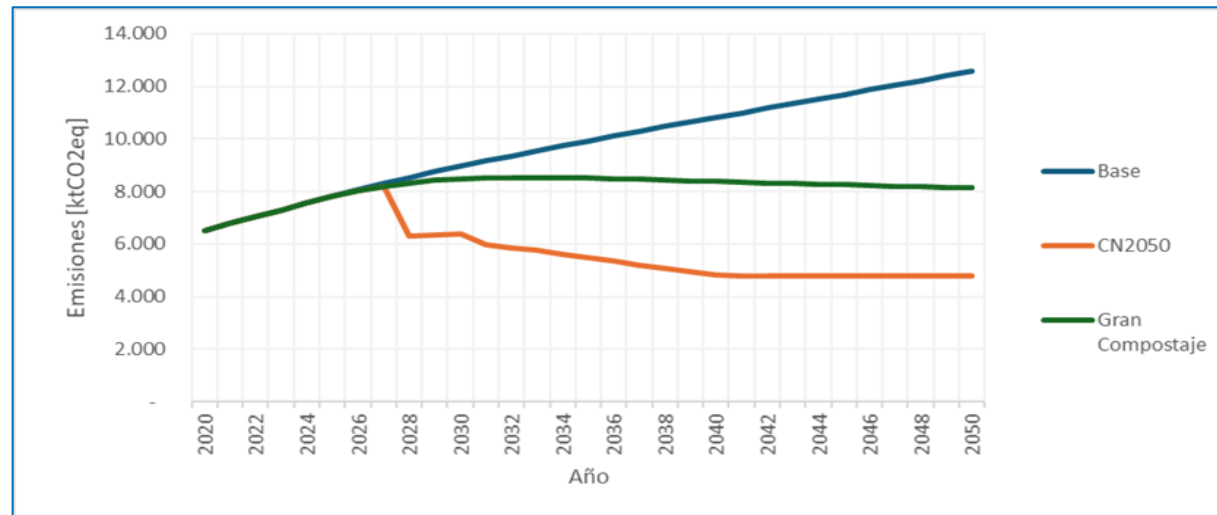
Supuestos

- La norma entrará en vigencia el año 2030 (2 años plazo de adecuamiento).
- Las emisiones sectoriales **no pueden superar los límites para lograr la Carbono Neutralidad**, según información enviada por MMA-SNP:
 - 6,4 [MtonCO₂eq] al 2030.
 - 4,8 [MtonCO₂eq] al 2050.

Clasificación de rellenos según cantidad RSD

Tamaño	Umbral [kton RSD]	Relevancia RSD a nivel nacional	Relevancia en emisiones CH ₄
Grande	X > 350	58%	64%
Mediano	120 ≤ X ≤ 350	35%	27%
Pequeño	X < 120	7%	9%

Elaboración propia en base a Hoja de Ruta de Instrumentos de Precios y Mercados de Carbono 2025 (MMA, 2025)



Escenarios de proyección y evaluación para el sector residuos (SNP)

Cte. k orgánica por región

Región Sitio	Zona	k Orgánico
Arica y Parinacota	Norte	Seco
Tarapacá	Norte	Seco
Antofagasta	Norte	Seco
Atacama	Norte	Seco
Coquimbo	Norte	Seco
Valparaíso	Central	Seco
Metropolitana	Central	Seco
Libertador Gral. Bernardo O'Higgins	Central	Seco
Maule	Central	Seco
Ñuble	Central	Seco
Biobío	Central	Seco
Araucanía	Sur	Húmedo
Los Ríos	Sur	Húmedo
Los Lagos	Sur	Húmedo
Aysén del Gral. Carlos Ibáñez del Campo	Sur	Húmedo
Magallanes y de la Antártica Chilena	Sur	Húmedo

Elaboración propia en base a consideraciones INGEI-SNP



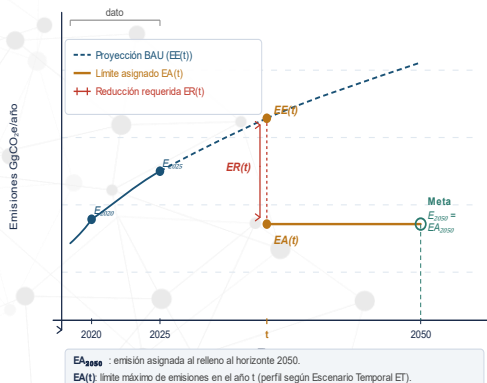
Propuestas

- Aplicación de la norma a todos los rellenos sanitarios del territorio nacional.
- Se recomienda eximir a titulares con características especiales, en coherencia con los criterios de gradualidad y justicia.
- Norma y su [guía de cumplimiento](#) permitan la actualización de:
 - Tasas de oxidación.
 - Eficiencias de captura.
 - Eficiencias de destrucción.
 - Factor de generación de metano.
- Criterio eximición:
 - [Titulares de menor tamaño y de titularidad municipal](#), para quienes financiar la norma representa desafíos y complejidades.
 - Criterio operativo: [Rellenos que no quedan sujetos a la exigencias](#) de captura activa de biogás según la propuesta de actualización del [DSN°189/2008 MINSAL](#) (≥ 20.000 hab o residuos orgánicos ≥ 4.000 t/año).
 - Consistencia normativa: Umbral de ingreso al [SEIA](#) (≥ 5.000 hab o ≥ 50 t/día (18.250 t/año)).

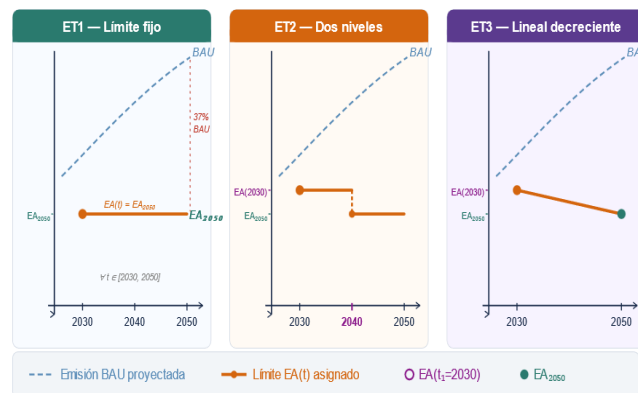


Escenarios de norma

- Tres ejes de diseño se combinan para construir los escenarios de norma:
 - Distributivo: proporcional · por tamaño · por tamaño y clima.
 - Temporal: límite fijo a 2050 · límites escalonados 2030 y 2050.
 - Umbral de excedencia: estándar puro · cap & trade.
- La trayectoria lineal decreciente se descartó por la complejidad de fiscalizar un límite distinto cada año.



Definición conceptual de los Escenarios Temporales (ET)



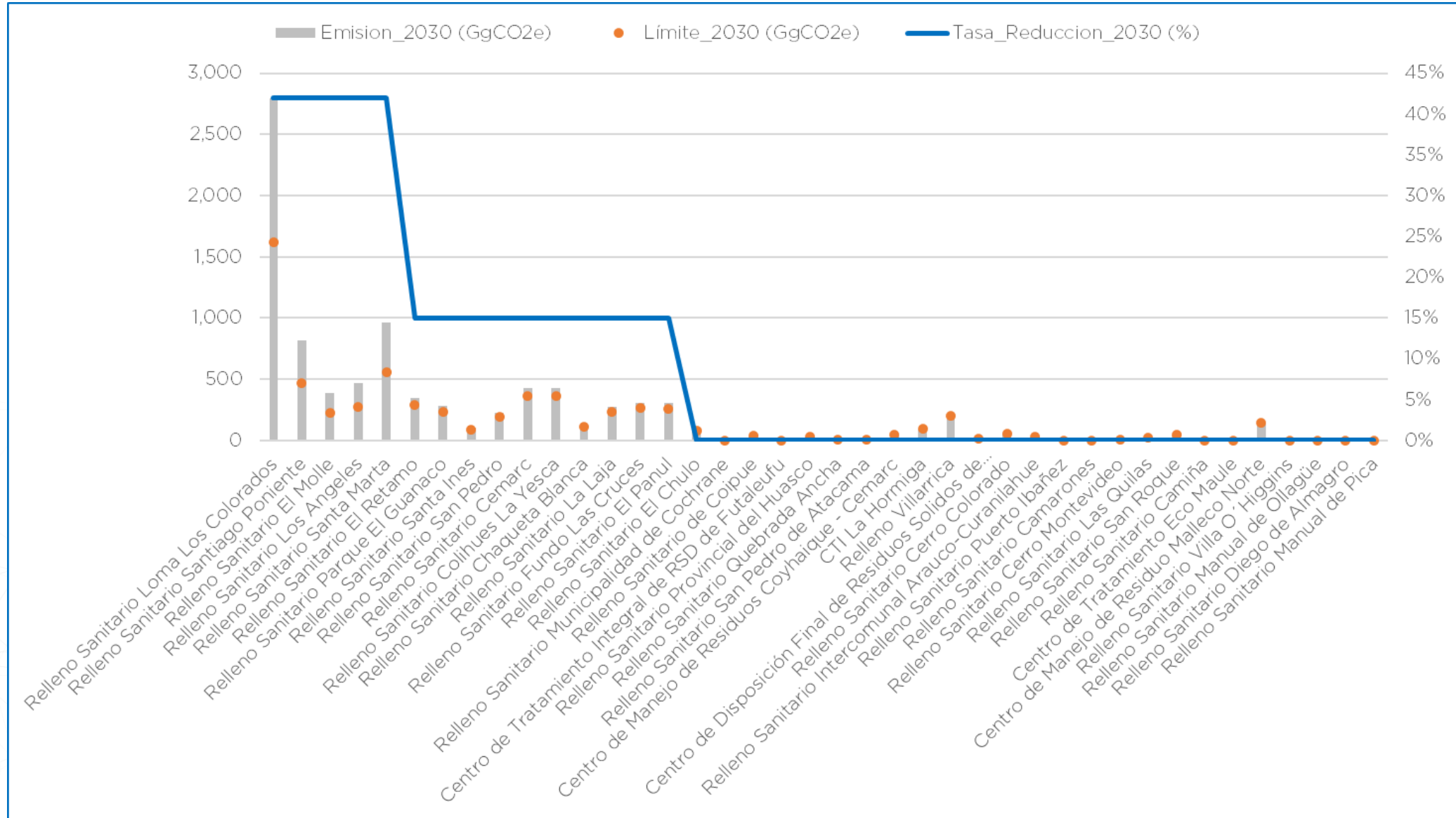
Resumen de escenarios distributivos de norma

Esc. Dist.	Region	Tamaño	k Orgánico	Año	% Reduccion Requerido
ED1	-	-	-	2030	30%
				2050	63%
ED2	-	Grande	-	2030	42%
				2050	77%
		Mediano		2030	15%
				2050	53%
		Pequeño		2030	0%
				2050	16%
ED3	RM	-	-	2030	50%
				2050	79%
	-	Grande	Seco	2030	30%
				2050	70%
			Húmedo	2030	40%
				2050	75%
		Mediano	Seco	2030	0%
				2050	44%
			Húmedo	2030	6%
				2050	57%
		Pequeño	Seco	2030	0%
				2050	25%
			Húmedo	2030	0%
				2050	10%

Nota: Considerar que el $BAU_{2030} = 9.116 \text{ ktCO}_2$ y el $BAU_{2050} = 12.944 \text{ ktCO}_2$

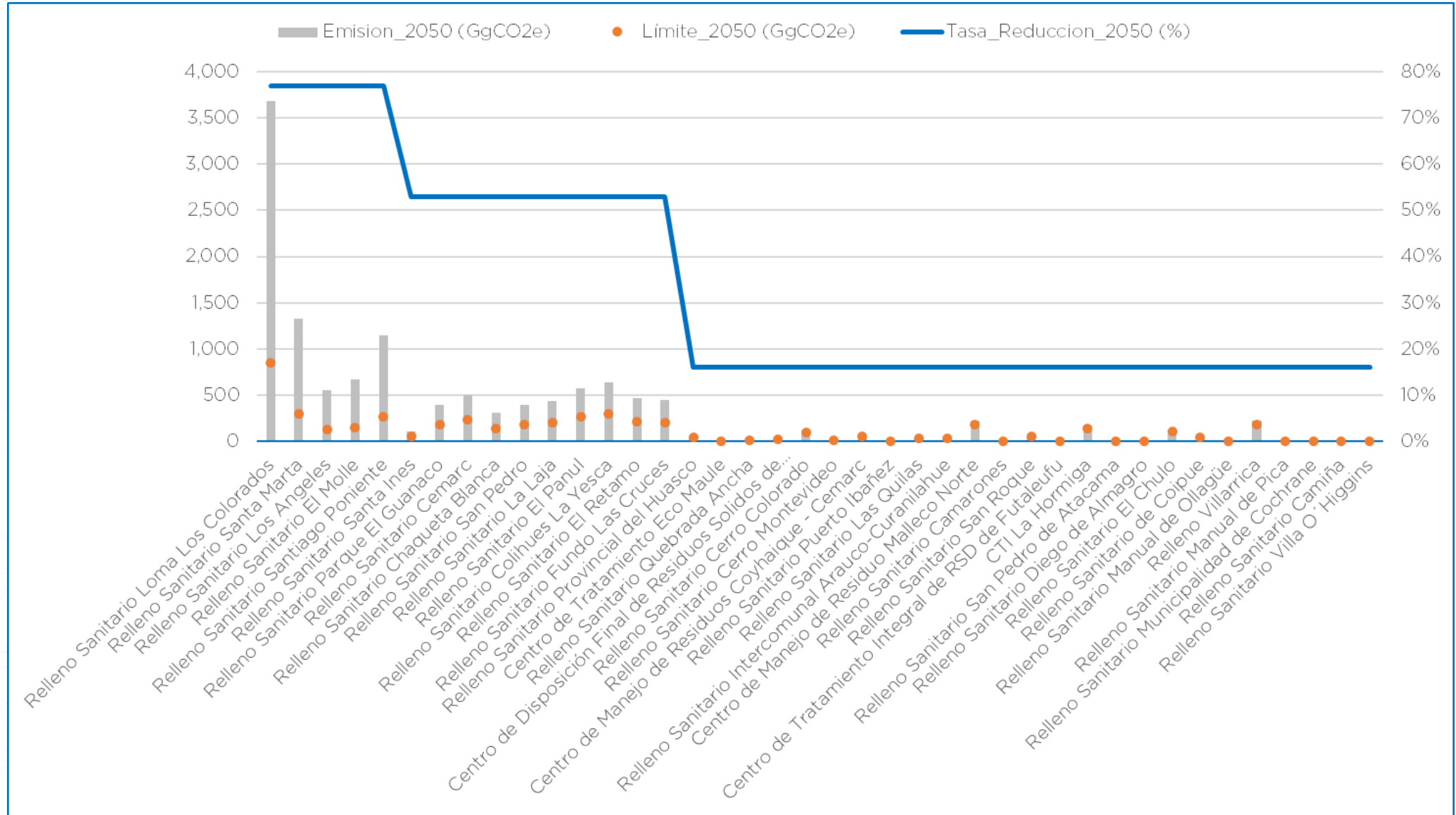


Propuesta de escenario normativo ED2 - Meta CN2030



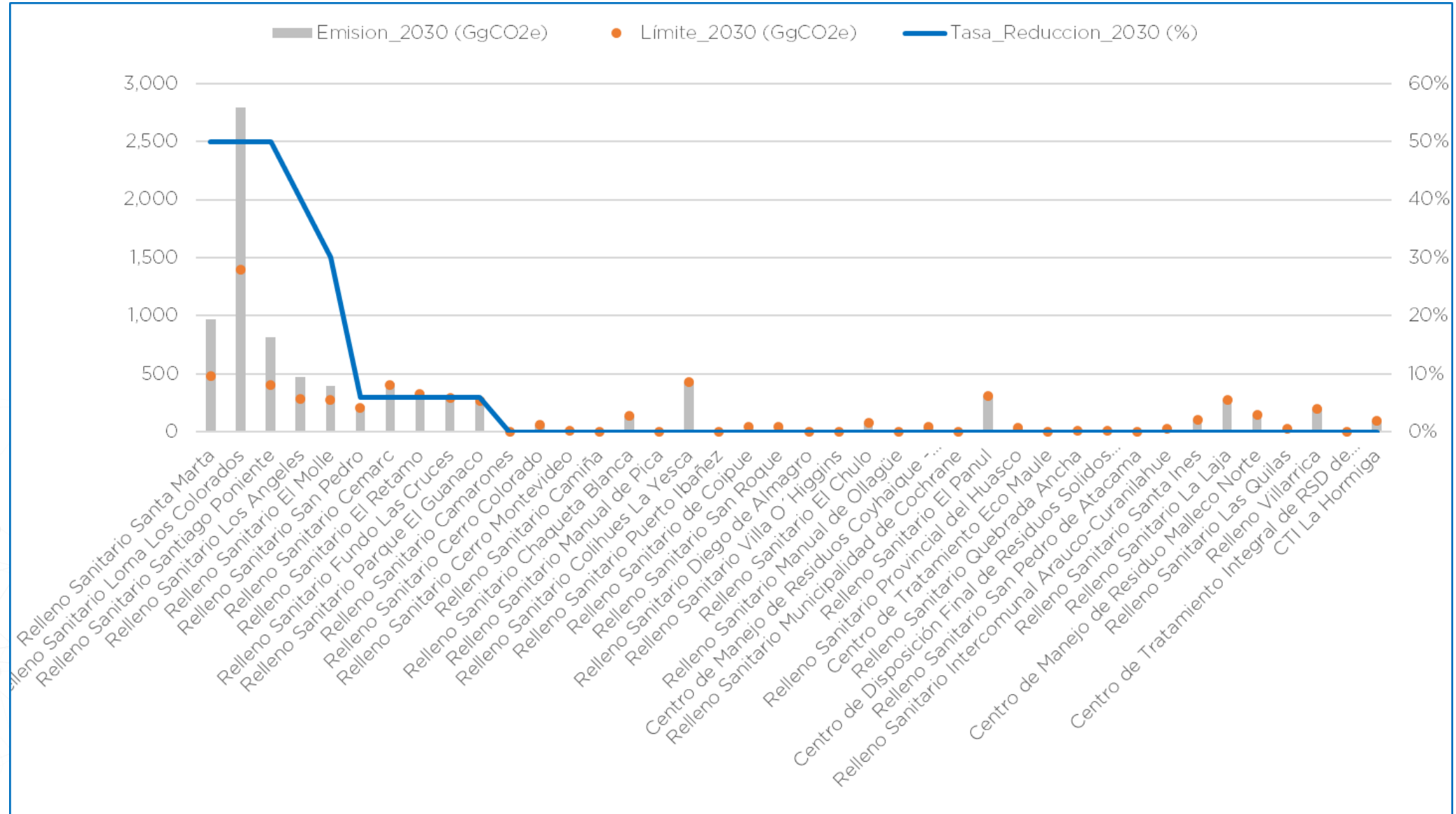


Propuesta de escenario normativo ED2 - Meta CN2050



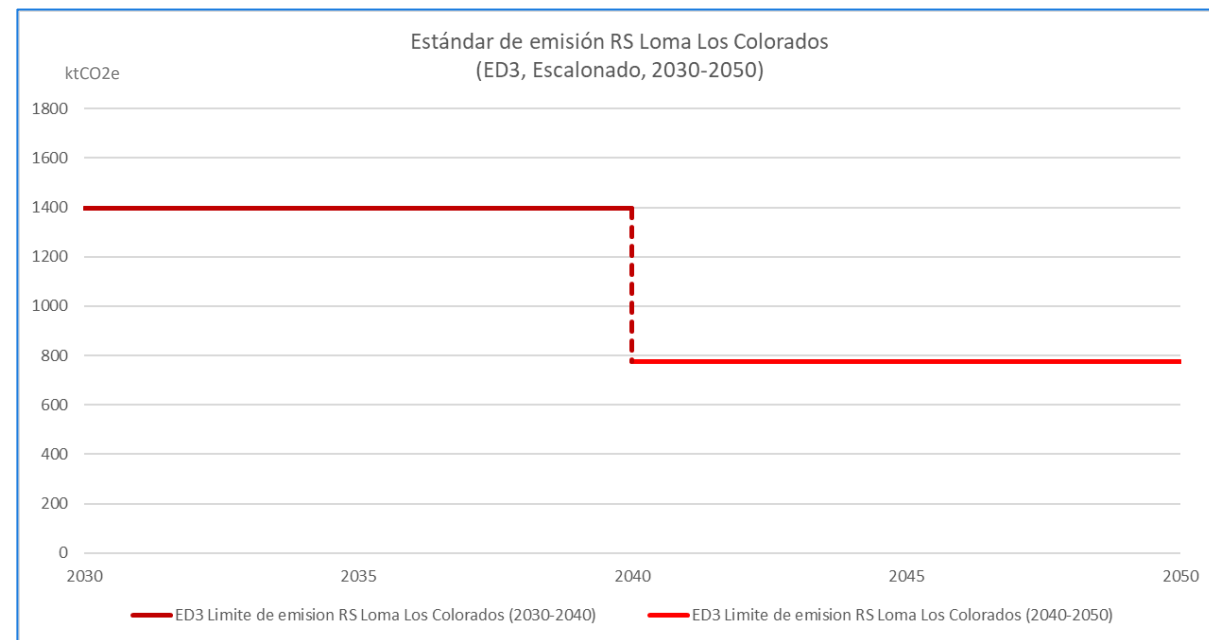
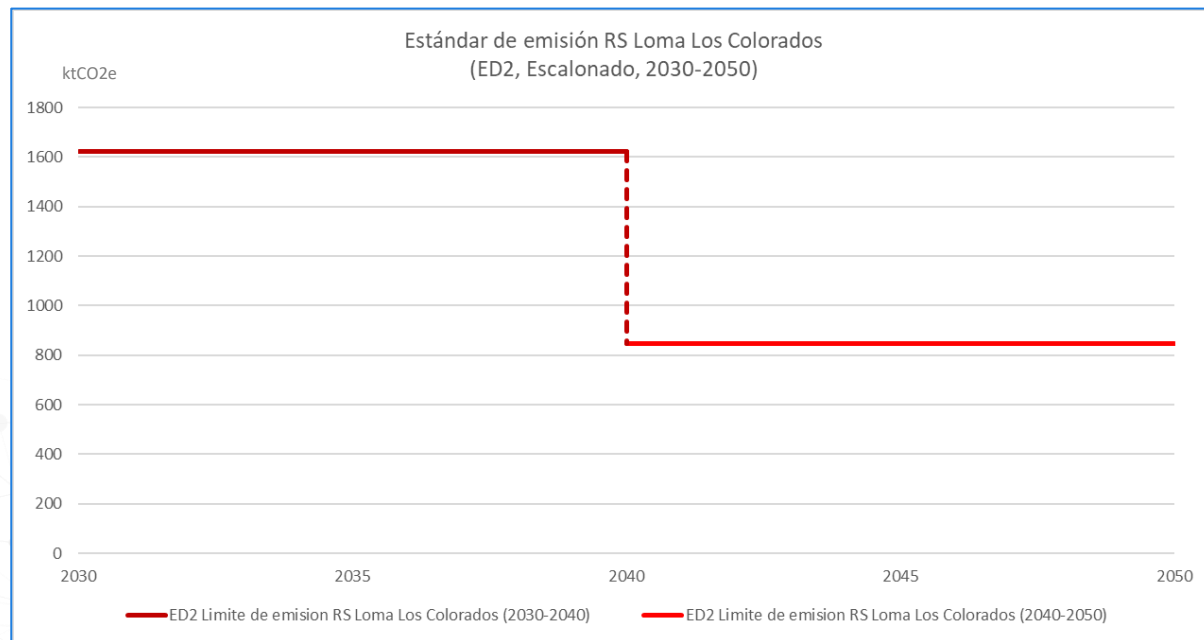


Propuesta de escenario normativo ED3 - Meta CN2050





Ejemplos de límites de emisión para futuros regulados (ED2 v/s ED3)



Loma Los Colorados: el ED3 impone un límite más estricto que el ED2 en 2030-2040. Se recomienda el escenario temporal escalonado para permitir una implementación gradual.



Metodología estándar de referencia

Eficiencia mínima, nominal y máxima de
captura, destrucción y oxidación por tecnología

Parámetro	Tecnología	Min (%)	Nom (%)	Máx (%)
Eficiencia Captura	Activa	40	50	80
	Pasiva	20	30	50
Eficiencia Destrucción	Valorización Energ.	-	96	-
	Antorcha	95	97	99
Oxidación	Biofiltro	50	60	70
	Convencional	-	10	-
	Biocobertura	-	32	-

- Siete cadenas tecnológicas, combinando captura, destrucción y oxidación superficial.
- Cada una rinde un rango, no un valor único: mínimo, nominal y máximo según condición de operación.

Eficiencias de reducción por cadena tecnológica

Cadena Tecnológica	Capt_Min	Capt_Nom	Capt_Max
Pasivo + Biocobertura	50%	60%	70%
Pasivo + Biofiltro	20%	25%	40%
Pasivo + Biofiltro + Biocobertura	40%	45%	55%
Activo + Antorcha	45%	55%	80%
Activo + Valorización energética	45%	55%	80%
Activo + Antorcha + Biocobertura	60%	70%	90%
Activo + Valorización + Biocobertura	60%	65%	85%

Fórmulas y descripción consideradas para la operación de las cadenas tecnológicas

Cadenas_Tecn	Descripción captura/descripción/oxidación cadena	Fórmula para eficiencia combinación
Pasivo + Biocobertura	1) El metano generado se captura por sistema pasivo. 2) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional. 3) Lo no oxidado, lo oxida la biocobertura.	$(EficCapt_{PAS}) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot Ox) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot (1 - Ox) \cdot Ox_{BC})$
Pasivo + Biofiltro	1) El metano generado se captura por sistema pasivo. 2) Lo capturado se conduce a un biofiltro. 3) Lo no capturado, lo oxida la captura convencional.	$(EficCapt_{PAS} \cdot EficDest_{BF}) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot Ox)$
Pasivo + Biofiltro + Biocobertura	1) El metano generado se captura por sistema pasivo. 2) Lo capturado se conduce a un biofiltro. 3) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional. 4) Lo no oxidado, lo oxida la biocobertura.	$(EficCapt_{PAS} \cdot EficDest_{BF}) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot Ox) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot (1 - Ox) \cdot Ox_{BC})$
Activo + Antorcha	1) El metano generado se captura por sistema activo. 2) Lo capturado es destruido por la antorcha. 3) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional.	$(EficCapt_{ACT} \cdot EficDest_{ANT}) + ((1 - EficCapt_{ACT}) \cdot Ox)$
Activo + Valorización	1) El metano generado se captura por sistema activo. 2) Lo capturado es destruido por valorización. 3) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional.	$(EficCapt_{ACT} \cdot EficDest_{VAL}) + ((1 - EficCapt_{PAS}) \cdot Ox)$
Activo + Antorcha + Biocobertura	1) El metano generado se captura por sistema activo. 2) Lo capturado es destruido por la antorcha. 3) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional. 4) Lo no oxidado, lo oxida la biocobertura.	$(EficCapt_{ACT} \cdot EficDest_{ANT}) + ((1 - EficCapt_{ACT}) \cdot Ox) + ((1 - EficCapt_{ACT}) \cdot (1 - Ox) \cdot Ox_{BC})$
Activo + Valorización + Biocobertura	1) El metano generado se captura por sistema activo. 2) Lo capturado es destruido por valorización. 3) Lo no capturado, lo oxida la cobertura convencional. 4) Lo no oxidado, lo oxida la biocobertura.	$(EficCapt_{ACT} \cdot EficDest_{VAL}) + ((1 - EficCapt_{ACT}) \cdot Ox) + ((1 - EficCapt_{ACT}) \cdot (1 - Ox) \cdot Ox_{BC})$



Estándar de referencia

Tecnología de referencia mínima para los escenarios distributivos

Esc.	Region	Tamaño	k_Organ	Año	Factor %BAU	% Reducc. Requerido	Tecnología Referencia Mínima	Rango Reducc.	Efic. requerida% (Mín-Nom-Máx%)
ED1	-	-	-	2030	70%	30%	Pasivo + Biofiltro	20 – 40%	Pas = 39% (20-30-50%) Biof = 60% (50-60-70%)
				2050	37%	63%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 61% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
ED2	-	Grande	-	2030	58%	42%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 40% (40-50-80%) Ant = 95% (95-97-99%)
				2050	23%	77%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 77% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
		Mediano		2030	85%	15%	Pasivo + Biofiltro	20 – 40%	Pas = 20% (20-30-50%) Biof = 50% (50-60-70%)
				2050	47%	53%	Pasivo + Biofiltro + Biocobert.	40 – 55%	Pas = 47% (20-30-50%) Biof = 68% (50-60-70%)
		Pequeño		2030	100%	0%	-	-	-
				2050	84%	16%	Pasivo + Biocobertura	50 – 70%	Pas = 20% (20-30-50%)
ED3	RM	-	-	2030	50%	50%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 47% (40-50-80%) Ant = 95% (95-97-99%)
				2050	21%	79%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 79% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
	-	Grande	Seco	2030	70%	30%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 40% (40-50-80%) Ant = 95% (95-97-99%)
				2050	30%	70%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 68% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
			Húmedo	2030	60%	40%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 40% (40-50-80%) Ant = 95% (95-97-99%)
				2050	25%	75%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 75% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
		Mediano	Seco	2030	100%	0%	-	-	-
				2050	56%	44%	Pasivo + Biofiltro + Biocobert.	40 – 55%	Pas = 30% (20-30-50%) Biof = 55% (50-60-70%)
			Húmedo	2030	94%	6%	Pasivo + Biofiltro	20 – 40%	Pas = 20% (20-30-50%) Biof = 50% (50-60-70%)
				2050	43%	57%	Activo + Antorcha	45 – 80%	Act = 54% (40-50-80%) Ant = 97% (95-97-99%)
		Pequeño	Seco	2030	100%	0%	-	-	-
				2050	75%	25%	Pasivo + Biocobertura	50 – 70%	Pas = 20% (20-30-50%)
			Húmedo	2030	100%	0%	-	-	-
				2050	90%	10%	Pasivo + Biocobertura	50 – 70%	Pas = 20% (20-30-50%)



Mitigación en comparación al PSM Salud

- Se evalúan 3 Esc. Distributivos (ED) y 2 Esc. Temporales (ET):
 - El **Esc. Temporal de una trayectoria lineal decreciente no se evalúa** debido a la complejidad operativa asociada a establecer y fiscalizar límites distintos cada año.
- Desde la línea base de generación proyectadas, se obtiene la reducción de emisiones como la diferencia entre la generación base y de cada escenario (generación = límite).

Reducción por escenario distributivo (ED) y temporal (ET) por periodo, **ktCO₂e**

Esc. Temporal	Reducción_ED1	Reducción_ED2	Reducción_ED3
ET1: Limite 2050	132.255	133.881	134.038
ET2: Limite 2030-2050	114.655	114.629	114.467

Generación base por periodo desde proyección propia

Periodo	Generación Base (ktCO ₂ eq)
2030-2040	111.363
2041-2050	121.692
2030-2050	233.055

Potencial de reducción por escenario distributivo (ED) y temporal (ET), en comparación PSM-MINSAL

Esc. Temporal	Potencial_Red ED1 (%)	Potencial_Red ED2 (%)	Potencial_Red ED3 (%)
ET1: Limite 2050	337%	341%	342%
ET2: Limite 2030-2050	292%	292%	292%

Mitigación esperada PSM-MINSAL

Periodo	Mitigación Esperada (ktonCO ₂ eq)
2020-2030	5.650
2031-2040	19.250
2041-2050	20.000
2020-2050	49.000
2030-2050	39.250



Definiciones para ETS en el sector residuos de rellenos sanitarios

- Se propone no establecer un **límite** estricto de **certificados de excedencias ni compensación**, por principio de eficiencia económica.
- Además, para el umbral de excedencia existen referencias internacionales como otra opción, no fueron modeladas ni estudiadas:
 - $\pm 8\%$ del límite de emisión (réplica de ETS California y Cap-and-Trade Québec).

Funcionamiento sobre los límites/umbrales a definir en una norma



Hoja de ruta de precio y mercados de carbono 2025 (MMA, 2025)



Relación futura
norma
y DS N° 189
MINSAL





Antecedentes

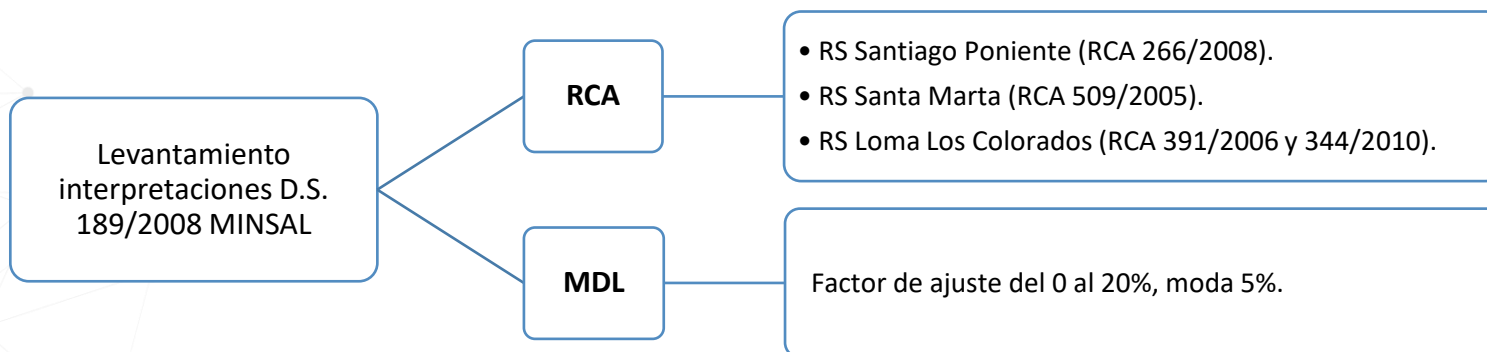
- Punto de partida:



- Actualización DS N°189/2008 MINSAL:

- Obligación de **captura y destrucción de CH₄** para **rellenos** que atiendan ≥ 20.000 habitantes o reciban ≥ 4.000 t/año de **residuos orgánicos**.
- Sistema de extracción activo, diseñado y operado para extraer **“la mayor cantidad posible de metano”** durante su ciclo de vida.
- Equipos para determinar y registrar de forma continua el gas extraído y el tratado.
- Excepción: Relleno con alguna total menor a 6 m.

- Levantamiento interpretaciones DS 189/2008 MINSAL:





Relación futura norma y DS N°189 MINSAL

- El DS189 actualizado y la futura norma de emisión **son complementarios**, el titular **debe cumplir la regulación más estricta** según sus condiciones.
- El DS189 **aporta el andamiaje técnico y de monitoreo** (mediciones, reportabilidad, estándares de eficiencia) sobre el que se apoya el MRV de la norma de emisión.
- Su exigencia de captura **necesita un umbral numérico explícito** (Ej. 5% como referencia) para hacer compatible el cumplimiento sanitario con el mercado de carbono.



Análisis económico





Metodología curva de costos por tecnología: Ley de Potencia

- Ley de Potencia:
 - Representa que el CAPEX no escala linealmente con la capacidad instalada.
 - No se utilizan directamente los costos de las medidas de control de CH4 identificados anteriormente.

Ley de Potencia: Curva de costo CAPEX en función de la escala de reducción

$$CAPEX(Q) = a * Q^b \quad [USD\ M]$$

- Donde:
 - Q = Reducción anual de emisiones requerida (ktCO₂e/año).
 - a = Coeficiente de escala (USD M/(ktCO₂e/año)), representa el costos base a escala unitaria de referencia.
 - b = Exponente de escala (adimensional, 0 < b < 1), determina la magnitud de las economías de escala.



Metodología curva de costos por tecnología: Calibración parámetros “a” y “b”

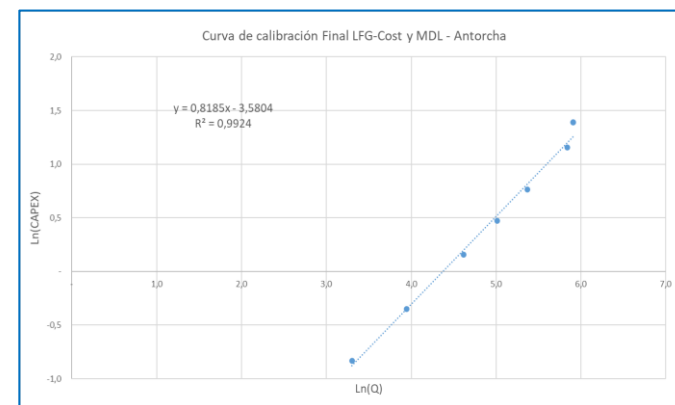
- Ajuste mediante **regresión lineal** (OLS) en escala log-log.
- Fuentes: **LFG-Cost (EPA), proyectos MDL en Chile y literatura científica.**
- Base de datos por tecnología:
 - **OPEX:** Promedio de valores obtenidos desde LGF-Cost y MDL para cada tecnología.

Resumen parámetros calibración obtenidos

Tecnología	a	b	R ²	OPEX (%/año)
Pasivo	0,057	0,22 1	60 %	18%
Activo + Antorcha	0,028	0,81 8	99 %	13%
Activo + Valorización	0,453	0,67 7	93 %	3%
Biocobertura + Pasivo	0,11	1	-	3%
Biocobertura + Activo	0,154	1	-	3%

- **Parámetros de calibración obtenidos:**

Calibración: Forma lineal para calibración por regresión

$$\ln(CAPEX) = \ln(a) + b \cdot \ln(Q)$$


Ejemplo curva de calibración, activa + antorcha



Metodología de estimación de costos por escenario

- Se basa en la **construcción de curvas de costos empíricas** para cada una de las siete combinaciones tecnológicas definidas en el estándar de referencia.
- Asignación tecnológica en dos etapas (por relleno y escenario):
 - Tecnología mínima.
 - Tecnología costo-efectiva.
- Para cada tecnología se calcula su fracción de **emisión** resultante **E/G**, en base a este factor y parámetros se seleccionan las tecnologías.

Parámetros de eficiencia y razón E/G por cadena tecnológica

Cadena Tecnológica	Ec nom.	Ec min.	Ec max.	Et nom.	E/G nom.	E/G mín. alcanzable	E/G máx. (peor caso)
Pasivo + Biocobertura	30%	20%	50%	0% (Et=0)	73%	69%	81%
Pasivo + Biofiltro	30%	20%	50%	60%	75%	60%	82%
Pas. + BF + Biocob.	30%	20%	50%	60%	55%	46%	59%
Activo + Antorcha	50%	40%	80%	97%	47%	19%	56%
Activo + Valorización	50%	40%	80%	96%	47%	21%	56%
Act.+Ant.+Biocob.	50%	40%	80%	97%	32%	13%	39%
Act.+Val.+Biocob.	50%	40%	80%	96%	33%	15%	38%



Costos por escenarios

- Principales costos a nivel sectorial para la asignación costo-efectiva.

Comparativa sectorial de costos de cumplimiento para asignación costo-efectiva

Indicador sectorial	ED1 - Proporcional	ED2 - Por Tamaño	ED3 - Tamaño×Clima	Unidad
Q_red total (reducción hasta límite)	8.144,3	8.148,0	8.150,6	ktCO ₂ eq/año
CAPEX total (inversión)	515,4	466,0	466,0	USD M
OPEX anual	15,5	14,0	13,9	USD M/año
Ingreso electricidad anual	72,5	72,5	72,6	USD M/año
USD/t bruto CRF (sector)	977,6	1.457,4	1.281,5	USD/tCO ₂ eq·año
USD/t neto CRF (sector)	621,5	1.101,3	934,3	USD/tCO ₂ eq·año
VAN Bruto CE (sector)	866,6	867,0	867,2	USD M
VAN Neto CE (sector)	-166,4	-233,9	-236,8	USD M

Nota: En VAN, los valores positivos representan costos y los negativos son ingresos o ganancias.



Costos por escenarios

Captura activa con valorización

Solución costo-efectiva
óptima, en los 3
escenarios distributivos

CAPEX: Barrera inicial

Ingreso eléctrico (~73 M
USD/año) supera OPEX (14-
16 M USD/año).

ED1 concentra mayor
inversión sectorial (515 vs
466 M USD)

RS pequeños difícil financiar

La norma debería
contemplar apoyos
diferenciados (créditos,
subsídios parciales,
agregación de proyectos
u otros)



Análisis comparativo entre escenarios

Comparación de los tres escenarios distributivos bajo asignación costo-efectiva

Criterio	ED1 – Proporcional	ED2 – Por tamaño	ED3 – Tamaño × clima
Reducción hasta el límite (ktCO ₂ eq/año)	8.144,3	8.148,0	8.150,6
CAPEX sectorial (M USD)	515,4	466,0	466,0
OPEX anual (M USD/año)	15,5	14,0	13,9
Equidad entre titulares	Baja: exige lo mismo al pequeño que al grande	Media: reconoce escala	Alta: reconoce escala y condición climática
Complejidad de fiscalización	Baja	Media	Alta: más categorías y la RM diferenciada
Carga sobre rellenos pequeños	Máxima	Acotada	Acotada, pero exige hasta 90% en P-Húmedo

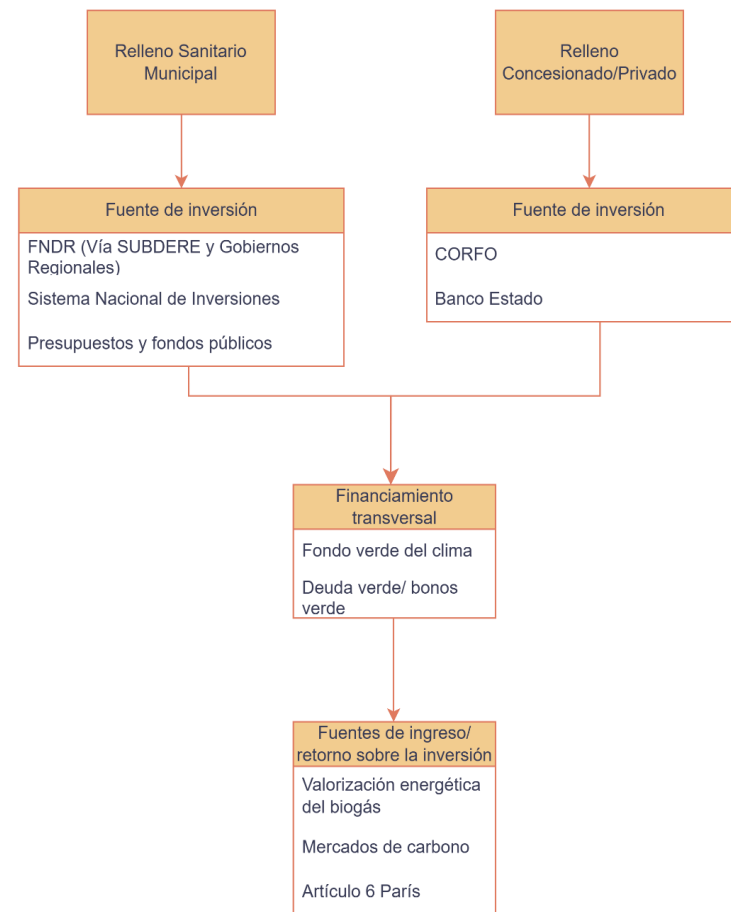
- **Recomendación:** el ED2 con escenario temporal escalonado (ET2) alcanza prácticamente la misma reducción que el ED3 con menor complejidad de fiscalización, y ahorra 49 M USD de CAPEX frente al ED1.



Fuentes de financiamiento

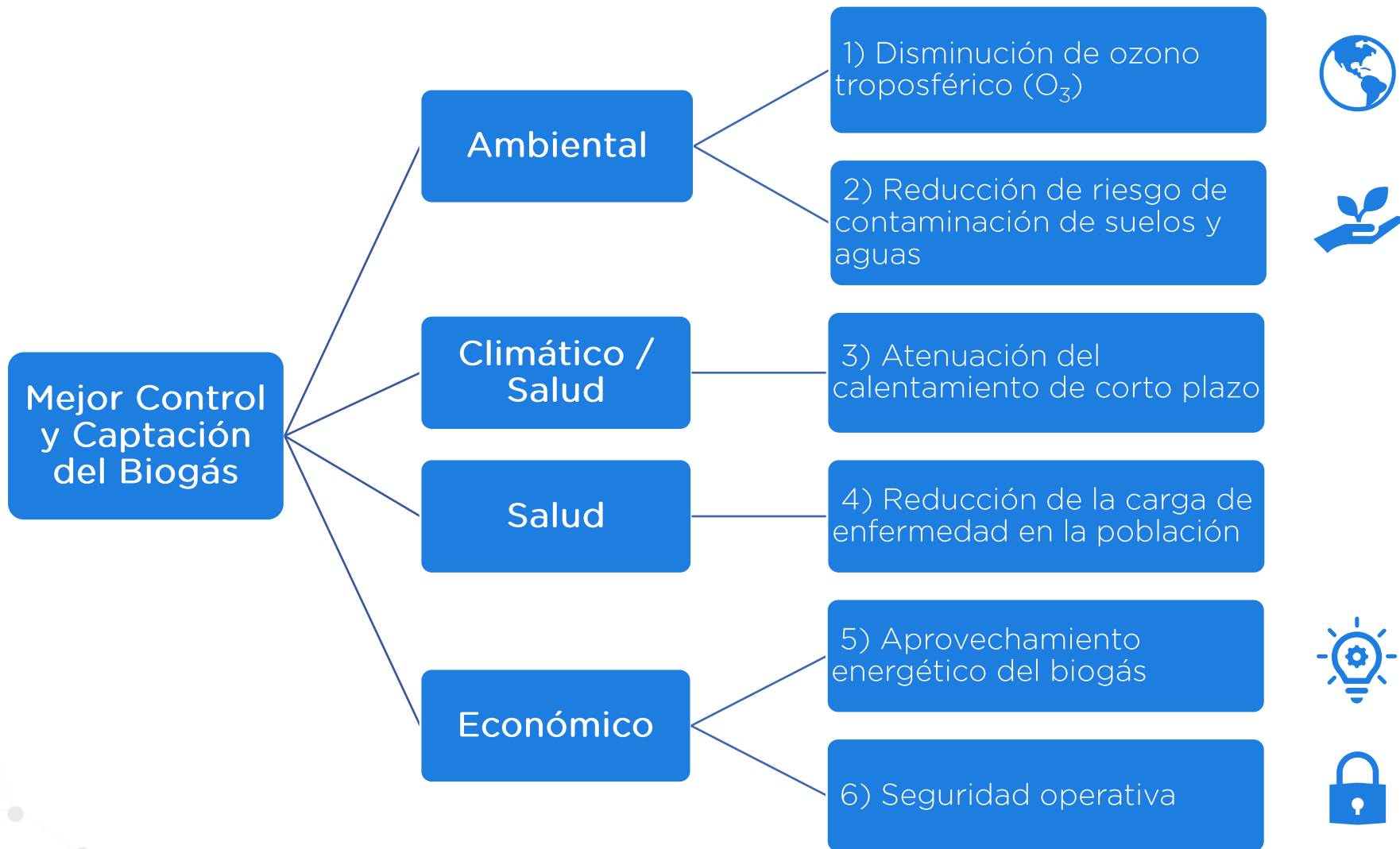
- La barrera es el CAPEX, no el costo de ciclo de vida.
- **Municipales:** financiamiento público (FNDR vía SUBDERE).
- **Privados:** valorización energética, certificados del Art. 15 y crédito comercial.
- **Pequeños:** requieren apoyo diferenciado o quedan fuera.

Alternativas de financiamiento para rellenos sanitarios





Co-beneficios a la reducción de emisiones de metano



- **Beneficiarios:** titulares y operadores; comunidades vecinas a los sitios; ecosistemas y recursos hídricos; sector agrícola y fauna silvestre; instalaciones cercanas que puedan aprovechar el biogás.



Propuesta de MRV y Fiscalización





Sistema de monitoreo

- **Cumplimiento anual**, combina parámetros estimados y medidos.
- **Parámetros:**
 - **Estimados:**
 - Son la **línea base de cumplimiento** (Ej. la generación del biogás), se obtiene **desde modelos** (decaimiento 1er orden IPCC, LandGEM, etc). **Verificada por la SMA.**
 - **Medidos:**
 - **Datos reales, verificables y ajustan la estimación**, tales como flujo, composición (% metano), concentraciones (Res. Ex. 431).

Tabla N° 4: Valores horarios de cantidad y calidad de biogás captado.

Componente	Subcomponente	Variable	Unidad
Aire	Biogás	Caudal	toneladas/h
		Caudal Normalizado	Nm³/h
		Metano	%
		Oxígeno	%
		Dióxido de Carbono	%
		Monóxido de Carbono	%

Esta disposición solo aplicará a titulares de rellenos sanitarios y vertederos que cuenten con sistema de extracción activa de biogás y cuenten con antorcha de quema y/o planta de generación eléctrica.



Sistema de monitoreo - Captura activa y pasiva

Monitoreo sistema de captura activa

Propuesta: Medir flujo total de biogás recolectado anualmente y composición (% metano), en medición continua.

Se alinea con lo reportado a la SMA por la Res. Ex. 431.

Eficiencias de destrucción de CH₄ capturado las entrega el titular con respecto del fabricante.

Monitoreo sistema de captura pasiva

Propuesta: Usar parámetros predeterminados de eficiencia (operación más estática).

Emisiones fiscalizables para un relleno con captura activa

$$E_i = (G - C) \cdot (1 - O_x) \cdot (1 - O_{xB}) + C \cdot (1 - E_d)$$

Donde:

- E_i = Emisión final de CH₄ al año i del relleno sanitario.
- G = Generación de CH₄ estimada para el relleno sanitario.
- C = Cantidad de CH₄ capturado por el relleno sanitario.
- O_x = Tasa de oxidación por cobertura tradicional en el relleno sanitario.
- O_{xB} = Tasa de oxidación por cobertura biológicamente activa en el relleno.
- E_d = Eficiencia activa de destrucción metano.

Emisiones fiscalizables para un relleno con captura pasiva

$$E_i = G \cdot (1 - E_c) \cdot (1 - O_x) \cdot (1 - O_{xB}) + G \cdot E_c \cdot (1 - E_d)$$

Donde:

- E_i = Emisión final de CH₄ al año i del relleno sanitario.
- G = Generación de CH₄ estimada para el relleno sanitario.
- E_c = Eficiencia de captura pasiva en el relleno sanitario.
- O_x = Tasa de oxidación por cobertura tradicional en el relleno sanitario.
- O_{xB} = Tasa de oxidación por cobertura biológicamente activa en el relleno.
- E_d = Eficiencia de destrucción metano.



Sistema de monitoreo - Complementario

Monitoreo superficial (complementario)

Medición instantánea de concentración de CH₄ **sobre la superficie del relleno**, verifica integridad de la cobertura y detecta fugas.

Frecuencia **trimestral**, por campañas o sensores fijos equidistantes.

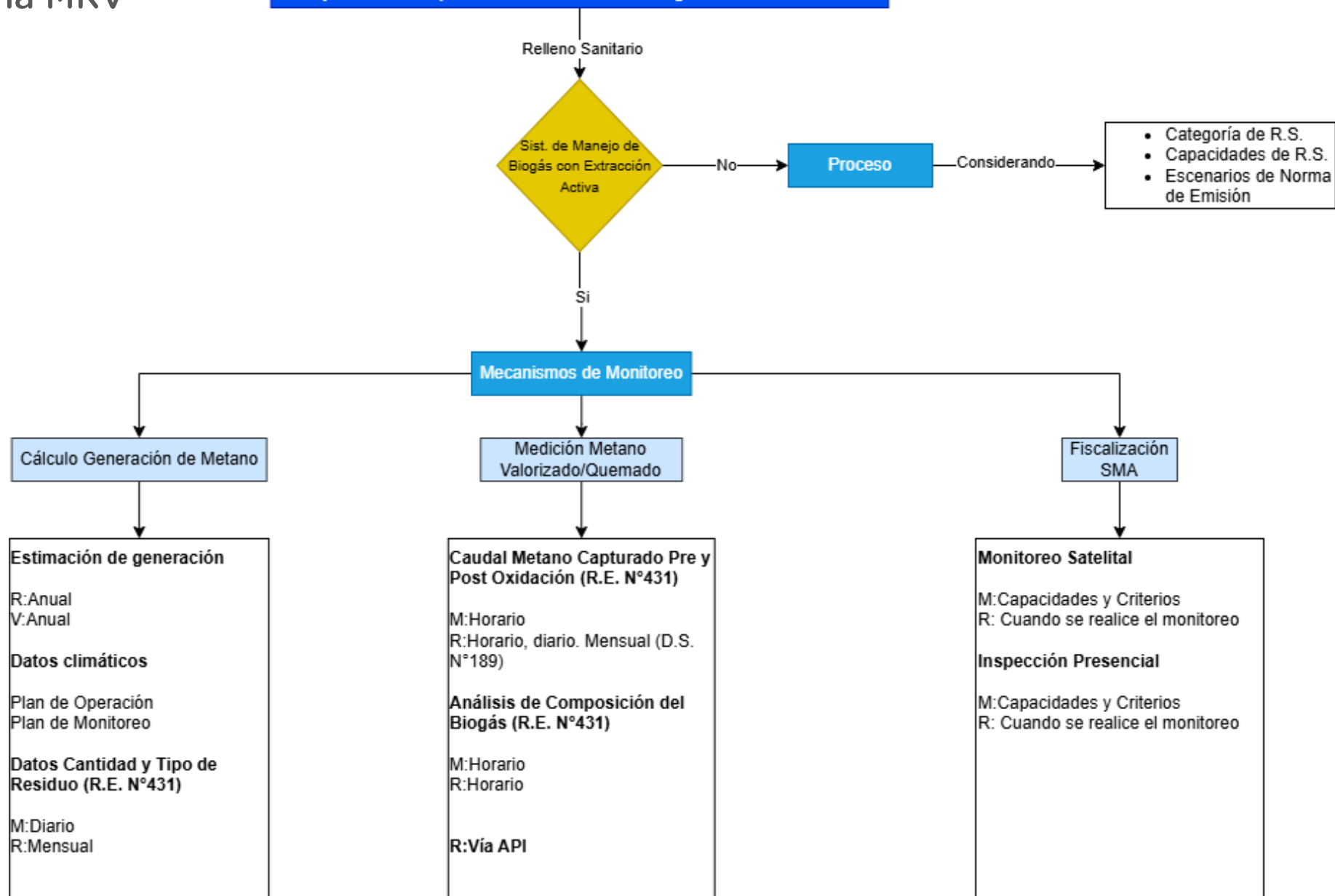
Límites: medición **instantánea** ≤ 500 ppmv; **promedio sensores** $25 \leq$ ppmv.

Doble propósito: Control de **seguridad** (coherente con DS189) **e indicador de calidad operacional** de la captura.



Propuesta Sistema MRV y Fiscalización

MRV y Fiscalización para Norma de Emisión de Biogás en Rellenos Sanitarios



M: Monitoreo.
R: Reporte.
V: Verificación.
F: Fiscalización.



Propuesta Sistema MRV y Fiscalización

Propuesta de MRV

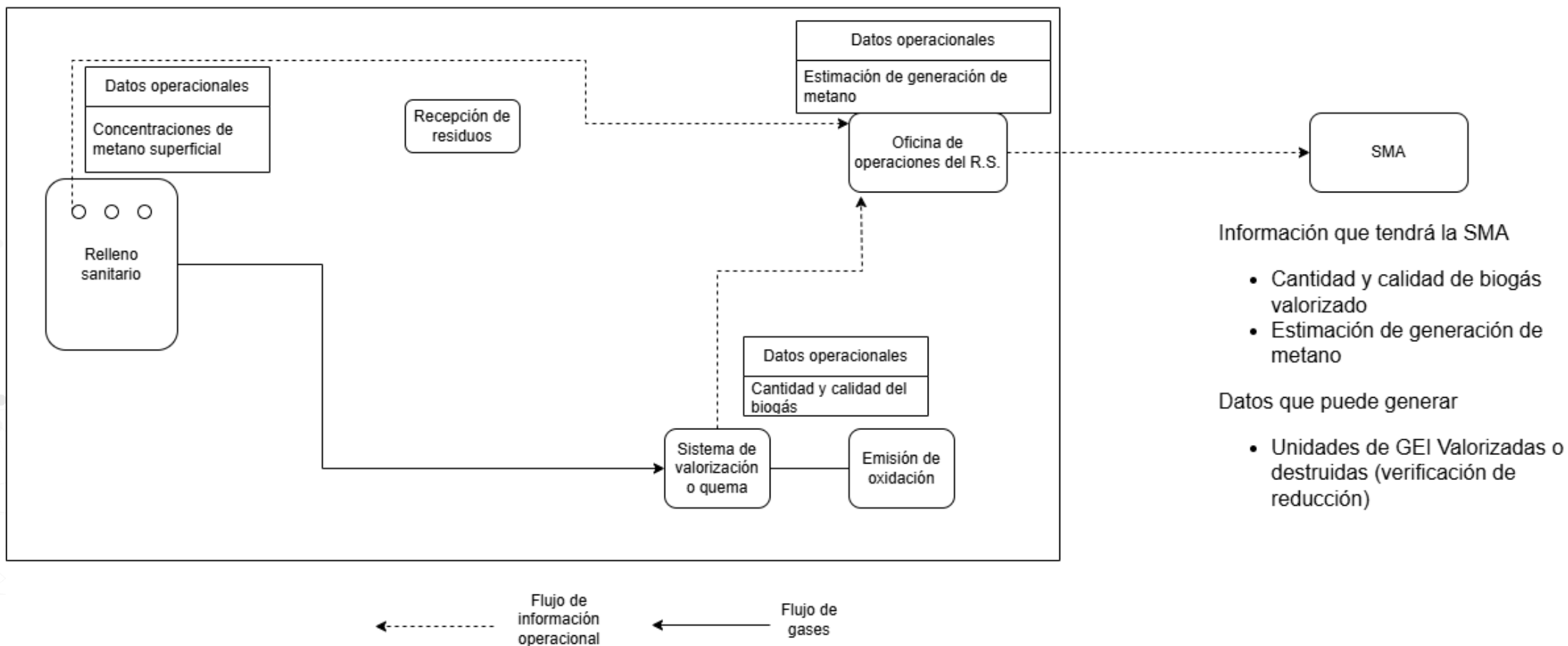


Diagrama de flujo de la información.



Actores, costos y articulación normativa

Actores

Titulares

SMA

MINSAL/SEREMI

Proveedores de equipos

Entidades satelitales

Costos

Captura activa

Captura pasiva

Campañas de monitoreo
superficial



Actores, costos y articulación normativa

- Articulación con DS 189 y el Informe Financiero del PSM:

Acciones de la Medida 2 del PSM vinculadas al MRV

Acción (PSM)	Descripción en el Informe Financiero	Vínculo con el MRV propuesto
2.2.1 (MMA, 2025)	Diseño y elaboración de la norma de emisión de metano para rellenos sanitarios.	Define el instrumento cuyo cumplimiento mide el MRV (Ecuaciones anteriores).
2.6.1 (MINSAL, 2025)	Solicitud de recursos para la fiscalización del cumplimiento de las modificaciones al DS 189/2005 y de la norma de emisión.	Financia de forma conjunta la fiscalización de ambos instrumentos; respalda la articulación con el DS189.
2.1.2 (MINSAL, 2026)	Elaboración de guía para el cumplimiento de las modificaciones del DS 189/2005 sobre captura y valorización/quema de metano.	Operacionaliza los requerimientos mínimos que sirven de “piso técnico” a la línea base.
2.8.1 (MINSAL, 2026-2030)	Sistema de Ingreso de Reportes de Operación de Rellenos Sanitarios, con mantención anual.	Es el soporte del componente de Reporte del MRV; el canal único propuesto sobre la Res. Exenta 431/2021 debe implementarse a través de este sistema.
Capacitación (2027)	Curso para 300 funcionarios sobre desarrollo de proyectos de relleno que minimicen las emisiones de metano (M\$111.000).	Desarrolla las capacidades para la operación y la verificación del MRV.

Nota: Medida 2 del Informe Financiero de “Captura y valorización/quema de biogás”.



Conclusiones y Lecciones





Conclusiones y lecciones

- Sector complejo de normar, **fuentes difusas con múltiples variables de generación**.
- Se entregan insumos técnico-económicos para la norma de emisión de metano en rellenos sanitarios y su sistema de compensación (Art. 14 y 15, Ley 21.455), coordinada con el DS 12/2024 y el PSM del Sector Salud.
- De 110 sitios de disposición identificados, **40 rellenos en operación constituyen el universo normativo**; las emisiones se estimaron con modelo FOD.
- Escenario recomendado **diferenciado por tamaño con escenario temporal escalonado**, que logra la misma reducción (~8.140 ktCO₂e/año al 2050) a menor CAPEX (466 vs 515 M USD el proporcional uniforme)
 - Se sugiere eximir 10 “micro rellenos” (0,2% emisión periodo).
- La obligación de máxima captura y quema del DS189 actualizado puede inhabilitar la participación en mercados de carbono por adicionalidad; **se recomienda indicar un valor exacto** que cumpla los objetivos sanitarios y habilite la eficiencia económica.



Lecciones aprendidas

- **Alinear conceptos al inicio ahorra rehacer trabajo.** El contenido de los artículos 14 y 15 y el alcance del DS N°189 se aclararon en conversación con la contraparte, no en gabinete.
- **Los supuestos estructurales cambian y hay que validarlos temprano.** El año de entrada en vigencia pasó de 2032 a 2030 y arrastró toda la modelación.
- **La modelación de escenarios se iteró cinco veces.** El criterio de asignación de límites migró del PSM de Salud a la Carbono Neutralidad, y de un modelo de optimización a límites escalonados por tamaño.
- **Lección transferible:** conviene fijar primero la meta agregada y solo después la regla de reparto entre titulares.



Transferencia: qué queda operativo en el Ministerio

- **Inventario y proyección por sitio.** Modelo FOD implementado sobre los 110 sitios, con serie de actividad 1950-2024 y proyección 2025-2050, calibrado contra INGEI y SNP. Permite recalcular la línea base cuando cambien los supuestos.
- **Base de caracterización de rellenos.** Sitios con clasificación, operador, RCA, año de inicio y vida útil, trazable al catastro SUBDERE y a los envíos de la contraparte.
- **Curvas de costo calibradas por tecnología.** Parámetros a y b de la ley de potencia, OPEX y supuestos de ingreso eléctrico: reutilizables para evaluar cualquier escenario nuevo, no solo los tres presentados.
- **Planilla de escenarios y límites por relleno.** Límites de emisión por sitio y período para ED1, ED2 y ED3, con el estándar tecnológico de referencia asociado.
- **Esquema MRV&F y flujo de información.** Diagrama de roles entre titular, SMA y MINSAL/SEREMI, montado sobre la Res. Ex. 431.



dictuc
INGENIERÍA QUE TRANSFORMA



CONTACTO



www.dictuc.cl



+ 56 2 2354 4886



Vicuña Mackenna 4860, Macul,
Santiago. Región Metropolitana, Chile.
Código postal 7820436



Encuétranos también en:



@Dictuc



@Dictuc.ingenieriaquetransforma



/dictuc-sa



/dictuc