



CONSULTORÍA ADIM-2030

Informe de Diagnóstico

Entregable 3 — ADIM-2030

Agenda de Descarbonización de las Industrias Manufactureras al 2030 (ADIM-2030)

Encargada por PNUD Perú en coordinación con la
Dirección General de Asuntos Ambientales de Industria (DGAAMI)
Ministerio de la Producción (PRODUCE)

Consultor responsable: Ricardo Pareja Soto

26 de junio de 2026

Contenido

Nota de versión	1
1. Introducción y alcance	3
2. Diagnóstico de emisiones del sector manufacturero	4
2.1 Encuadre: las tres fuentes de emisión de la industria manufacturera	4
2.2 Emisiones de proceso (IPPU) por subsector, 2021	4
2.3 Inventario por planta: quién emite	5
2.4 La tendencia: cemento cíclico, HFC explosivo	5
2.5 Aguas residuales industriales (5.D.2), 2021	6
2.6 Notas de consistencia entre fuentes	6
3. Marco regulatorio y de política	7
3.1 El paraguas de política: PN ENCC 2050 y las NDC	7
3.2 Marco específico de los HFC: el Protocolo de Montreal	7
3.3 Medidas NDC por subsector: listado oficial vs. en implementación	7
3.4 Instrumentos sectoriales complementarios (pendientes de PRODUCE)	9
4. Oportunidades y barreras tecnológicas	10
4.1 Marco de lectura: la jerarquía de mitigación industrial	10
4.2 Caso ancla: cemento	10
4.3 Resto de subsectores: comparación con el ancla	11
4.4 Aspectos a completar	12
5. Revisión de las medidas sectoriales existentes	13
5.1 Tres planos que no son lo mismo	13
5.2 Vista consolidada: medidas NDC del PIUP → sector	13
5.3 Medidas que aplican a la industria pero no son NDC del PIUP	13
5.4 Peso proporcional por sector (para no tratar igual a vidrio que a cemento)	14
5.5 Aspectos a completar	14
6. Sistematización de los talleres de diagnóstico	16
6.1 Alcance: el primer ciclo de seis talleres	16
6.2 Aportes por subsector (Anexo 3 del reporte)	16
6.3 Habilitadores transversales (recurrentes en los 6 talleres)	17
6.4 Cruce con el diagnóstico técnico (capítulos 2-4)	17
6.5 Recomendaciones del ciclo (del reporte)	17
6.6 Aspectos a completar	18
7. Conclusiones del diagnóstico	19

Nota de versión

Esta es la **versión 1** del Informe de Diagnóstico. Cubre los cinco contenidos exigidos por el TDR (análisis de emisiones, marco regulatorio, oportunidades y barreras, revisión de medidas sectoriales y sistematización de talleres) con el material disponible al 26 de junio de 2026. Se entrega como versión que se completará con los aportes finales, conforme a la articulación entre talleres y entregables acordada con PNUD y DGAAMI (plan de trabajo, sección 5).

Elementos a completar en versiones posteriores (dependen de insumos externos o de eventos posteriores):

Elemento	Motivo	Capítulo
Sistematización de los talleres regionales (Trujillo, Arequipa)	Se realizan el 13 y 14 de julio de 2026	6
Resultados cuantitativos de las encuestas de entrada y salida	Datos disponibles, pendientes de procesar y agregar	6
Potenciales de las 5 medidas ECE del D.S. 019-2025	Detalle por enviar por PRODUCE	3, 5
Hoja de ruta de Economía Circular y Acuerdos de Producción Limpia	Documentos por enviar por PRODUCE	3
Condiciones habilitantes del grupo de sectores menores	Por definir o declarar sin condiciones diferenciadas	4
Curva de costos marginales (MACC) del cemento	A estimar como trabajo complementario	4, 5
Verificación de la norma de VMA (aguas residuales)	Pendiente de confirmar contra fuente oficial	5

El **resumen ejecutivo** se integra al frente de esta versión en el documento final.

1. Introducción y alcance

La **ADIM-2030** es una agenda pública, voluntaria y promocional para orientar la descarbonización de la industria manufacturera peruana al 2030, con énfasis en la industria cementera. No es una norma obligatoria ni un instrumento sancionatorio: ordena prioridades, metas, líneas de acción e instrumentos de apoyo para que empresas y gremios avancen en reducción de emisiones.

Este Informe de Diagnóstico (Entregable 3) constituye la base técnica sobre la que se formularán los entregables siguientes. Cubre, en orden: el **análisis de emisiones** del sector manufacturero (capítulo 2), el **marco regulatorio y de política** (capítulo 3), las **oportunidades y barreras tecnológicas** (capítulo 4), la **revisión de las medidas sectoriales existentes** (capítulo 5) y la **sistematización de los talleres de diagnóstico** (capítulo 6), seguidos de las conclusiones (capítulo 7).

La unidad de análisis es la **industria manufacturera**, cuyas emisiones caen en tres categorías del inventario nacional: procesos industriales (IPPU), combustión (Energía, 1.A.2) y aguas residuales industriales (Desechos, 5.D.2). El diagnóstico se ordena por la **taxonomía IPCC** (que tiene cifras duras y trazables al inventario) y mapea contra ella las ramas sectoriales de los talleres.

2. Diagnóstico de emisiones del sector manufacturero

2.1 Encuadre: las tres fuentes de emisión de la industria manufacturera

Las emisiones de la industria manufacturera peruana no caben en una sola categoría del inventario nacional. Se reparten en tres frentes, que sumados definen el **total industria 2021 = 17.094,1 kt CO₂eq**:

Frente	Categoría inventario	2021 (kt CO ₂ eq)	% del total industria
Combustión	1.A.2 (Energía)	8.670,1	50,7 %
Procesos industriales	IPPU / PIUP (2.A–2.F)	7.373,7	43,1 %
Aguas residuales	5.D.2 (Desechos)	1.050,3	6,1 %
Total industria		17.094,1	100 %

Tres precisiones de lectura, necesarias para no sobreinterpretar:

- **La combustión (1A2) es la mitad del problema, pero el inventario no la desagrega por subsector ni planta.** Las emisiones de quemar combustible en hornos y calderas industriales están en el sector Energía como un agregado; el INGEI no dice cuánto corresponde a cemento, a ladrillo o a textil. Por eso el diagnóstico por subsector que sigue se construye sobre IPPU (proceso) y 5D2 (efluentes), que sí tienen desagregación, y señala la palanca de combustión donde aplica.
- **IPPU es donde están las emisiones de proceso atribuibles a cada subsector** (la calcinación del clínker, la reducción del óxido en el acero, los HFC de la refrigeración). Es el núcleo de este diagnóstico.
- **Las aguas residuales (5D2) son el tercer emisor de la industria** —más que cal y vidrio juntos— pero pertenecen al sector Desechos del inventario, no a IPPU. Se diagnostican aquí porque las emite la misma industria manufacturera, con la salvedad de categoría explícita.

2.2 Emisiones de proceso (IPPU) por subsector, 2021

El sector IPPU/PIUP emitió **7.373,73 kt CO₂eq** en 2021 (3,78 % del total nacional de 194.895,53 kt). Su composición por subsector:

Subcat. IPCC	Subsector	Grupo	GEI	2021 (kt CO ₂ eq)	% IPPU
2.A.1	Producción de cemento	Proceso	CO ₂	5.191,49	70,41 %
2.F.1	Refrigeración y AA (HFC)	Consumo de GEI	HFC	1.163,35	15,78 %
2.A.2	Producción de cal	Proceso	CO ₂	535,79	7,27 %
2.C	Metales (hierro/acero y zinc)	Proceso	CO ₂	260,42	3,53 %
2.A.4.a	Cerámicas (incl. ladrillo)	Proceso	CO ₂	116,74	1,58 %
2.A.3	Vidrio	Proceso	CO ₂	32,75	0,44 %
2.B	Química (ácido nítrico)	Proceso	N ₂ O	28,90	0,39 %
2.A.4.b	Ceniza de sosa (otros usos)	Proceso	CO ₂	25,56	0,35 %
	Total IPPU			7.373,73	100 %

Lectura central: la industria concentra sus emisiones de proceso en dos puntos. **El cemento es el 70,41 % del IPPU** —sostiene cuantitativamente el énfasis contractual de la consultoría— y **los HFC de refrigeración son el segundo ítem con 15,78 %**. Entre los dos suman el 86 % del IPPU; el resto de subsectores, sumados, no llega al 14 %.

Nota de consistencia (no afirmar precisión al 100 %): la suma de subcategorías (7.354,99) no iguala el total IPPU (7.373,73); la diferencia (~18,7 kt) corresponde a carburo de calcio y otros usos de carbonatos menores no reportados por separado en el INGEI.

2.3 Inventario por planta: quién emite

A diferencia del INGEI (que llega al subsector), este diagnóstico calculó el inventario **planta por planta** a partir de la producción física y los factores de emisión IPCC, y lo reconcilió contra el RAGEI: la suma de cada subsector cuadra con el total oficial. Esto permite nombrar a los emisores.

Cemento (5.191,49 kt — 6 plantas). La emisión se calcula con **clínker** (base IPCC: la emisión de proceso viene de calcinar el clínker, no del cemento final).

Planta	Región	t clínker	kt CO ₂ eq	% IPPU
UNACEM – Atocongo	Lima	4.708.427	2.425,27	32,9 %
Yura S.A.	Arequipa	1.691.561	890,54	12,1 %
UNACEM – Condorcocha	Junín	1.506.052	798,18	10,8 %
Cemento Pacasmayo – Piura	Piura	893.332	472,30	6,4 %
Cemento Pacasmayo – Pacasmayo	La Libertad	879.079	463,78	6,3 %
Cementos Selva	San Martín	264.167	141,42	1,9 %

UNACEM Atocongo, una sola planta, es el 32,9 % de todo el IPPU nacional. El énfasis en cemento no es solo sectorial: es, en buena medida, un puñado de plantas.

Metales (260,42 kt) — el zinc emite más que el acero. El INGEI agrupaba ambos en la cifra 2.C; el inventario por planta los separa:

- **Zinc: 157,77 kt** — Nexa Cajamarquilla (146,47) + Doe Run La Oroya (11,30). Dos empresas.
- **Acero: 102,65 kt** — Aceros Arequipa/Pisco (73,98) + SiderPerú (27,98) + MEPSA (0,69). Tres empresas.

Esto tiene consecuencia de diseño: el cronograma manda **acero al Taller 2 y zinc al Taller 3**, así que el 3,53 % del 2.C no se imputa entero a ninguno de los dos.

HFC (1.163,35 kt) — por sustancia. El 100 % corresponde a refrigeración y aire acondicionado (2.F.1); no hay producción nacional, toda la emisión viene del uso de gas importado. Domina HFC-134a (387,04), HFC-125 (374,82) y HFC-143a (370,19).

Cal (535,79), vidrio (32,75), química/ácido nítrico (28,90): también calculados por planta (Calcesur, Owens Illinois, Industrias Cachimayo/Enaex, entre otros); detalle en el inventario.

2.4 La tendencia: cemento cíclico, HFC explosivo

Año	Cemento 2.A.1 (kt)	HFC 2.F.1 (kt)
2000	1.780,21	18,94
2010	3.335,68	134,16
2015	4.352,81	377,39
2019	4.762,48	908,26
2020	2.751,75	1.090,37
2021	5.191,49	1.163,35

Dos dinámicas opuestas. El **cemento sigue el ciclo productivo** (cae en 2020 por la pandemia, rebota en 2021). El **HFC crece de forma sostenida e independiente del ciclo: +6.043,9 % desde 2000**, la curva más empinada del inventario. Es el argumento que sostiene la incorporación de los refrigerantes a la agenda: no es grande hoy por accidente, es la trayectoria.

2.5 Aguas residuales industriales (5.D.2), 2021

1.050,3 kt CO₂eq (CH₄), sobre todo de pulpa y papel y de alimentos y bebidas. Es el tercer emisor de la industria, por encima de cal + vidrio + cerámica + química + sosa sumados. Categoría Desechos, no IPPU; se diagnostica por pertenecer a la misma industria manufacturera (ver salvedad en 2.1).

2.6 Notas de consistencia entre fuentes

- **INGEI vs INEI (agregado nacional):** el INGEI reporta 194.895,53 kt para 2021; el Anuario INEI 2025 cita “187 mil Gg”, una diferencia de ~4 % atribuible a redondeo/edición. No está resuelta; se reporta como nota, sin elegir una cifra única. Para el diagnóstico se usa el INGEI por su desagregación por subcategoría.
- **Clínker vs cemento:** el inventario se calcula con clínker (base IPCC). La producción de cemento del Anuario PRODUCE queda como contraste de intensidad por tonelada (nivel de adición), no como base de emisiones.
- **2.C agrupado en el INGEI:** la separación zinc/acero es cálculo propio por planta, no dato del INGEI.

Fuentes: INGEI 2000-2021 (MINAM) e inventario por planta reconciliado contra el RAGEI PIUP 2021 y RAGEI 5D2 (PRODUCE/MINAM).

3. Marco regulatorio y de política

3.1 El paraguas de política: PN ENCC 2050 y las NDC

La descarbonización de la industria manufacturera peruana se enmarca en la **Política Nacional ante el Cambio Climático al 2050 (PN ENCC 2050)**, cuyo **Objetivo Prioritario 6** es “reducir las emisiones de GEI en los procesos industriales y en el uso de sustancias químicas refrigerantes” (BTR1 2024). Ese OP6 es lo que conecta, bajo un mismo techo de política y bajo la autoridad de PRODUCE, los dos focos del diagnóstico: las emisiones de proceso (cemento, cal, metales...) y los refrigerantes (HFC).

El instrumento operativo son las **Contribuciones Determinadas a Nivel Nacional (NDC)**. Su listado vigente fue actualizado por el **Decreto Supremo N.º 019-2025-MINAM** (publicado el 18 de septiembre de 2025, verificado en gob.pe), que aprueba el listado oficial de medidas de adaptación y mitigación que conforman las NDC. **Este D.S. reemplaza al catálogo de 2019** y es la fuente a citar; el catálogo anterior está desactualizado en varias cifras.

Verificación hecha (las 8 medidas de PRODUCE del D.S. 019-2025-MINAM = **3 del PIUP** [PIUP1-3] + **5 de Energía/ECE** [ECE14-18]): la medida de **Refrigerantes (PIUP2)** pasó a **1,65 MtCO₂eq** (el catálogo 2019 daba 0,89) y **Intervenciones integrales (ECE18)** a **0,018**; las otras seis coinciden con lo que ya teníamos. Citar siempre la cifra del D.S. 019-2025, no la del catálogo 2019.

3.2 Marco específico de los HFC: el Protocolo de Montreal

Los refrigerantes tienen, además del paraguas NDC, un régimen regulatorio propio que el resto de subsectores no tiene:

- **Enmienda de Kigali** al Protocolo de Montreal, ratificada por el Perú mediante **D.S. 017-2019-RE**. Compromete el cronograma de reducción del consumo de HFC: congelamiento en 2024, –10 % en 2029, –30 % en 2035, –50 % en 2040 y –80 % en 2045 (ficha técnica PRODUCE, dic-2022).
- **D.S. 019-2021-PRODUCE**: régimen de licencias y cuotas de importación de HFC.
- **RD 858-2025-PRODUCE-DGAAMI**: fija las cuotas anuales por importador para 2026 (línea base por sustancia y reparto por empresa), ya cargada y verificada en la base de datos.

PRODUCE/DGAAMI es el punto focal del Protocolo de Montreal en el Perú, lo que refuerza la coherencia institucional de incorporar los HFC a la agenda.

Salvedad a registrar: la medida NDC de reemplazo de refrigerantes **no figura** entre las medidas en implementación del BTR1 2024 (no aparece en la Tabla 2.9 de PIUP). Existe como ficha técnica de PRODUCE (dic-2022) y como compromiso de política, pero su estado de implementación formal en el reporte de transparencia es distinto al de la medida de cemento. Conviene no presentarla como medida “en ejecución” sin esa matización.

3.3 Medidas NDC por subsector: listado oficial vs. en implementación

Hay que distinguir dos cosas que no son lo mismo: el **listado oficial de medidas NDC** (D.S. 019-2025-MINAM, el universo de compromisos vigentes) y las **medidas en implementación** que reporta el BTR1 2024 (Tabla 2.9, lo que ya está en ejecución con MRV). El hallazgo regulatorio del diagnóstico es:

El BTR1 en implementación solo muestra una medida del PIUP (PIUP1, cemento); el D.S. 019-2025-MINAM amplía el listado oficial a PIUP2 (refrigerantes) y PIUP3 (ácido nítrico). Es decir: el cemento es el único con medida *en ejecución reportada*, pero el listado oficial vigente compromete al menos tres subsectores del PIUP. No confundir “no está en implementación en el BTR1” con “no tiene medida NDC”.

Subsector	Medida NDC (D.S. 019-2025)	¿En implementación en BTR1?	Detalle (fuente)
Cemento	PIUP1 — sustitución de clínker	Sí (Tabla 2.9)	Factor clínker 81 %→71 % en 6 plantas, 0,95 MtCO₂eq al 2030 , autoridad PRODUCE. Soporte: D.S. 001-2022-PRODUCE; MRV desde 2022. Más Hoja de Ruta Net Zero 2050 (ASOCEM-FICEM, compromiso de industria)
HFC	PIUP2 — reemplazo de refrigerantes	No (no figura en Tabla 2.9)	1,65 MtCO₂eq al 2030 (D.S. 019-2025; corrige el ~0,89 antiguo). Régimen propio: Kigali, D.S. 019-2021-PRODUCE, RD 858-2025
Química (ácido nítrico)	PIUP3 — reducción de N ₂ O en fabricación de ácido nítrico	No (no figura en Tabla 2.9)	0,029 MtCO₂eq (D.S. 019-2025). Vías de implementación abiertas: iniciativa internacional NACAG (asistencia para catalizadores de N ₂ O) y compromiso de empresa (Enaex/Industrias Cachimayo: nitrato carbono-neutral, suministro eólico Punta Lomitas)
Aguas residuales (5D2)	Sin medida NDC propia	No (Tabla 2.10 Desechos solo cubre residuos sólidos)	Análogo en implementación: ECE23 (metano de PTAR → energía, MVCS, 0,03 MtCO ₂ eq; piloto PTAR San Jerónimo, Cusco, -7.800 tCO ₂ eq/año). Falta extenderlo del saneamiento doméstico a la industria

Subsector	Medida NDC (D.S. 019-2025)	¿En implementación en BTR1?	Detalle (fuente)
Cal, metales, vidrio, cerámica, sosa	Sin medida NDC propia del PIUP	—	Aplican medidas de eficiencia energética/combustión del sector Energía (autoridad MINEM), transversales a la combustión industrial, no del PIUP

Salvedad de verificación: el D.S. 019-2025-MINAM queda verificado en gob.pe (aprueba el listado NDC; el anexo confirma PIUP1, PIUP2 = 1,650 y ECE18 = 0,018). PIUP3 (ácido nítrico, 0,029 MtCO₂eq) también está en el listado del D.S. La vista consolidada medida NDC → sectores se construye en el capítulo 5; la lista oficial de las 8 medidas de PRODUCE que enviará (G2) aportará el desglose y los potenciales de las 5 medidas ECE de Energía y el detalle del conjunto, sin alterar que el PIUP queda cerrado en 3 medidas (PIUP1-3).

3.4 Instrumentos sectoriales complementarios (pendientes de PRODUCE)

El acta de la reunión PRODUCE del 25-jun comprometió tres documentos adicionales que afinan este marco y que **PRODUCE enviará** (no se solicitan; G3-G4 del catálogo):

- **Hoja de ruta de Economía Circular del sector industrial** — marco de articulación de política.
- **Acuerdos de Producción Limpia (APL)** — instrumentos voluntarios, antecedente del mecanismo de contribuciones voluntarias del E5.
- **Lista oficial de las 8 medidas de mitigación de PRODUCE** (3 PIUP + 5 ECE) — detalle y potenciales por medida. Las 3 del PIUP (PIUP1-3) ya están confirmadas contra el D.S. 019-2025; esta lista aporta el desglose de las 5 ECE de Energía y los potenciales finos.

Este capítulo se redacta con lo disponible y verificado (D.S. 019-2025, BTR1, RD 858-2025, fichas). Las secciones que dependan de estos tres documentos quedan marcadas para completarse cuando lleguen, sin bloquear la entrega.

Fuentes: D.S. 019-2025-MINAM (18-set-2025); BTR1 2024 (Tablas 2.7, 2.9, 2.10); ficha técnica de la medida de refrigerantes (PRODUCE, dic-2022); RD 858-2025-PRODUCE-DGAAMI.

4. Oportunidades y barreras tecnológicas

4.1 Marco de lectura: la jerarquía de mitigación industrial

Las oportunidades de reducción se ordenan según la **jerarquía de mitigación industrial** (IEA, 2022), de menor a mayor costo y complejidad:

1. **Eficiencia energética y de materiales** — optimización de procesos, recuperación de calor, sistemas de gestión de energía.
2. **Sustitución de combustibles y electrificación** — co-procesamiento, biomasa, electricidad renovable.
3. **Sustitución de materias primas y cambios de formulación** — bajar el factor clínker, adiciones, reformulación.
4. **Captura, uso y almacenamiento de carbono (CCUS)** — última palanca, para el CO₂ de proceso que no se evita de otro modo.

Una distinción transversal organiza las barreras de todo el capítulo: las **barreras no estructurales** (regulatorias, de mercado, de información) se levantan con política y gestión, sin tecnología nueva; las **barreras estructurales** (físico-químicas, de capital, de disponibilidad de insumos) requieren inversión o desarrollo tecnológico. Separarlas evita pedir CCUS donde basta un cambio normativo.

4.2 Caso ancla: cemento

El cemento (70,4 % del IPPU) es el caso ancla porque concentra las emisiones, es donde la consultoría tiene mayor desarrollo técnico, y porque sus palancas ilustran toda la jerarquía. Cada sector se compara después contra este patrón.

Oportunidades por palanca:

Palanca	Medida	Meta
Sustitución de material	Bajar factor clínker con adiciones/SCM	76 %→70 % (2030)→63 % (2050); PIUP1 , 0,95 MtCO ₂ eq
Sustitución de combustible	Co-procesamiento (CDR fósil + biomasa) vs carbón/petcoke	0 %→12 % (2030)→45 % (2050)
Eficiencia energética	Precalcinador 6 etapas, enfriadores, ISO 50001	3.398→3.260 MJ/t clínker
Energía limpia	Electricidad renovable (alcance 2)	red 175→0 gCO ₂ /kWh al 2050
CCUS	Captura del CO ₂ de proceso	despliegue comercial 2040-2050

Barreras estructurales (las que no se quitan con un decreto):

- El **~60 % del CO₂ del cemento es de proceso** (descarbonatación de la caliza): inherente a la química del clínker; solo se reduce bajando el factor clínker o capturando el CO₂.
- **CCUS no es viable hoy en Perú**: >110 USD/t clínker (TRL 9), sin infraestructura de transporte ni almacenamiento.
- **Disponibilidad limitada de adiciones (SCM)**: menos cenizas y escorias por la salida del carbón y la baja siderurgia local — limita cuánto se puede bajar el factor clínker.
- Capex elevado de modernización de hornos; riesgo de fuga de carbono frente al cemento importado.

Barreras no estructurales (se levantan con política):

- **Co-procesamiento**: la tecnología está probada; la barrera es regulatoria (Ley REP, licenciamiento de residuos), no técnica.
- Eficiencia térmica y optimización operativa (ajuste de quemadores, ISO 50001).

- Aumentar adiciones dentro del tope normativo y promover los cementos adicionados ya normados (Tipo IP).
- **Compras públicas verdes** que prioricen cemento bajo en carbono: instrumento de demanda, sin tecnología nueva.

Condiciones habilitantes (semáforo completo — 7: 1(verde) / 4(naranja) / 2(rojo)):

- (verde) Hoja de ruta sectorial con metas cuantificadas (ASOCEM/FICEM + 3 productoras, NZ 2050).
- (naranja) Normas técnicas de cementos con más adiciones (falta subir el tope y migrar a normas por desempeño; compras públicas aún no priorizan).
- (naranja) Reconocimiento de biomasa carbono-neutral y metano evitado (falta metodología oficial).
- (naranja) Electricidad renovable de largo plazo (marco en desarrollo).
- (naranja) MRV sectorial reconocido (IPCC-2006).
- (rojo) **Marco de residuos para el co-procesamiento**: uno de los dos cuellos de botella más duros — co-procesamiento en 0 %, marco legal desactualizado, REP reglamentada solo para neumáticos.
- (rojo) **CCUS: marco, costo y financiamiento**: el otro cuello de botella — sin marco regulatorio ni esquema de financiamiento para la captura, con costos aún prohibitivos (ver barreras estructurales).

Costo: las palancas de corto plazo —factor clínter y co-procesamiento— son las de menor costo y mayor retorno (bajan el costo variable: menos clínter que cocer, combustible más barato). Las de largo plazo son caras: CCUS >110 USD/t, hidrógeno verde 4-8 USD/kg hoy. *Nota: la hoja de ruta no incluye el costo por tonelada de CO₂ evitada ni una curva de costos marginales (MACC) del sector; ese dato queda como trabajo complementario a estimar.*

4.3 Resto de subsectores: comparación con el ancla

Cada subsector se evaluó con la misma estructura (oportunidades por palanca, barreras estructurales/no estructurales, habilitantes con semáforo, costo). Síntesis:

Subsector	Palanca principal de reducción	Barrera estructural clave	Habilitantes ((verde)/(naranja)/(rojo))
HFC	Sustitución de gas por alternativas de menor PCG	Falta de NTP para gases inflamables/tóxicos; parque instalado con gases controlados	6 (2/3/1) — (verde) marco legal y MRV; (rojo) financiamiento de la transición
Aguas residuales (5D2)	Captura de metano de efluentes → energía (análogo ECE23)	Sin medida NDC propia; falta extender el modelo PTAR del saneamiento a la industria	5 (2/2/1)
Cal	Eficiencia de horno; sustitución de combustible	CO ₂ de proceso inherente (como cemento); sector atomizado, muchas caleras informales	7 (1/3/3) — el más trabado : 3 habilitantes en rojo
Metales (acero+zinc)	Acero ya es EAF (chatarra); eficiencia y energía limpia	Zinc: emisión de proceso de la metalurgia; acero ya tiene baja huella relativa (EAF)	6 (2/3/1)
Cerámica/Ladrillo	Eficiencia de horno; combustible; formalización	Sector muy atomizado e informal (ladrilleras artesanales)	5 (1/3/1)
Vidrio	Aumentar cullet (vidrio reciclado); eficiencia de horno	Disponibilidad de cullet de calidad; horno de fusión intensivo en energía	4 (2/2/0) — sin rojos

Subsector	Palanca principal de reducción	Barrera estructural clave	Habilitantes ((verde))/(naranja)/(rojo))
Química (ácido nítrico)	Catalizadores de abatimiento de N ₂ O (terciario)	Una sola planta (Industrias Cachimayo/Enaex); tecnología disponible vía NACAG	4 (2/1/1) — PIUP3 (D.S. 019-2025)
Ceniza de sosa	Eficiencia; uso menor	Emisión menor (0,1 % IPPU); poco margen	2 (1/1/0)
Menores (SF₆, lubricantes, parafina, carburo, textiles, cuero, refinerías, metalmecánica)	Genéricas por rubro; sin inventario propio	Sin línea base propia para varios; medida genérica	Condiciones habilitantes por completar

Lecturas transversales:

- **La cal es el subsector más trabado** en condiciones habilitantes (3 de 7 en rojo), pese a ser menor que el cemento — comparte el problema del CO₂ de proceso pero sin hoja de ruta sectorial ni actores organizados.
- **El acero ya parte de una huella baja** (es eléctrico, EAF a partir de chatarra); el foco metalúrgico real es el zinc.
- **Cemento y cal comparten la barrera estructural del CO₂ de proceso** (descarbonatación de la caliza, inherente a la química): solo se reduce bajando el factor clínker/cal o capturando el CO₂. **La química (ácido nítrico) comparte el carácter de emisión de proceso, pero no el gas ni la palanca:** emite **N₂O de proceso**, abatible con catalizadores de abatimiento (tecnología disponible vía NACAG), no con sustitución de material ni CCUS. Frente a todos ellos, el resto de sectores reduce sobre todo por combustión/eficiencia.

4.4 Aspectos a completar

- **Condiciones habilitantes del grupo de sectores menores:** estos rubros (SF₆, lubricantes, parafina, carburo, textiles, cuero, refinerías, metalmecánica) cuentan con diagnóstico, barreras y costos, pero sus condiciones habilitantes diferenciadas están por definir. Se completarán con habilitantes genéricos por rubro (formalización, normas técnicas, asistencia técnica) o se declarará que no aplican condiciones diferenciadas por carecer de línea base propia.

Fuentes: fichas de medidas por sector (condiciones habilitantes, barreras estructurales y no estructurales, costos), base de datos del proyecto. La curva de costos marginales (MACC) del cemento y las condiciones habilitantes del grupo de sectores menores quedan como aspectos a completar.

5. Revisión de las medidas sectoriales existentes

5.1 Tres planos que no son lo mismo

La revisión de medidas exige separar tres planos que suelen confundirse. Una medida puede estar en uno, en varios o en ninguno:

1. **Listado oficial NDC del PIUP** (D.S. 019-2025-MINAM): el universo de compromisos de mitigación vigentes del componente Procesos Industriales, aprobado por decreto.
2. **Medidas en implementación** (BTR1 2024, Tabla 2.9): el subconjunto que ya está en ejecución con MRV reportado ante la CMNUCC.
3. **Compromisos de industria y de empresa**: hojas de ruta sectoriales (ASOCEN-FICEM Net Zero 2050) y acciones declaradas por empresas individuales. No son NDC, pero son medidas reales que el diagnóstico debe registrar.

El error a evitar es leer “no está en implementación en el BTR1” como “no existe la medida”. El cemento es el único del PIUP **en implementación reportada**; pero el **listado oficial** compromete a más subsectores, y hay un cuerpo amplio de **compromisos de industria** que no son NDC pero descarbonizan.

5.2 Vista consolidada: medidas NDC del PIUP → sector

Código	Medida NDC (D.S. 019-2025)	Sector	Potencial 2030	¿En implementación (BTR1)?	Palanca
PIUP1	Sustitución de clínker (cementos adicionados)	Cemento	0,95 MtCO ₂ eq	Sí (Tabla 2.9)	Sustitución de material
PIUP2	Reemplazo de refrigerantes por alternativas de menor PCG	HFC / RAC	1,65 MtCO ₂ eq	No	Sustitución tecnológica
PIUP3	Reducción de N ₂ O en fabricación de ácido nítrico	Química	0,029 MtCO ₂ eq	No	Abatimiento catalítico

Lectura: el listado oficial del PIUP cubre tres sectores (cemento, refrigerantes, ácido nítrico). El potencial está dominado por los refrigerantes (PIUP2, 1,65 Mt) y el cemento (PIUP1, 0,95 Mt); el ácido nítrico es menor en magnitud (0,029 Mt) pero técnicamente directo (una sola planta, tecnología disponible).

Composición del D.S. 019-2025 (verificado en gob.pe): el decreto lista **8 medidas de PRODUCE**, de las cuales **3 son del PIUP** (PIUP1, PIUP2, PIUP3) y **5 son del sector Energía** (ECE14, ECE15, ECE16, ECE17, ECE18 — combustión estacionaria, autoridad compartida con MINEM). Las 3 medidas PIUP son las que figuran en esta tabla; las 5 ECE se tratan como medidas de Energía aplicables a la combustión industrial (sección 5.3), no como medidas del PIUP. La lista oficial detallada que PRODUCE enviará (G2) confirmará el desglose y los potenciales de las 5 ECE.

5.3 Medidas que aplican a la industria pero no son NDC del PIUP

Buena parte de la descarbonización industrial pasa por medidas que **no** están en el listado PIUP:

Medidas del sector Energía (autoridad MINEM) — aplican a la combustión industrial (1.A.2) pero su autoridad no es PRODUCE:

- Las medidas ECE (combustión estacionaria) del BTR1 Tabla 2.7: renovables, eficiencia energética. Transversales a todos los subsectores que queman combustible.
- **ECE23** (metano de PTAR → energía, MVCS): el análogo directo para las aguas residuales industriales (5D2), hoy aplicado solo a saneamiento doméstico.

Compromisos de industria (hoja de ruta sectorial) — voluntarios, no NDC:

- **Cemento — Hoja de Ruta Net Zero 2050** (ASOCEM-FICEM; UNACEM, Pacasmayo, Yura): co-procesamiento (≈ 13 % de la reducción), eficiencia térmica (2 %), electricidad renovable (5 %), hidrógeno verde (1 %). Anidada con PIUP1, que aporta el 15 % vía factor clínker.

Compromisos de empresa — acciones declaradas individuales:

- **Acero (Aceros Arequipa)**: maximizar chatarra de calidad; cambio GLP→gas natural en hornos auxiliares (nuevo horno de cal, -28.000 tCO₂/año).
- **Vidrio (Owens-Illinois)**: oxicombustión + recuperación de calor (-15 % CO₂/t por horno, ya instalado).
- **Ácido nítrico (Enaex/Industrias Cachimayo)**: nitrato de amonio carbono-neutral, suministro eólico certificado (Punta Lomitas) — puerta de entrada de la medida PIUP3.

Obligaciones regulatorias — no son mitigación voluntaria pero condicionan:

- **Aguas residuales**: régimen de VMA para descargas al alcantarillado (obliga a tratar; el paso GEI es elegir tecnología que capture el metano). *Número de norma citado en la ficha pendiente de verificar contra fuente.*

5.4 Peso proporcional por sector (para no tratar igual a vidrio que a cemento)

Cruzando las medidas con el peso en emisiones (capítulo 2), el diagnóstico permite asignar prioridad proporcional:

Sector	% industria (emisiones)	Plano de medida	Prioridad de agenda
Cemento	30,4 %	NDC (PIUP1) en implementación + HR industria	Máxima — peso y medida activa
HFC	6,8 %	NDC (PIUP2) listado, no en implementación	Alta — peso y medida oficial pendiente de activar
Aguas residuales	6,1 %	Sin NDC; análogo ECE23	Media-alta — peso alto, medida por construir
Cal	3,1 %	Sin NDC propia; sector trabado	Media — peso medio, habilitantes en rojo
Metales	1,5 %	Compromiso de empresa	Media-baja — acero ya bajo, foco zinc
Química (ácido nítrico)	0,2 %	NDC (PIUP3) listado	Baja en peso, alta en viabilidad (1 planta)
Cerámica, vidrio, sosa, menores	<1 % c/u	Compromiso de empresa / sin medida	Baja — proporcional al peso

Criterio: la prioridad de agenda combina **peso en emisiones** y **estado de la medida**. El cemento es máxima por ambos; los HFC son altos pese a su 6,8 % porque tienen medida NDC oficial y trayectoria de crecimiento (cap. 2.4); el ácido nítrico es bajo en peso pero la medida es directa.

5.5 Aspectos a completar

- **Potenciales de las 5 medidas ECE:** el PIUP queda cerrado en 3 medidas (PIUP1-3, verificado contra el D.S. 019-2025); lo que falta de G2 es el desglose y los potenciales de las 5 medidas ECE de Energía (ECE14-18) que el mismo decreto lista bajo PRODUCE.

- **Norma de VMA sin verificar:** la obligación de aguas residuales cita un número de norma “de memoria” en la ficha; verificar antes de publicar.
- **Sin MACC:** no hay curva de costos marginales que ordene las medidas por costo/tonelada (hueco heredado del cap. 4).

Fuentes: fichas de medidas por sector (base de datos del proyecto); D.S. 019-2025-MINAM (8 medidas de PRODUCE = 3 PIUP + 5 ECE); BTR1 2024 (Tablas 2.7, 2.9); hojas de ruta y declaraciones de empresa. Los potenciales de las 5 medidas ECE y la verificación de la norma de VMA quedan como aspectos a completar.

6. Sistematización de los talleres de diagnóstico

6.1 Alcance: el primer ciclo de seis talleres

Entre el **16 y el 19 de junio de 2026** se realizaron en Lima los **seis primeros talleres** de diagnóstico, con **74 participantes**. Cada taller duró cuatro horas y siguió una estructura homogénea de cinco momentos (contextualización, clarificación de objetivos, presentación de contenidos, desarrollo participativo, cierre con acuerdos), con el sector cementero como **caso ancla** contra el cual cada sector se comparó.

Es el primer ciclo. Los dos talleres regionales (Trujillo, 13-jul; Arequipa, 14-jul) completarán la sistematización en una versión posterior del E3, junto con la encuesta complementaria a actores no asistentes. Lo que sigue cubre, por tanto, el diagnóstico participativo de los seis talleres de Lima, no el universo completo previsto.

Perfil de los 74 participantes (no fue público general, sino actores con conocimiento técnico y capacidad de incidencia):

- **Sector público:** INACAL, ITP/CITE, ProInnovate, direcciones de PRODUCE, OSINERGMIN, OEFA, ANA, MINAM, Ministerio de Vivienda y Construcción.
- **Gremios:** ASOCER, SNI.
- **Empresas y academia** de cemento, cal, metalurgia, fertilizantes, cuero/curtido, textil, ladrillos, refrigerantes y construcción.

6.2 Aportes por subsector (Anexo 3 del reporte)

La matriz de sistematización organiza, por sector, las medidas propuestas y sus condiciones habilitantes clave. Síntesis de lo levantado en los talleres:

Sector	Medidas propuestas (talleres)	Condición habilitante clave (talleres)
Cemento	Co-procesamiento; masificación de cementos/concretos “verdes” en obra pública y privada; actualizar expedientes técnicos	Involucrar a MTC y Vivienda en metas de infraestructura; marco que facilite co-procesamiento; rol del Colegio de Ingenieros; exigir construcción formal
Cal	Caliza micronizada como sustituto parcial; priorizar hornos de menor intensidad	Normas técnicas específicas del sector cal; acceso a hojas de ruta internacionales; aclarar “zonas grises” regulatorias
Metalurgia	Eficiencia energética; sustituir diésel; procesos de menor carbono y electromovilidad; economía circular de residuos	Sistema de gestión de energía + normativa; normas de NDC/huella; información sectorial; condiciones financieras para proyectos sin payback evidente
Fertilizantes	Cambio de diésel a gas natural; reemplazo de urea por opciones más ecológicas; eficiencia en refrigerantes de la cadena	Simplificar trámites de cambio de matriz energética; políticas para reducir refrigerantes de alto PCG; registro de equipos de refrigeración industrial
Cuero/curtido	Mejora del tratamiento de aguas residuales; sustituir insumos químicos	Apoyo de inversión; normas técnicas sobre manejo de químicos/residuos; asistencia técnica para tratamiento de agua
Textil	Medición de huella (presión de grandes compradores); investigación aplicada; briquetas como sustituto del carbón; gestión de residuos peligrosos	Normativa ambiental específica; crédito/reconocimiento por reducción verificable; fortalecer comités textiles; difundir resultados económicos

Sector	Medidas propuestas (talleres)	Condición habilitante clave (talleres)
Refrigerantes y AA	Sustituir refrigerantes de alto PCG por naturales; eficiencia energética; reúso de calor (bombas de calor)	Estándares y guías técnicas; registro y trazabilidad de consumo; infraestructura de reciclaje; articulación con NDC/Montreal
Construcción / ladrillos	Biomasa carbono-neutral; evaluar cambio a gas	Marcos de construcción sostenible; rol articulador de Vivienda; agilizar autorización de reúso de aguas tratadas

6.3 Habilitadores transversales (recurrentes en los 6 talleres)

Más allá de cada sector, el reporte identifica seis ejes de condiciones habilitantes que se repitieron transversalmente:

1. **Marco normativo y gobernanza:** normas sectorialmente pertinentes; articulación multisectorial (PRODUCE, MINAM, OEFA, ANA, Aduanas, Vivienda); supervisión y fiscalización efectivas.
2. **Financiamiento e incentivos:** fondos públicos, crédito verde, beneficios tributarios, taxonomía verde, papel de ProInnovate y la banca.
3. **Información, medición y transparencia:** datos de huella de carbono, inventarios GEI, consumo de refrigerantes, portales públicos; énfasis en Huella de Carbono Perú.
4. **Capacidades técnicas y asistencia especializada:** medición de huella, evaluación económica, gestión de químicos, eficiencia energética; rol de ITP/CITE y academia.
5. **Coordinación interinstitucional:** involucrar a funcionarios con capacidad de decisión; articular con gremios y comités sectoriales.
6. **Demanda y cultura sectorial:** promoción de cemento/concreto verde, construcción formal, sensibilización y generación de demanda para soluciones bajas en carbono.

6.4 Cruce con el diagnóstico técnico (capítulos 2-4)

La sistematización **confirma y enriquece** el diagnóstico cuantitativo, con un par de divergencias de taxonomía que conviene anotar:

- **Coincidencias fuertes:** el co-procesamiento del cemento como barrera regulatoria (no técnica), el problema de NTP para refrigerantes alternativos, la falta de información sectorial y la necesidad de financiamiento aparecen tanto en las fichas (cap. 4) como en los talleres. El diagnóstico técnico y el participativo apuntan a lo mismo.
- **Aporte nuevo de los talleres:** el peso de la **demanda y las compras públicas** (cemento verde en obra pública, presión de compradores en textil) — un ángulo de mercado que las fichas técnicas tocaban menos.
- **Divergencia de taxonomía (a resolver en el ensamblaje):** los talleres se organizaron por **8 ramas de gremio/industria** (cemento, cal, metalurgia, fertilizantes, cuero, textil, refrigerantes, construcción), mientras el diagnóstico de emisiones usa la **taxonomía IPCC** (capítulo 2). El mapeo entre ambas está en el índice anotado (T1): cuero y textil caen en “Menores” del inventario. El caso de **fertilizantes** ilustra que una rama de taller puede mapear a varias categorías de emisión y ningún aporte se pierde: en IPPU la conexión directa es el **ácido nítrico (2.B, N₂O)**, pero los aportes del taller sobre **cambio de diésel a gas natural** se mapean a **combustión (1.A.2, Energía)** y los de **refrigerantes de la cadena a HFC (2.F.1)**. Hay que mantener la trazabilidad entre lo que dijo cada taller y todas las subcategorías de emisión que toca, no solo la del nombre de la rama.

6.5 Recomendaciones del ciclo (del reporte)

- **Coordinar las futuras convocatorias con la SNI** (comités temáticos y Gerencia de Sostenibilidad) para asegurar la participación de empresas y gremios clave.

- **Definir el público objetivo de las encuestas complementarias** a actores no asistentes, vía SNI.
- **Acordar fechas, objetivos y alcance de los talleres regionales** (Trujillo, Arequipa), articulados con el enfoque territorial.

6.6 Aspectos a completar

- **Resultados cuantitativos de las encuestas de entrada/salida:** existen los JSON por taller (talleres/taller-*/*), pero sus resultados agregados no se incorporaron a este capítulo todavía. Antes del cierre editorial hay que procesarlos y sumar las cifras (nivel de conocimiento previo, priorización de medidas) — no se citan aquí cifras de encuesta para no inventarlas.
- **Sistematización de los talleres regionales:** pendiente por diseño (ocurren el 13-14 jul).

Fuentes: Reporte del ciclo de 6 talleres (equipo consultor, 2026-06-23) y su Anexo 3 (matriz de aportes por sector); encuestas de entrada y salida por taller. Los resultados cuantitativos de las encuestas quedan como aspecto a completar.

7. Conclusiones del diagnóstico

Dónde están las emisiones. El total de la industria manufacturera fue de **17.094,1 kt CO₂eq en 2021**: mitad combustión (1A2, no desagregable por subsector), 43 % procesos (IPPU) y 6 % efluentes (5D2). Dentro del IPPU, **el cemento concentra el 70,4 % y los HFC de refrigeración el 15,8 %**: dos focos que suman el 86 %. El inventario por planta muestra una concentración aún mayor —**UNACEM Atocongo, una planta, es el 32,9 % de todo el IPPU**—, lo que respalda cuantitativamente el énfasis cementero de la agenda.

Qué está comprometido. El listado NDC vigente (D.S. 019-2025-MINAM) incluye **8 medidas de PRODUCE: 3 del PIUP** (PIUP1 cemento, PIUP2 refrigerantes, PIUP3 ácido nítrico) **y 5 de Energía** (ECE14-18). De ellas, solo el cemento (PIUP1) figura como medida en implementación en el BTR1 2024. Fuera del listado NDC, hay un cuerpo de compromisos de industria (Hoja de Ruta Net Zero del cemento) y de empresa (Aceros Arequipa, Owens-Illinois, Enaex) que también descarbonizan.

Qué traba la reducción. Las barreras decisivas son, en buena parte, **no estructurales** (regulatorias, de mercado): el marco de residuos para el co-procesamiento del cemento (en rojo), las normas técnicas de cementos adicionados, las NTP para refrigerantes alternativos. Donde la barrera es estructural —el CO₂ de proceso del cemento y la cal, el N₂O del ácido nítrico— la palanca difiere por la química de cada emisión. La **cal** es el subsector con condiciones habilitantes más trabadas pese a su peso medio.

Qué dijeron los actores. Los seis talleres (74 participantes) confirmaron el diagnóstico técnico y aportaron el ángulo de **demanda y compras públicas** (cemento verde en obra pública, presión de compradores en textil) que las fichas técnicas tocaban menos. Los habilitadores transversales recurrentes —marco regulatorio, financiamiento verde, información/MRV, capacidades, coordinación interinstitucional y cultura de demanda— alimentan directamente los capítulos de habilitadores de la Agenda.

Prioridad proporcional. Combinando peso en emisiones y estado de la medida: cemento (máxima), HFC (alta, por medida NDC y trayectoria de crecimiento), aguas residuales (media-alta, peso alto sin medida propia), cal (media, trabada), y el resto proporcional a su peso. El criterio evita tratar igual a vidrio que a cemento.

Versión 1, 26 de junio de 2026. Capítulos 1-7 completos. El resumen ejecutivo se integra al frente del documento final.