

Directrices sobre Pre- y Co-procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento

Uso de residuos como combustible alternativo y materia prima



AVISO IMPORTANTE

Estas Directrices se dirigen a los interesados y a los encargados de tomar decisiones de los sectores público y privado que se ocupan de la gestión de residuos y la producción de cemento. El documento ofrece principios rectores y da una orientación general sobre las condiciones en que se puede aplicar el pre- y co-procesamiento. Hacen ciertas recomendaciones y proporcionan ciertas experiencias específicas de los países, pero no pueden ni deben utilizarse como modelo o plantilla. Cada persona, entidad jurídica o país, al participar en el pre- y co-procesamiento, debe elaborar sus propias normas basadas en las convenciones internacionales y las condiciones nacionales y locales y debe armonizarlas con su marco jurídico. Estas Directrices no serán legalmente vinculantes ni se interpretarán como constitutivas de ninguna obligación, representación o garantía por parte de los autores o el remitente, ni de ningún asesoramiento técnico, comercial, legal o de otro tipo.

Los resultados, interpretaciones y conclusiones expresados en este trabajo no reflejan necesariamente las opiniones de Holcim Technology Ltd. y *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ), y/o cualquiera de sus respectivos afiliados, directores, oficiales, empleados, consultores, consejeros y/o contratistas. Si bien se han adoptado todas las precauciones razonables para garantizar la exactitud de la información contenida en las presentes Directrices, ninguna de las personas mencionadas anteriormente acepta responsabilidad alguna por los errores u omisiones en las presentes Directrices o en relación con ellas. La información tampoco implica una opinión o un respaldo por parte de esas entidades o personas.

A todos los efectos, la relación jurídica entre las entidades jurídicas, los individuos o cualquier otra persona mencionada en estas Directrices (cada una de ellas una Persona) será la de Personas Independientes, y nada de lo dispuesto en estas Directrices se considerará, en modo alguno o para ningún fin, como constitutivo de una Persona o de una filial de una Persona o de un miembro del grupo de una persona un agente de cualquiera de las otras Personas o de una filial de cualquiera de las otras Personas o de un miembro del grupo de una Persona en la conducción de los negocios de dicha Persona o para crear una sociedad, una agencia o una empresa conjunta entre dichas Personas.



**Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit
GmbH (GIZ)**

S. Blume
Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40
53113 Bonn
Alemania
T +49 228 4460 – 0
E info@giz.de
I www.giz.de

Holcim Technology Ltd

M. Hinkel
Im Schachen
5113 Holderbank
Suiza
T +41 58 858 52 82
E groupsd@lafargeholcim.com
I www.lafargeholcim.com

**University of Applied Sciences and
Arts Northwestern Switzerland,
School of Life Sciences
Institute for Ecopreneurship***

D. Mutz, D. Hengevoss
Hofackerstrasse 30
4132 Muttenz
Suiza
E dieter.mutz@fhnw.ch
E dirk.hengevoss@fhnw.ch
I www.fhnw.ch

Derechos de Autor © 2020 Holcim Technology Ltd y
Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Todos los Derechos Reservados.

* (Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes del Noroeste de Suiza, Escuela de Ciencias de la Vida Instituto de
Ecoemprendimiento)

ACERCA DE ESTAS DIRECTRICES

Estas Directrices son una actualización de las Directrices anteriores de GTZ-Holcim sobre el Co-procesamiento de Materiales de Desecho en la Producción de Cemento publicadas en 2006 (GIZ-Holcim, 2006). En la última década se produjeron cambios en el sector de los residuos y el cemento, cambios que se reflejan en la 2ª edición de las Directrices GIZ-Holcim sobre Pre- y Co-procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento.

Estas Directrices actualizadas son el resultado de una iniciativa conjunta de la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH* (GIZ), Geocycle y *LafargeHolcim* (LH). *LafargeHolcim* (LH) es el líder mundial en materiales de construcción y soluciones activas en cuatro segmentos de negocios: Cemento, Agregados, Concreto Premezclado y Soluciones y Productos, con posiciones de liderazgo en todas las regiones del mundo. Geocycle, filial de LH, es uno de los principales proveedores de servicios de gestión de residuos industriales, agrícolas y municipales en todo el mundo. GIZ es una corporación del gobierno alemán para la cooperación internacional para el desarrollo sostenible con operaciones en todo el mundo. La GIZ tiene operaciones en más de 120 países en el mundo.

Expertos de LafargeHolcim, GIZ y la *University of Applied Sciences and Arts Northwestern Switzerland, School of Life Sciences Institute for Ecopreneurship* (FHNW por sus siglas en inglés (*Escuela de Ciencias de la Vida de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes del Noroeste de Suiza*)) formaron un grupo de trabajo para preparar estas Directrices. Expertos externos de los sectores público y privado proporcionaron su apoyo y asesoramiento. La elaboración del documento fue coordinada por el Instituto de Ecoemprendimiento de la FHNW.

Los autores del grupo de trabajo: Michael Hinkel, Daniel Hinchliffe, Dieter Mutz, Steffen Blume y Dirk Hengevoss desean expresar su sincero agradecimiento a los expertos colaboradores de LafargeHolcim, GIZ y FHNW y a todos los que participaron compartiendo su tiempo, información y conocimientos. Se expresa un gran aprecio a los examinadores externos por su tiempo y sus valiosos conocimientos compartidos:

- Prof. D. C. Wilson Consultor Independiente y Profesor Visitante en el Imperial College de Londres
- Dr. C. Velis Profesor de Doctorado en Sistemas de Eficiencia de Recursos en la Universidad de Leeds y líder del grupo de trabajo de ISWA Marine Litter
- Dr. A. Scheinberg Especialista en Reciclaje Global y Economía Circular, Cooperativa Springloop, Líder del Grupo de Trabajo de ISWA sobre Reciclaje y Minimización de Residuos
- J. Stuen Director técnico de la Agencia de Residuos para la Energía, líder el Grupo de Residuos para la Energía de la ciudad de Oslo y la ISWA
- Dr. V. Hoenig Director General y Jefe de Medio Ambiente y Tecnología de Planta de la VDZ (Asociación Alemana del Cemento)

Por favor, cite "GIZ-LafargeHolcim, Directrices sobre el Pre- y Co-procesamiento de Residuos en la Producción de Cemento – Uso de residuos como combustible alternativo y materia prima".



Prólogo

El objetivo principal de estas Directrices es mejorar la gestión de los residuos ofreciendo información actualizada y objetiva sobre el pre- y el co-procesamiento de los residuos en la industria del cemento. Contienen los conocimientos técnicos y las experiencias prácticas adquiridos en la aplicación del pre- y el co-procesamiento desde la primera edición que sirvió de documento de referencia en los acuerdos internacionales (por ejemplo, el Convenio de Basilea sobre el Tratamiento de los Residuos Peligrosos) y la adaptación de diversas directrices nacionales.

Las Directrices siguen el entendimiento común de que evitar y reducir los residuos es la mejor manera de abordar los problemas actuales de los residuos en todo el mundo. La ampliación de la recolección de residuos al 100% de la población y de las fracciones de residuos es, en particular, un requisito previo para la gestión eficaz de los residuos en muchos países. Sin embargo, las Directrices promueven un enfoque que tiene por objeto reducir los problemas existentes en materia de residuos y, al mismo tiempo, fomentar el uso de los residuos como fuente alternativa de energía primaria y de materias primas vírgenes en la producción de cemento. Siempre que sea posible, se debe dar prioridad a los conceptos de eficiencia de los recursos, economía circular, reciclaje y reutilización.

Mejorar la gestión de los residuos llevará tiempo. Alcanzar el estatus de una solución eficaz de gestión de residuos ha tomado un período de 20 a 30 años en Europa. Se ha apoyado en una legislación estricta para vigilar la calidad y las emisiones. El desarrollo del pre- y co-procesamiento como una opción adecuada de gestión de residuos requiere también tiempo e inversiones. Es necesario aplicar procedimientos rigurosos de autorizaciones y aseguramiento de calidad.

El pre- y el co-procesamiento respeta la jerarquía de los residuos y no la contradice, cuando se siguen estas Directrices. En este contexto, puede clasificarse como una tecnología para la recuperación de energía y el reciclaje de minerales.

La clave para la aplicación de estas Directrices y para lograr el máximo beneficio del pre- y co-procesamiento de residuos en la producción de cemento sigue siendo la estrecha colaboración y cooperación entre los sectores público y privado. El sector privado dispone de técnicas y conocimientos técnicos innovadores y los seguirá desarrollando, mientras que el sector público debe velar por que se mantengan las normas ambientales y se apliquen y hagan cumplir los reglamentos de salud y seguridad. Además, una conducta comercial ética, buena gobernanza y una responsabilidad social siguen siendo requisitos previos para aplicar con éxito las Directrices.

Índice

Aviso Importante.....	2
Acerca de estas Directrices	3
Prólogo.....	4
Resumen Ejecutivo.....	10
Principios Rectores para el Pre- y el Co-procesamiento	12
Grupos Objetivo y Alcance.....	14
Cómo utilizar estas Directrices.....	15
PARTE 1: Introducción	16
1.1 Pre- y Co-procesamiento Hoy	18
1.2 El Desafío de los Recursos y los Residuos	20
1.3 Objetivos de la Agenda de Sostenibilidad Internacional	21
1.4 La Jerarquía de los Residuos.....	24
PARTE 2: Características generales del Pre- y Co-procesamiento.....	26
2.1 Residuos Adecuados para el Pre- y Co-procesamiento	28
2.1.1 Selección de Residuos y AFR.....	30
2.1.2 Residuos Comúnmente Restringidos.....	32
2.2 Pre-procesamiento – De Desecho a Recurso	33
2.3 Co-procesamiento	37
2.3.1 Fabricación de Cemento y Co-procesamiento	37
2.3.2 Selección del Punto de Alimentación de AFR	39
2.4 El Co-procesamiento y el Cambio Climático	41
2.5 Planeación de la Gestión Integrada de Residuos Sólidos	44
2.6 Organización del Pre- y Co-procesamiento.....	45
PARTE 3: Requerimientos para un Pre- y Co-procesamiento Ambientalmente Adecuado	46
3.1 Aspectos Legales e Institucionales	48
3.1.1 Marco Legal.....	49
3.1.2 Marco Institucional.....	49
3.1.3 Proceso de Autorización.....	50
3.2 Aspectos Ambientales	52
3.2.1 Contaminantes Relevantes	53
3.2.2 Técnicas de Reducción de Emisiones.....	56
3.2.3 Monitoreo de las emisiones y Presentación de Reportes	57
3.2.4 Impacto Ambiental del uso de AFR en Productos de Cemento.....	58
3.3 Aspectos Operativos	60
3.3.1 Transporte, Almacenamiento, Tratamiento y Manipulación.....	61
3.3.2 Procedimientos Operativos del Horno.....	61
3.3.3 Manejo del Cloro	61
3.3.4 Control y Aseguramiento de Calidad.....	62
3.4 Aspectos de Salud y Seguridad.....	64
3.4.1 Gestión de Riesgos y Seguridad del Diseño	65
3.4.2 Sistema de Gestión de la Salud y la Seguridad (H&S).....	65
3.4.3 Plan de Respuesta ante Emergencias	66
3.5 Aspectos Sociales: Inclusión y Compromiso de los Interesados.....	68
3.5.1 Toma de Decisiones Inclusiva y de Beneficio Mutuo	69
3.5.2 Comunicación y Compromiso.....	70
3.5.3 Un Actor Clave de la Cadena de Valor: Trabajando con el Sector Informal	74
3.6 Aspectos Económicos y Financieros	78
3.6.1 La Importancia de un Financiamiento Sólido	79
3.6.2 Caso de Negocio.....	80
3.7 Implementación de las Directrices.....	82
3.7.1 Construcción de la Capacidad.....	85

Índice

PARTE 4: Anexos.....	88
Anexo 1 – Bibliografía.....	92
Anexo 2 – Lista de ejemplos de material de desecho adecuado para el pre- y el co-procesamiento	97
Anexo 3 – Impacto de los GHG del pre- y el co-procesamiento	99
Anexo 4 – Ejemplo de caso de negocio pre- y co-procesamiento de RDF.....	100
Anexo 5 – Ejemplo de una tabla de aceptación y rechazo (co-procesamiento).....	104
Anexo 6 – Ejemplos de valores límite para residuos y AFR.....	105
Anexo 7 – Justificación para la exclusión de ciertos materiales de desecho del co-procesamiento.....	107
Anexo 8 – Modelo del permiso.....	110
Anexo 9 – Proceso de Autorización	114
Anexo 10 – Información sobre quemas de prueba.....	115
Anexo 11 – Estructura de un plan de gestión de residuos.....	117
Anexo 12 – Preguntas clave para la evaluación de la línea de base centrada en la inclusividad	118
Anexo 13 – Plantilla para el archivo de datos maestros de residuos de uso común	119
Anexo 14 – Esquema de control de calidad de AFR	123
Anexo 15 – Análisis de la Situación – cómo hacerlo	124
Anexo 16 – Enfoques de la integración del sector informal	125
Abreviaturas.....	126
Abreviaturas generales	126
Abreviaturas químicas.....	127
Unidades	128
Glosario	129

Índice de Tablas y Figuras

Índice de Tablas

Tabla 1	Tasas de sustitución de energía térmica por AF co-procesada en la industria del cemento en 2016 con una cobertura de datos limitada en algunas regiones	18
Tabla 2	Una visión general de los posibles impactos de la mayoría de los residuos comunes y las propiedades de AFR	31
Tabla 3	Método de monitoreo de las emisiones atmosféricas de la planta de cemento (co-procesamiento).....	57
Tabla 4	Clasificación de las Partes Interesadas según los diferentes niveles	71
Tabla 5	Visión general de las herramientas de comunicación y participación	73
Tabla 6	Ejemplo de CAPEX y OPEX para el pre- y co-procesamiento de diferentes residuos.....	81
Tabla 7	Ejemplos de residuos adecuados como AF	97
Tabla 8	Ejemplos de residuos adecuados como AR	98
Tabla 9	Línea de base: supuesto consumo de energía térmica de la planta de cemento	101
Tabla 10	Línea de base: Emisiones de CO ₂ del transporte y la quema de coque de petróleo.....	101
Tabla 11	Línea de base: costos del coque de petróleo de la planta de cemento.....	101
Tabla 12	Proyecto: pre- y co-procesamiento del RDF a partir de residuos de MSW.....	102
Tabla 13	Proyecto: emisiones de CO ₂ del pre- y co-procesamiento.....	102
Tabla 14	Proyecto: reducción de emisiones de CO ₂	102
Tabla 15	Proyecto: Gastos de Operación (OPEX) del pre- y co-procesamiento	102
Tabla 16	Proyecto: Gastos de Capital (CAPEX) del pre- y co-procesamiento	103
Tabla 17	Proyecto: Parámetros financieros.....	103
Tabla 18	Proyecto: resultados valoración financiera	103
Tabla 19:	Valores límite para los residuos utilizados en los hornos de cemento en la legislación austríaca	105
Tabla 20:	Clasificación de las sustancias autorreactivas.....	108
Tabla 21:	Elementos de un plan de gestión de residuos en la Unión Europea	117

Índice de Figuras

Figura 1:	ODS vinculados a la eficiencia de los recursos y la gestión de los residuos	21
Figura 2:	Concepto de economía circular.....	22
Figura 3:	Jerarquía de gestión de residuos.....	24
Figura 4:	Integración del pre- y co-procesamiento en la gestión de residuos	28
Figura 5:	Integración del pre- y co-procesamiento en un concepto de gestión de MSW	29
Figura 6:	Tipos de residuos pertinentes para el pre- y el co-procesamiento.....	30
Figura 7:	Tratamiento mecánico (trituration en 2 etapas) para la producción de combustibles alternativos sólidos.....	33
Figura 8:	Tratamiento Mecánico-Biológico para la producción de AF sólida	33
Figure 9:	Generic process flow of MBT for the generation of RDF.....	34
Figura 10:	Tratamiento fisicoquímico para la producción de AF sólido	35
Figura 11:	Tratamiento mecánico para la producción de AR.....	36
Figura 12:	El proceso de fabricación del cemento.....	37
Figura 13:	Los puntos de alimentación de AFR de un sistema de horno de cemento de última generación.....	39
Figura 14:	Diferentes categorías de AF para diferentes puntos de alimentación	39
Figura 15:	Alimentación de neumáticos enteros a la entrada del horno.....	40
Figura 16:	Alimentación de AF sólido grueso al precalcinador	40
Figura 17:	AF líquido alimentando al fuego principal.....	41
Figura 18:	Factores de emisión y contenido típico de biomasa de los diferentes combustibles alternativos	42
Figura 19:	Ventaja y desventaja de los diversos modelos de integración	45
Figura 20:	Boceto de una cascada de ingresos por costos para el co-procesamiento.....	79
Figura 21:	Evolución del precio del coque de petróleo	80
Figura 22:	La tasa de entrada de residuos para la rentabilidad del pre- y co-procesamiento depende de los costos previstos del combustible primario	81
Figura 23:	Diagrama de flujo de un proceso de autorización	114
Figura 24:	Esquema de control de calidad de AFR	123

Índice de Recuadros y Casos de Estudio

Índice de Recuadros

Recuadro 1: Definición de Residuo.....	18
Recuadro 2: Combustibles Alternativos y Materias Primas AFR (por sus siglas en inglés).....	19
Recuadro 3: Basura Marina – una nueva amenaza para los ecosistemas acuáticos	23
Recuadro 4: Relación dinámica entre el reciclaje y el co-procesamiento	25
Recuadro 5: Ventajas de las características del horno de cemento para el co-procesamiento del AFR.....	38
Recuadro 6: Mercurio	54
Recuadro 7: Dioxinas y Furanos (PCDDs/PCDFs).....	55
Recuadro 8: Transparencia en el Monitoreo de Emisiones	58
Recuadro 9: Toma de Decisiones Inclusiva.....	69

Índice de Casos de Estudio

Caso de Estudio 1: Pre- y co-procesamiento de MSW en Huaxin, China	34
Caso de Estudio 2: De Lodos de Petróleo a Energía en Fujairah (Geocycle, Emiratos Árabes Unidos).....	35
Caso de Estudio 3: Uso de Residuos de Construcción y Demolición como Materias Primas Alternativas en Retznei, Austria	36
Caso de Estudio 4: Desarrollo de cáscara de café como combustible alternativo en Uganda.....	43
Caso de Estudio 5: Cómo dominar el proceso de obtención de permisos en Argentina	51
Caso de Estudio 6: Aumentando la Conciencia sobre el Reciclaje en Colombia.....	74
Caso de Estudio 7: Promoción del uso de RDF a través de Asociaciones Público-Privadas	76
Caso de Estudio 8: Estación de clasificación con recicladores en un vertedero de Filipinas	77
Caso de Estudio 9: De las directrices a la aplicación: De las directrices a la aplicación: Adopción y puesta a prueba de directrices nacionales de co-procesamiento en Filipinas.....	84



Resumen Ejecutivo

Desde principios de la década de los 1980, se han co-procesado con éxito diferentes tipos de residuos como *combustibles alternativos* y *materias primas* (AFR) en hornos de cemento en Europa, el Japón, los Estados Unidos, el Canadá y Australia. En 2006 se publicó la primera edición de las Directrices de GTZ-Holcim sobre el Co-procesamiento de materiales de desecho en la producción de cemento (GIZ-Holcim, 2006), con el objetivo de recoger las lecciones de estas experiencias y ofrecerlas en particular a los países de ingresos bajos y medios como una opción para mejorar los enfoques de la gestión de residuos.

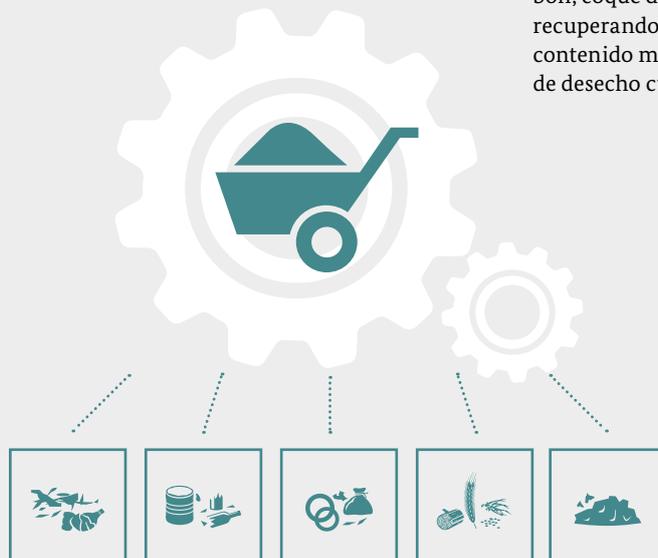
Desde entonces, la gestión de los residuos se ha ganado un lugar mucho más prominente en la agenda política. Los marcos jurídicos e institucionales para la gestión de los residuos se ocupan cada vez más de la importancia de aumentar la eficiencia de los recursos, mejorar la salud pública, mitigar el cambio climático y evitar la basura marina. Estos acontecimientos positivos, así como la experiencia adquirida con el pre- y co-procesamiento desde que se publicaron las primeras directrices, contribuyen a la motivación para publicar una edición revisada de las directrices para actualizar los aspectos técnicos, institucionales, jurídicos y sociales del documento original, incorporar nuevas ideas e información y, en general, apoyar el mejoramiento continuo de la aplicación del pre-procesamiento de los residuos para el co-procesamiento en la industria del cemento.

Si bien en la primera edición de las directrices la atención se centró principalmente en el co-procesamiento de los residuos industriales y comerciales, estas directrices actualizadas hacen ahora más hincapié en el pre-procesamiento de los residuos en AFR, el pre- y co-procesamiento de los residuos municipales y la integración del pre- y co-procesamiento en las cadenas de valor de la gestión local de los residuos. Se ofrece más información sobre la forma en que el pre-procesamiento contribuye a los objetivos de desarrollo sostenible, su relevancia para el clima, la financiación y las formas de trabajar con el sector informal de los residuos. Los principios originales se han ampliado y agrupado con los correspondientes requisitos de implementación. Siguen basándose en los hallazgos y recomendaciones de las experiencias de los países industrializados y en desarrollo, así como del sector público y privado, para mejorar la gestión de los residuos a nivel nacional y local, incluidos los intentos de la industria del cemento de mejorar el desempeño ambiental de la producción de cemento.

¿Qué se entiende por Pre- y Co-procesamiento?

El Pre-procesamiento se refiere a la preparación de los residuos para hacerlos aptos para el co-procesamiento en hornos de cemento. Los residuos se convierten de un material desechado no deseado en un recurso útil, llamado AFR.

El co-procesamiento se refiere al uso de AFR en el proceso de producción de cemento en puntos de alimentación adecuados de forma controlada, donde se quema como combustible y proporciona materia prima. Esto permite la sustitución de combustibles primarios (carbón, coque de petróleo, gas natural) y materias primas, recuperando energía de los residuos y reciclando su contenido mineral. Sólo se pueden utilizar materiales de desecho cualificados para este proceso.





El pre- y co-procesamiento no es una solución autónoma para todas las necesidades de gestión de residuos, pero cuando se siguen los principios y requisitos para el buen funcionamiento que se exponen en este documento, tiene su papel en un sistema integrado de gestión de residuos. El uso de AFR en los hornos de cemento deberá respetar la jerarquía de residuos y no interferir con los esfuerzos de reducción de residuos. Es beneficioso y deseable cuando desvía los residuos de la eliminación que no pueden ser reciclados o reutilizados. De esta manera, el pre- y co-procesamiento puede hacer una contribución importante y estructural a la mejora de la gestión de los residuos en los países de ingresos bajos y medios, y al mismo tiempo reducir la incidencia de la quema a cielo abierto, la basura marina y la eliminación en vertederos no controlados.

Foto:
Almacén de ingreso de la instalación de pre-procesamiento de Geocycle India.

El pre-procesamiento es un factor clave para el co-procesamiento al producir AFR homogéneos cualificados a partir de diferentes corrientes de residuos entrantes, evitando así problemas operacionales durante el co-procesamiento en el proceso de producción de cemento. También es la interfaz clave en la que las plantas de cemento interactúan con los sistemas locales de gestión de residuos. Los cambios en el sistema de residuos relacionados con la introducción del pre- y co-procesamiento deben tener como objetivo crear beneficios mutuos para las comunidades locales, las partes interesadas en el sistema de residuos y el productor de cemento. Para lograrlo, el pre- y co-procesamiento debe adaptarse a las condiciones locales (con la aportación de las partes interesadas) y evaluarse periódicamente en función de sus beneficios para la situación general. Estos beneficios mutuos deben estar claros para todos los interesados y es útil que los cambios se midan, documenten y vigilen.

El uso del pre- y co-procesamiento puede apoyar la gestión de residuos, sustituir combustibles fósiles y materias primas primarias en la producción de cemento y eliminar sustancias nocivas de la economía circular. Esto mejora la eficiencia de los recursos y reduce las emisiones de GHG (Gases de Efecto Invernadero), apoyando así el Acuerdo de París sobre el Clima de 2015 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. En comparación con otras tecnologías de conversión de residuos en energía, como la incineración de residuos, el co-procesamiento tiene la ventaja de que puede incorporarse en las instalaciones locales de producción de cemento existentes y no requiere grandes inversiones en nuevas infraestructuras de gestión de residuos. Las condiciones de alta temperatura en el horno de cemento tienen ventajas inherentes que evitan la formación de compuestos peligrosos o los destruyen, mientras que al mismo tiempo unen los minerales al producto de cemento, evitando problemas de residuos peligrosos residuales. Al mismo tiempo, el uso de AFR puede disminuir los costos de manejo de residuos y reducir los costos de producción de cemento. Sin embargo, hay algunas reglas y principios básicos que deben observarse, que se resumen en los siguientes principios rectores.

Principios Rectores para el Pre- y el Co-procesamiento

Es de suma importancia que el pre- y co-procesamiento respete la jerarquía de residuos/economía circular y que se implemente de una manera segura y ambientalmente racional. Por consiguiente, deben seguirse los siguientes principios rectores para garantizar una implementación exitosa. El principio general debe considerarse como una condición previa para el pre- y co-procesamiento. Se expone en la [Parte 1](#) del presente documento, mientras que en la [Parte 3](#) se especifican los requisitos correspondientes e información más detallada sobre cómo aplicarlos. Aquí se ofrece una visión general de los principios rectores a modo de referencia:

Principio General

Respetar la Jerarquía de Residuos y la Economía Circular



- El pre- y co-procesamiento respetará la jerarquía de los residuos y por lo tanto no obstaculizará la reducción, reutilización y reciclaje de los mismos.
- El pre- y co-procesamiento se considerará una parte integrada de la gestión moderna de los residuos, ya que proporciona una solución de reciclado de minerales y recuperación de energía ambientalmente racional.
- El pre- y co-procesamiento puede considerarse una contribución a la economía circular al reducir el uso de combustibles fósiles y materias primas primarias, así como al asegurar ciclos de materiales limpios mediante la eliminación de sustancias nocivas.

Principios de Implementación

Marco Legal e Institucional (I)



- Debe garantizarse el cumplimiento de todas las leyes y reglamentos pertinentes.
- El pre- y co-procesamiento deberá estar en línea con los acuerdos internacionales pertinentes (por ejemplo, los Convenios de Basilea y Estocolmo).
- Se garantizará una vigilancia eficaz por parte de un regulador ambiental calificado, que tenga suficiente capacidad institucional.
- Los requisitos y necesidades específicas de cada país se reflejarán en los reglamentos y procedimientos.
- Si no existe un marco jurídico local para el pre- y el co-procesamiento y/o si éste no es coherente, se aplicarán las mejores prácticas internacionales y se garantizará la creación de la capacidad necesaria, así como el establecimiento de acuerdos institucionales.

Medio Ambiente (II)



- Se evitarán o se mantendrán al mínimo las emisiones adicionales y otros efectos negativos en el medio ambiente del pre- y co-procesamiento.
- Las emisiones al aire y al agua procedentes del co-procesamiento no serán superiores a las de la producción de cemento sin co-procesamiento.
- Los productos de cemento (hormigón, mortero) no se utilizarán como sumidero de elementos potencialmente tóxicos (por ejemplo, metales pesados).

Operación y Control de Calidad (III)



- Sólo se seleccionarán las corrientes de residuos apropiadas. Estos serán pre-procesados para asegurar el control de calidad, el manejo adecuado y el funcionamiento estable del horno durante el co-procesamiento.
- Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento deben estar calificadas. Éstas garantizarán el control y la vigilancia continuos de los insumos y los parámetros pertinentes de sus procesos de producción.
- La calidad de los productos de cemento (hormigón, mortero) permanece inalterada.

Salud y Seguridad (IV)	<ul style="list-style-type: none"> • Las empresas activas en el pre- y co-procesamiento establecerán controles de riesgo apropiados para proporcionar condiciones de trabajo saludables y seguras para los empleados y contratistas. • Las empresas deberán tener buenos registros de cumplimiento de seguridad, así como personal, procesos y sistemas comprometidos con la protección de la salud y la seguridad establecidos.
	
Inclusividad y Compromiso (V)	<ul style="list-style-type: none"> • Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento participarán regularmente y se comunicarán de manera transparente con el público, las autoridades competentes y otras partes interesadas. • Se tendrán en cuenta las necesidades locales y específicas de cada país, así como los diferentes contextos culturales, al llevar a cabo el pre- y co-procesamiento. • Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento consultarán y colaborarán con los actores de la cadena de valor de la gestión local de residuos existente, incluidos los trabajadores informales del sector de los residuos.
	
Económico y Financiero (VI)	<ul style="list-style-type: none"> • Los proyectos de pre- y co-procesamiento se basarán en un modelo comercial financieramente sostenible, que aporte valor a todas las partes interesadas y a las comunidades locales. • Se establecerán mecanismos de financiación para garantizar que las intervenciones cuenten con financiación a medio y largo plazo.
	
Implementación (VII)	<ul style="list-style-type: none"> • Es necesario establecer sistemas de monitoreo y auditoría para una implementación exitosa. • La creación de capacidad y la formación a todos los niveles es esencial.
	

Los países que están considerando el pre- y el co-procesamiento necesitan marcos legislativos y reglamentarios apropiados. Las leyes nacionales deben definir los principios básicos en los que se basa el pre- y co-procesamiento y definir los requisitos y normas. Éstas deberían ser la base del proceso de concesión de permisos. Si no existen reglamentos específicos, el operador de la planta debe aplicar las mejores prácticas internacionales en el marco del derecho ambiental general y las normas internacionales deben servir de referencia. Deberían realizarse evaluaciones de línea base o de referencia, *incluidas evaluaciones del impacto ambiental y social* (EIA y SIA), gestión local de residuos y evaluaciones de la cadena de valor para confirmar el cumplimiento de las normas ambientales y sociales. Algunos residuos no deben ser nunca pre- y co-procesados; éstos van desde ciertos residuos sanitarios hasta explosivos y residuos radiactivos. Por lo general, las corrientes de residuos necesitan un pre-procesamiento antes de que puedan ser co-procesados, y los enfoques para el uso de AFR deben tener en cuenta la necesidad de regular y gestionar eficazmente estas plantas de pre-procesamiento.

Seguir ciertas reglas básicas asegura que el pre- y co-procesamiento no tenga impactos negativos en las emisiones, ni perjudique la calidad del cemento producido. Esto incluye alimentar los AF en las zonas más adecuadas del horno, alimentar los materiales que contienen niveles elevados de orgánicos volátiles sólo en la zona de alta temperatura, y evitar los materiales que contienen contaminantes que los hornos no pueden retener, como el mercurio. Las emisiones deben ser monitoreadas, algunas sólo una vez al año y otras continuamente.

Los operadores de instalaciones de pre-procesamiento y plantas de cemento que utilicen AFR garantizarán la trazabilidad desde la recepción hasta el tratamiento final. El transporte de residuos y los AFR deben cumplir con las normativas. Las plantas deben haber desarrollado, implementado y comunicado a los empleados planes adecuados de respuesta a derrames y de emergencia. Para el arranque y el apagado, debe excluirse el uso de AFR. Las estrategias para tratar los AFR deben estar documentadas y a disposición de los operadores de planta. Las plantas necesitan sistemas de control de calidad bien planificados y que funcionen, así como protocolos de monitoreo y auditoría. Los riesgos pueden reducirse al mínimo si se localizan adecuadamente las plantas en función del entorno ambiental, la proximidad a las poblaciones y asentamientos, y el impacto de la logística y el transporte. Las plantas requerirán una buena infraestructura en cuanto a soluciones técnicas para vapores, olores, polvo, infiltración en aguas subterráneas o superficiales y protección contra incendios. Todos los aspectos del uso de los residuos y los AFR deben estar bien documentados, ya que la documentación y la información son la base de la apertura y la transparencia sobre las medidas de salud y seguridad, dentro y fuera de la planta. Los empleados administrativos y técnicos deben ser entrenados en el manejo y procesamiento de los residuos y AFR. Comprender los riesgos y cómo mitigarlos son claves para el entrenamiento. La capacitación de las autoridades es la base para construir la credibilidad.

La introducción del pre- y co-procesamiento requiere una comunicación y un compromiso abiertos con todos los interesados. Proporcionar toda la información pertinente a los interesados para que puedan comprender los propósitos del co-procesamiento, el contexto, las funciones de las partes involucradas y los procedimientos de toma de decisiones. Los debates abiertos sobre las buenas y malas experiencias forman parte de la transparencia, que conduce a la adopción de medidas correctivas. Ser creíble y coherente, cultivando un espíritu de diálogo abierto y respeto por las diferentes culturas. La comunicación debe comenzar temprano y nunca detenerse. Los paneles consultivos de la comunidad pueden apoyar el intercambio de forma regular.

En estas Directrices se ha mantenido el listón muy alto en cuanto a las normas ambientales, sociales y de salud y seguridad, pero son realistas y alcanzables. Se necesitan metas ambiciosas para alcanzar los objetivos (por ejemplo, los Objetivos de Desarrollo Sostenible). Sin embargo, no se puede esperar que el sector público de ningún país o todos y cada uno de los operadores de plantas cementeras o empresas de manejo de residuos de cualquier parte del mundo puedan aplicar todas las normas propuestas de inmediato. Para alcanzar las normas propuestas, se requiere un programa o plan de acción (por fases) escalonado y específico para cada país, que idealmente represente un consenso (que refleje la mayor cooperación) entre el sector público y el privado. Algunos países de bajos y medianos ingresos necesitarán ayuda en la creación de capacidades en este tema antes de lanzar los programas de AFR. Para tener éxito a largo plazo, la financiación de los proyectos de pre- y co-procesamiento debe estar asegurada, y puede ser apoyada mediante una legislación de residuos apropiada que respete la jerarquía de los residuos, haciendo que los vertederos o el vertido abierto sean opciones poco atractivas. A medida que las poblaciones y los ingresos aumentan en todo el mundo, también aumentan los problemas de gestión de los residuos, y lo mismo ocurre con la necesidad de más cemento y hormigón para las viviendas y la infraestructura. El uso de residuos como combustibles y materias primas en los hornos de cemento, si se gestiona adecuadamente, puede ayudar a gestionar los residuos y reducir al mismo tiempo el impacto ambiental de la producción de cemento.

Grupos Objetivo y Alcance

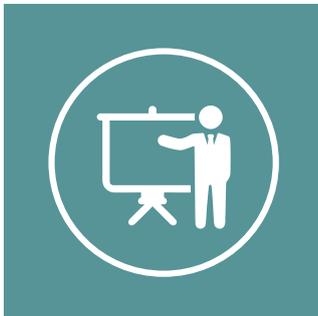
El principal grupo destinatario de estas Directrices son los encargados de la toma de decisiones en el sector de los residuos y el cemento. Los encargados de la toma de decisiones en el gobierno, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y la sociedad civil son también partes importantes del público al que van dirigidas estas Directrices, que pueden ayudarles a comprender los principios y requisitos mínimos para aplicar el pre- y el co-procesamiento de manera segura y ambientalmente racional.

Las Directrices tienen por objeto sensibilizar a la gente, proporcionar conocimientos técnicos y promover un diálogo informado entre las partes interesadas. Pueden servir de base para el desarrollo de la capacidad y la consideración del pre- y el co-procesamiento como parte de la planificación de la gestión integrada de los residuos.

El ámbito de aplicación de las Directrices se limita a los procesos “frontales” de pre- y co-procesamiento. Por lo tanto, no aborda la reutilización y el reciclado de agregados y hormigón ni el uso de residuos o subproductos minerales (por ejemplo, cenizas volantes, yeso sintético, escoria granulada de alto horno) en la molienda de cemento. Mientras que los AFR pueden ser usados en otros procesos industriales, esta directriz sólo se refiere al uso en la producción de cemento. Se mantiene la atención en los países de ingresos bajos y medios en los que el concepto de pre- y co-procesamiento en la producción de cemento todavía no está ampliamente aceptado ni aplicado.

Cómo utilizar estas Directrices

Las Directrices están divididas en tres partes para ayudar a guiar al lector a través de las diferentes áreas.



PARTE 1: INTRODUCCIÓN

Después del resumen ejecutivo, la orientación comienza por presentar la situación del pre- y co-procesamiento en todo el mundo, antes de pasar a explicar los desafíos del aumento del consumo de recursos y la gestión inadecuada de los residuos. El papel que puede desempeñar el pre- y co-procesamiento para ayudar a hacer frente a estos desafíos y a cumplir con el clima y los ODS se explica a través de la perspectiva de la economía circular, así como la forma en que el pre- y el co-procesamiento se relaciona con otras opciones de gestión de residuos a través de la jerarquía de residuos. Establece y da contexto al principio general.



PARTE 2: CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PRE- Y EL CO-PROCESAMIENTO

En la parte 2 se presentan al lector los aspectos técnicos del pre- y co-procesamiento, así como la forma en que éstos interactúan con el sistema local de gestión de residuos y le brindan apoyo. Cubre las características básicas del pre- y co-procesamiento y el proceso de producción de cemento: ¿Qué tipos de AFR hay? ¿De dónde se pueden obtener y luego incorporarse en el proceso de producción de cemento? ¿Cuál es la relevancia del clima y dónde encaja en la cadena de valor local? Se discute la organización del pre- y co-procesamiento en la planificación de la gestión integrada de los residuos, así como el papel que pueden desempeñar las partes interesadas.



PARTE 3: REQUISITOS PARA UNA IMPLEMENTACIÓN AMBIEN- TALMENTE RACIONAL

La tercera parte representa la parte más importante de las Directrices: establecer los requisitos para un pre- y co-procesamiento sostenible y ambientalmente racional. Esta sección abarca los marcos jurídicos e institucionales, el control y la vigilancia de las emisiones ambientales, los procedimientos operacionales para garantizar el control de la calidad, la salud y la seguridad, la financiación sólida, las comunicaciones y el compromiso con el sector informal. Los principios y requisitos correspondientes a cada tema se exponen al principio de cada sección. En un capítulo final se detallan los siguientes pasos para la implementación: el desarrollo de la capacidad y la forma de aplicar secciones específicas de las Directrices.

A lo largo del documento se utilizan *casos de estudio* seleccionados para dar una breve visión de la situación en diferentes países, mientras que en los *recuadros* se destaca la información clave. No menos importantes son los *Anexos* de la *Parte 4*, en los que se dan ejemplos adicionales, diagramas de flujo y valores de referencia para apoyar la aplicación de las Directrices.





PARTE 1

INTRODUCCIÓN

Estableciendo las bases: La Parte 1 introduce el estado del pre- y co-procesamiento en todo el mundo (1.1), antes de pasar a explicar los desafíos del aumento del consumo de recursos y la gestión inadecuada de los residuos (1.2). El papel que puede desempeñar el pre- y el co-procesamiento para ayudar a hacer frente a esos desafíos y a cumplir los objetivos climáticos y de desarrollo sostenible (ODS) se explica desde la perspectiva de la economía circular (1.3), así como la forma en que el pre- y el co-procesamiento se relacionan con otras opciones de gestión de residuos a través de la jerarquía de residuos (1.4), en consonancia con el principio general.

1.1 Pre- y Co-procesamiento Hoy

Existe una gran experiencia en el co-procesamiento de fracciones de residuos en hornos de cemento. Fracciones de residuos municipales, residuos industriales peligrosos y no peligrosos, residuos comerciales, residuos y residuos agrícolas, residuos de construcción y demolición y los residuos de la industria extractiva (minería) han sido pre-procesados con éxito para convertirlos en *Combustibles Alternativos* y *Materias Primas* (AFR) derivados de los residuos y co-procesados en hornos de cemento en Europa, el Japón, los Estados Unidos, el Canadá y Australia desde principios de los 1980s.

El co-procesamiento se ha convertido en una solución de gestión de residuos bien establecida y ampliamente aceptada en Europa, con algunas plantas que logran sustituir hasta el 100% de los combustibles fósiles convencionales con AFs. En Alemania, la tasa media de sustitución de la energía térmica en la producción de cemento alcanzó el 65% en 2017 (VDZ, 2017a). Al mismo tiempo, durante el co-procesamiento, la fracción inorgánica de los AF (Combustibles Alternativos por sus siglas en inglés) y AR (Materias Primas Alternativas por sus siglas en inglés) se incorporan completamente al cemento, reemplazando así las materias primas naturales, y por lo tanto reciclando la fracción mineral de este desecho. En los últimos años, alrededor del 17% de las materias primas utilizadas en la producción de cemento en Alemania consistían en AR, que totalizaban unos 8.8 millones de toneladas por año (VDZ, 2017a).



Recuadro 1: Definición de Desecho

La Directiva Marco Europea de Residuos (2008/98/CE) define los residuos en el artículo 3 como: “toda sustancia u objeto que su poseedor deseche o que tenga la intención o la obligación de desechar” (CE, 2008). Los residuos pueden ser peligrosos o no peligrosos, sólidos, líquidos o pastosos (lodo). Todo material de desecho puede definirse por su origen (municipio, industria, agricultura, minería, etc.); por lo tanto, siempre debe establecerse una categorización adecuada a nivel nacional para ayudar a crear un entendimiento común al definir un marco jurídico.



En 2016 las empresas miembros de la *Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento*¹ (CSI), que representan alrededor del 20% de la producción mundial de cemento, co-procesaron 21 millones de toneladas de AF en todo el mundo (CSI, 2016). La *Tabla 1* muestra la evolución de las tasas de sustitución de energía térmica por AF en diferentes regiones del mundo entre 1990 y 2016.

Tabla 1
Tasas de sustitución de energía térmica por Combustible Alternativo (AF) co-procesado en la industria del cemento en 2016 con una cobertura de datos limitada en algunas regiones (CSI 2016).

Región	Energía térmica sustituida por AF			
	1990	2000	2010	2016
Mundo	2.0%	5.2%	12.1%	16.7%
Europa	2.7%	9.3%	30.4%	44.2%
Norteamérica	3.9%	7.3%	12.7%	15.8%
Latinoamérica	2.1%	4.8%	11.8%	14.2%
Asia Oceanía	0.7%	3.6%	4.3%	9.0%
África Medio Oriente	0.0%	0.0%	2.1%	6.3%
Países – CIS	0.0%	0.0%	0.6%	1.8%

1. *La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento* (CSI) ya no existe en la misma forma bajo el Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible, y fue incorporada a la Asociación Mundial del Cemento y el Hormigón (GCCA) el 1 de enero de 2019.

En la mayoría de los casos, los materiales de desecho sólo pueden utilizarse para el co-procesamiento después de su clasificación y alguna forma de tratamiento. Esto ha dado lugar a un desarrollo dinámico de las instalaciones y la tecnología de pre-procesamiento, transformando los residuos mediante tratamiento manual, mecánico, biológico o físico-químico en AFR para el proceso de fabricación de cemento y otras industrias intensivas en energía. Las instalaciones de pre-procesamiento están a cargo de grandes empresas de gestión de residuos, muchas empresas pequeñas y medianas y la propia industria del cemento.



Recuadro 2: *Combustibles Alternativos y Materias Primas (AFR)*

AFR se refiere a los residuos y subproductos seleccionados que pueden ser co-procesados en la producción de cemento (CSI, 2014). *Los combustibles alternativos (AF)* tienen un contenido de energía recuperable (valor calórico), que sustituye las necesidades energéticas de una porción de los combustibles fósiles convencionales. *Las Materias Primas Alternativas (AR)* contienen minerales útiles como calcio, sílice, alúmina, hierro y azufre, y pueden sustituir a las materias primas en la producción de clínker o componentes minerales en la producción de cemento.

Foto:
Combustible
Derivado de
Residuo.

A pesar de más de 30 años de experiencias positivas con el pre- y el co-procesamiento en países de altos ingresos, la aceptación y la adopción de AFR en la industria del cemento ha sido lenta en las economías en desarrollo y emergentes debido al limitado conocimiento del potencial del pre- y el co-procesamiento en la recuperación de energía y el reciclado de minerales, la falta de marcos legislativos e institucionales, así como las incertidumbres económicas y financieras. La resistencia a la incineración de residuos y las preocupaciones conexas del público y la sociedad civil en relación con los posibles efectos en el medio ambiente y la salud también pueden desempeñar un papel. Más recientemente, la competencia por los materiales en las cadenas de valor de los residuos, tanto formales como informales, ha suscitado preocupaciones de justicia, equidad e inclusión, y estas cuestiones representan una nueva dimensión en estas Directrices.

Sobre la base de la primera versión de estas Directrices, la CSI elaboró en 2014 las Directrices para el Co-procesamiento de Combustibles y Materias Primas en la Fabricación de Cemento (CSI, 2014), actualizadas en 2018 (GCCA, 2018). Además, desde 2011 el Convenio de Basilea reconoce el co-procesamiento como una solución de gestión ambientalmente racional de los residuos peligrosos y otros residuos (PNUMA, 2011). El reconocimiento es un primer paso importante, pero el desarrollo del pre- y co-procesamiento como una opción de gestión de residuos segura y ambientalmente sostenible también requiere inversiones en tecnología, conocimientos reglamentarios y procedimientos rigurosos de concesión de permisos y aseguramiento de calidad. El logro de una solución eficaz de gestión de residuos en Europa se ha ido produciendo gradualmente a lo largo de 15 o 20 años y se ha visto respaldado por una estricta legislación para vigilar la calidad y las emisiones. Además, las novedades en materia de pre- y co-procesamiento también están estrechamente vinculadas a los cambios en el marco jurídico, institucional y financiero de la gestión de los residuos, como la imposición de impuestos o la prohibición de los vertederos.

En 2018, la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la CSI publicaron la segunda edición de su hoja de ruta de tecnología climática para el sector del cemento, en la que el co-procesamiento de AFR desempeña un papel importante en el cumplimiento de los objetivos de reducción del clima para 2050 (IEA/CSI, 2018). Los gobiernos de países emergentes como la India, Egipto, Brasil e Indonesia también han establecido políticas y hojas de ruta que alientan a las empresas y a los responsables de la toma de decisiones públicas a estimular tasas más elevadas de co-procesamiento como una forma de cumplir sus objetivos en materia de gestión de residuos, clima y sostenibilidad (WBCSD/IEA, 2012), (Vanderborght, et al., 2016), (SNIC, 2019). En algunos otros países de ingresos bajos y medios, los gobiernos, junto con los productores de cemento, están sólo en la etapa de considerar los primeros pasos para incluir el pre- y el co-procesamiento en sus políticas y hojas de ruta. Por consiguiente, se necesita una orientación mejor y más actualizada sobre el pre- y el co-procesamiento, y es probable que tenga una importancia estratégica para la industria del cemento en sus objetivos de formular un enfoque sostenible y socialmente responsable para mejorar la gestión de los residuos en las ciudades de rápido crecimiento de los países de ingresos bajos y medios.

1.2 El Desafío de los Recursos y los Residuos

El crecimiento demográfico, el crecimiento económico, la rápida urbanización, el aumento de la prosperidad y los estilos de vida modernos van de la mano del aumento del consumo de recursos. El uso de los recursos mundiales se ha cuadruplicado en los últimos 40 años y no muestra signos de desaceleración (IRP, 2017). Este agotamiento de los recursos naturales es motivo de preocupación, ya que ya se han superado los límites de las múltiples fronteras planetarias necesarias para mantener los sistemas de apoyo vitales para el clima, la agricultura y la vida marina (Rockström, et al., 2009).

El sector de la construcción es responsable de aproximadamente la mitad del uso de los recursos (De Wit et al., 2018). Como principal material de construcción utilizado para satisfacer las necesidades de construcción e infraestructura de la vida moderna, el concreto es el recurso más consumido en todo el mundo, después del agua. El ingrediente clave que da al concreto su fuerza es el cemento, que representa típicamente alrededor del 10-15 % de la masa del concreto, uniendo las materias primas agregadas como la arena, la roca y la grava.

La producción anual de cemento, impulsada principalmente por la creciente demanda en las zonas urbanas en expansión de los países de ingresos bajos y medios, ha aumentado drásticamente en los últimos 15 años, con incrementos medios del 5 % anual. La producción mundial de cemento ha pasado de 1.8 Gt en 2002 a 4.1 Gt en 2017 (USGS, 2013). Durante este período la producción de cemento de China se ha cuadruplicado, de modo que China representa ahora más de la mitad de la producción mundial de cemento. Se prevé que la demanda y la producción mundiales sigan creciendo, y la hoja de ruta tecnológica de la IEA/CSI prevé un aumento adicional del 12 al 23 % para 2050, impulsado por el crecimiento de los países en desarrollo (AIE/CSI, 2018).

La producción de cemento es un proceso intensivo en energía. La producción de clinker (el principal componente del cemento) requiere que la piedra caliza y otros ingredientes se calienten a temperaturas de 1,450 °C, lo que permite las reacciones de calcinación y clinkerización. Las altas temperaturas exigen la combustión de cantidades importantes de combustibles, que tradicionalmente consistían en combustibles fósiles convencionales como el gas natural, el carbón o el coque de petróleo. Como resultado, la producción de cemento contribuye aproximadamente con el 7 % de las emisiones antropogénicas mundiales de *gases de efecto invernadero* (GHG por sus siglas en inglés), el 60-70 % de la calcinación de las materias primas y el 30-40 % de la combustión de combustibles. Como uno de los principales usuarios de recursos y generador de emisiones de CO₂, la industria del cemento tiene un papel clave que desempeñar en los esfuerzos por desvincular el uso de recursos y las emisiones de carbono del crecimiento económico.

Al mismo tiempo, el Banco Mundial estima que la generación mundial de *Residuos Sólidos Municipales* (MSW por sus siglas en inglés) en las ciudades, aumentará de 2,001 millones de toneladas en 2016 a 3,400 millones de toneladas en 2050 (Kaza et al., 2018), y que los mayores aumentos se producirán en las ciudades de rápido crecimiento de las economías de ingresos bajos y medios. En estos países la gestión de los residuos sigue siendo un gran desafío, ya que se estima que 2,000 millones de personas en todo el mundo no tienen acceso a la recolección de residuos sólidos, y al menos 3,000 millones de personas en todo el mundo siguen sin tener acceso a instalaciones controladas de tratamiento y eliminación de residuos (UNEP, 2015).

Cuando no se recogen, los residuos son en muchos casos arrojados y quemados abiertamente cerca de la fuente, lo que causa la proliferación de enfermedades infecciosas y problemas respiratorios. Los residuos a menudo se filtran a las vías fluviales causando bloqueos o, en última instancia, contaminando el medio ambiente marino. Los esfuerzos por aumentar las tasas de recolección son una condición previa para aumentar la cantidad de residuos tratados de manera segura y ambientalmente racional. Sin embargo, en muchos casos las cantidades de residuos recolectadas no llegan a las instalaciones de reciclado, recuperación o eliminación controlada, sino que se envían a vertederos no controlados.

Fotos:

Vertedero Olusun en Lagos, Nigeria.

Sitio de Construcción en Dubái.



Las prácticas inadecuadas de gestión de residuos están asociadas a la contaminación del aire, el agua y el suelo, a los efectos negativos en los ecosistemas y al deterioro de las condiciones de vida y la salud humana. Las sustancias tóxicas y los compuestos químicos persistentes se escapan al medio ambiente, se propagan por el aire y el agua en grandes áreas y finalmente entran en la cadena alimentaria afectando a la salud humana y animal. Según el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (IPCC), el sector de los residuos representa alrededor del 3% de las emisiones antropogénicas mundiales de gases de efecto invernadero, de las cuales aproximadamente 0.6 Gt de CO₂ eq proceden de los vertederos, 0.75 Gt de CO₂ eq del tratamiento de aguas residuales y el resto de la incineración y el tratamiento de otros residuos (EPA, 2014).

Sin embargo, en la estimación mencionada no se tienen en cuenta las principales fuentes de emisión, como la quema a cielo abierto de residuos, que emite carbono negro (hollín), contaminantes climáticos de corta duración y compuestos tóxicos estables. Los estudios estiman que la quema a cielo abierto por sí sola podría ser responsable de hasta el 5% de las emisiones antropogénicas mundiales de GHG (EPA, 2014). Además, se subestiman las posibles reducciones de GHG derivadas de las mejoras en el sector de la gestión de residuos, ya que a menudo se atribuyen a reducciones en otros sectores. Por ejemplo, el biogás procedente de la digestión anaeróbica de residuos de alimentos se considera como producción de energía renovable, mientras que el co-procesamiento de las fracciones de residuos biogénicos se considera como la reducción de CO₂ en la producción de cemento. La *Perspectiva Mundial sobre la Gestión de los Residuos* utiliza un enfoque de ciclo de vida para llegar a una estimación de que entre el 10 y el 15% de las emisiones antropogénicas mundiales de GHG podrían evitarse mediante mejores prácticas de gestión de los residuos (UNEP/ISWA, 2015).

Para abordar y modificar las prácticas deficientes de gestión de los residuos, es necesario contar con la participación de las partes interesadas de diferentes sectores y, en este contexto, el pre- y el co-procesamiento pueden desempeñar un papel importante. Cuando se aplica en línea con los requisitos establecidos en estas Directrices, hay pruebas considerables de que la estrategia combinada de pre-procesamiento de las fracciones no reciclables de los residuos residuales para convertirlas en AFR y el posterior co-procesamiento en las plantas de cemento ofrece una solución de gestión de residuos segura, ambientalmente racional y rentable para una amplia gama de residuos. Las sustancias más nocivas son destruidas por las altas temperaturas de funcionamiento, lo que proporciona una situación medioambiental beneficiosa para todos: menos residuos en los vertederos, menores porcentajes de combustible fósil, menores emisiones de CO₂ en la producción de cemento y reducción de las fracciones no reciclables de los plásticos que de otro modo podrían entrar en el medio marino. La fracción mineral de los residuos se incorpora al clinker de cemento, lo que significa que no hay fracciones residuales de cenizas o efluentes, a diferencia de otras tecnologías de conversión de residuos en energía (WtE) como la incineración en masa, la gasificación o la pirólisis. Una ventaja adicional del co-procesamiento es que las plantas de cemento en funcionamiento ya están presentes en prácticamente todos los países: el co-procesamiento es, por lo tanto, una estrategia para mejorar un sistema de gestión de residuos sin grandes inversiones en nueva infraestructura para la eliminación de residuos.

1.3 Objetivos de la Agenda de Sostenibilidad Internacional

La humanidad necesita urgentemente modelos de uso circular de recursos en los que los recursos extraídos circulen a través de muchos ciclos de vida y se renueven como insumos industriales, en lugar de convertirse en residuos al final de su primera vida útil como producto o empaque. Existe un consenso cada vez mayor en cuanto a que los aumentos drásticos en el uso de recursos a nivel mundial son síntomas de un modelo económico industrial lineal que maximiza la extracción, la producción, la venta, el consumo y la eliminación. El resultado es un rápido crecimiento mundial de la generación de residuos.



Figura 1: Los ODS vinculados a la eficiencia de los recursos y la gestión de los residuos.

En septiembre de 2015, la comunidad internacional ratificó el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible para 2030. La Agenda 2030 comprende 17 *Objetivos de Desarrollo Sostenible* (ODS) para guiar la política y la financiación mundial durante los próximos 15 años. Los ODS tienen como objetivo lograr condiciones de vida decentes para una población mundial creciente sin pasar los límites ambientales cruciales.

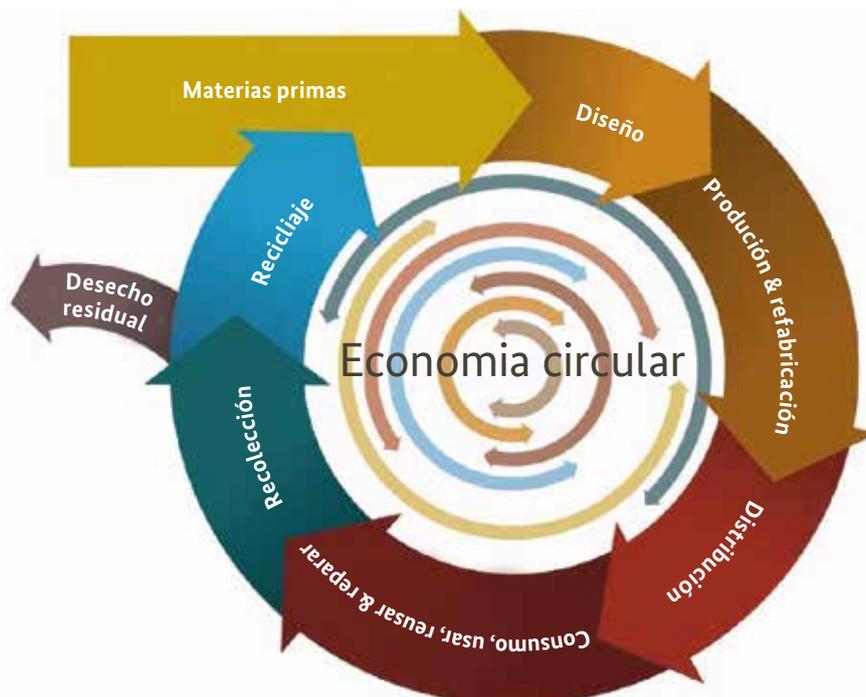
Entre los 17 ODS, el ODS 9 (Industrialización inclusiva y sostenible), el SDS 11 (Ciudades y Comunidades Sostenibles), el SDS 12 (Consumo y Producción Sostenibles) y el ODS 13 (Acción por el Clima) son pertinentes para la toma de decisiones en torno al pre- y el co-procesamiento, ya que tienen objetivos de aumento de la eficiencia de los recursos, mejores prácticas de gestión de los residuos y reducción de las emisiones de productos químicos y contaminantes a la atmósfera, el agua y el suelo. Los beneficios potenciales de cumplir con las metas de sostenibilidad son enormes: el *Panel Internacional de Recursos* (IRP por sus siglas en inglés) estima que un cambio hacia vías de uso eficiente de los recursos podría reducir el 28% del uso de los recursos naturales, y hasta el 72% de las emisiones globales (IRP, 2017).

El cumplimiento de los ODS está fuertemente vinculado a la reducción de la pobreza, la creación de medios de vida decentes y la reducción de los impactos del cambio climático, – uno de los mayores desafíos que enfrenta la humanidad en los años venideros. A este respecto, la comunidad internacional también respaldó el Acuerdo de París sobre el Clima en diciembre de 2015 y se comprometió a limitar el calentamiento de la Tierra en este siglo a un máximo de 2 grados centígrados por encima de los niveles pre-industriales. Para alcanzar los objetivos climáticos y los objetivos estratégicos de desarrollo sostenible es necesario cambiar el “business as usual” en la producción industrial y los diferentes modos de cooperación internacional.

Lograr el ODS 11 sobre ciudades sostenibles, que se centra en la mejora de la gestión de los residuos hasta 2030, así como el ODS 13 sobre la acción climática es una tarea difícil para el sector de los residuos y la industria del cemento. Para hacer frente a este desafío, la IEA-CSI ha elaborado una hoja de ruta tecnológica para cumplir el objetivo de los 2 grados centígrados para 2050, lo que requeriría una reducción de las emisiones directas anuales de la producción de cemento del 24% en comparación con los niveles actuales. Se espera que los ahorros acumulados de CO₂ para 2050 provengan de medidas de eficiencia energética (3%), la sustitución de los combustibles fósiles por combustibles alternativos (12%, objeto de esta directriz), la reducción de la proporción de clinker en el cemento (37%), y la futura captura de carbono y tecnologías innovadoras (48%) (IEA/CSI, 2018). Para más información sobre cómo la sustitución de combustibles fósiles por AF afecta al balance de CO₂ de la producción de cemento, [ver la sección 2.4](#).

El ODS 12 se basa en el concepto de una economía circular: un nuevo modelo para una economía más verde, que tiene por objeto desvincular el crecimiento económico y el bienestar humano del consumo cada vez mayor de recursos naturales y los impactos ambientales conexos. La economía circular representa un cambio sistémico que se aleja del modelo de “tomar, hacer, desechar”, hacia una economía en la que los productos, componentes y materiales circulan durante el mayor tiempo posible con la máxima utilidad en todo momento.

Figura 2:
Concepto de la economía circular (Comisión Europea, 2014).



La economía circular apoya la prevención, reducción y reutilización de los residuos (incluida la reparación) como primera prioridad, seguida del reciclado, la recuperación de energía y, como último recurso, la eliminación. Su objetivo es recuperar los materiales clave necesarios para la sociedad y, al mismo tiempo, permitir el crecimiento económico y la innovación. Se requieren grandes esfuerzos en la transición a una economía circular, ya que en la actualidad sólo el 9.1% de los materiales de todo el mundo son ciclados en la economía mundial (De Wit et al., 2018). En la gestión de residuos la prioridad estriba en primer lugar en mejorar las tasas de recolección de todos los residuos y en seguir la jerarquía de los mismos (*véase el capítulo siguiente* para más detalles). El pre- y co-procesamiento – clasificado como reciclaje de minerales y recuperación de energía – representan una solución de menor prioridad que la reutilización o el reciclaje de materiales en lo que respecta a la jerarquía de la gestión de los residuos, lo que también se refleja en los Principios Rectores expuestos en el resumen ejecutivo. Estas Directrices adoptan la posición de que, a pesar de su lugar en la jerarquía, el co-procesamiento puede hacer una contribución importante y estructural a la mejora de la gestión de los residuos en los países de ingresos bajos y medios, al satisfacer parcialmente la necesidad apremiante de eliminación controlada y recuperación de energía y reducir la incidencia de la quema a cielo abierto, la basura marina y la eliminación en vertederos no controlados. Específicamente, el pre- y co-procesamiento puede hacer importantes contribuciones a la reducción de CO₂ y a la transición de la economía circular a través de:

- una eliminación confiable de las sustancias nocivas y sus residuos a través de altas temperaturas de procesamiento controladas, tras el consenso de que es mejor destruirlas que dejarlas circular por un sistema de producción de economía circular
- el mejor uso de los residuos que llegaron al final de su vida útil y que ya no pueden ser reciclados.
- conservación de los recursos primarios (materias primas y combustibles) sustituyéndolos por recursos secundarios
- recuperación de energía a partir de materiales de desecho para los que todavía no se dispone de instalaciones de reciclado o las tecnologías de reciclado no son viables desde el punto de vista financiero.



Recuadro 3: Basura Marina – una nueva amenaza para los ecosistemas acuáticos

La basura marina es otro problema mundial emergente reconocido internacionalmente en el Objetivo de Desarrollo Sostenible 14.1 “Prevenir y reducir considerablemente la Contaminación Marina de todo tipo, en particular la procedente de actividades terrestres”.

Los plásticos y microplásticos se han vuelto globalmente omnipresentes en los océanos y en los ambientes de agua dulce, lo que genera preocupaciones sobre sus impactos en la salud y la biodiversidad. Alrededor del 60-90% de la basura marina consisten en plásticos (UNEP, 2016), la gran mayoría de los cuales proceden de fuentes terrestres y entran en el medio marino desde los asentamientos humanos como resultado de las deficiencias de los sistemas municipales de recolección y tratamiento de residuos. Se estima que en todo el mundo alrededor de 4.8 a 12.7 Ton de residuos plásticos entran en el mar sólo desde fuentes terrestres y poblaciones que viven a menos de 50 km de la costa (Jambeck, et al., 2015), mientras que los ríos pueden contribuir con

1.2 a 2.4 Ton adicionales por año (CIWM, 2016). Treinta y ocho de los cincuenta mayores vertederos no controlados del mundo se encuentran en zonas costeras, muchos de ellos derramando residuos directamente en el mar (ISWA, 2016). Se han puesto en marcha numerosas iniciativas para generar conciencia y comprometerse a combatir la basura marina. Las medidas locales, como la ampliación de la recolección de residuos sólidos municipales a todos los países en desarrollo, la mejora de las tasas de reciclaje y la eliminación incontrolada, podrían reducir a la mitad las cantidades de plásticos que entran en los océanos (CIWM, 2018). Como opciones de costo moderado, el pre- y co-procesamiento de los residuos plásticos no reciclables puede ayudar a mejorar los sistemas de gestión de residuos y reducir la eliminación incontrolada. Esto a su vez tiene el potencial de reducir o eliminar las emisiones terrestres que terminan como basura marina.



Foto:
Basura marina en la playa.

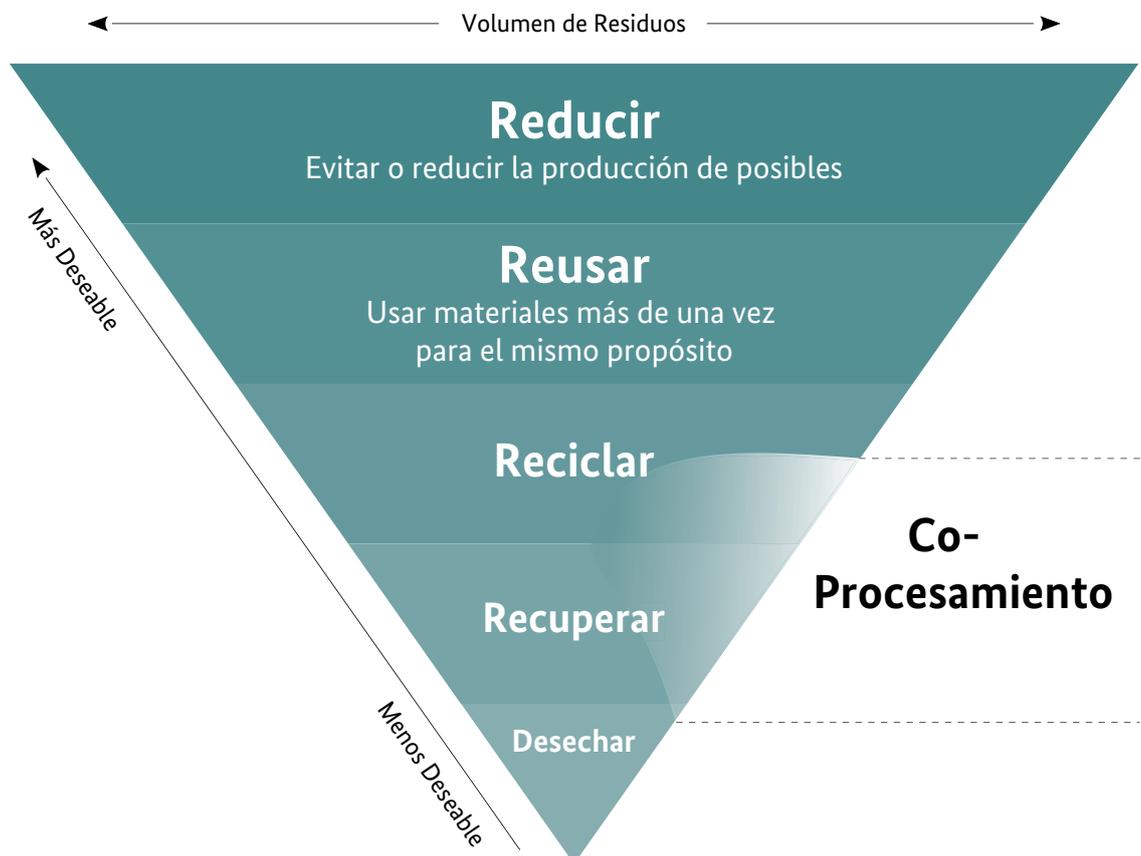
1.4 La Jerarquía de los Residuos

La jerarquía de residuos es un marco mundial ampliamente aceptado por los encargados de formular políticas para el diseño de sistemas de gestión de residuos, teniendo en cuenta la gestión de los recursos y las consideraciones ambientales y financieras.

En el contexto de las presentes Directrices, la jerarquía de residuos tiene por objeto ilustrar la pertinencia del pre- y el co-procesamiento en comparación con otras opciones de gestión de residuos. La jerarquía de residuos se define en gran medida de la siguiente manera, de conformidad con la Directiva Marco Europea de Residuos (CE, 2008):

- *La prevención o reducción de los residuos* es la solución más deseada, lo que significa que se adoptan medidas en la etapa de diseño, producción o utilización antes de que una sustancia, material o producto se convierta en un desecho.
- *La reutilización* se refiere a cualquier operación por la cual los productos o componentes se utilizan de nuevo para el mismo propósito para el que fueron concebidos originalmente.
- *Por reciclado* se entiende toda operación mediante la cual los residuos se reprocessan en productos, materiales o sustancias, ya sea para el propósito original (circuito cerrado) o para otros (circuito abierto). El pre-procesamiento puede mejorar la recolección y clasificación de materiales para su reciclado, mientras que el co-procesamiento recicla el contenido mineral (es decir, Ca, Al, Fe, Si) de los residuos para la producción de cemento.
- *Por recuperación* se entiende toda operación cuyo objetivo principal es utilizar los residuos como un recurso útil mediante la sustitución de otros materiales, incluidos los combustibles. El Co-procesamiento recupera el contenido orgánico de los residuos en el horno de cemento como energía térmica, sustituyendo a los combustibles convencionales.
- *La eliminación* es la solución menos deseada. La eliminación controlada (vertederos sanitarios, incineración sin, o con recuperación limitada de energía) sólo debe utilizarse para los residuos que no puedan gestionarse con ninguna de las opciones de gestión de residuos mencionadas. La eliminación incontrolada (vertido, quema a cielo abierto) supone una gran amenaza para el medio ambiente y la salud humana y debería evitarse. En el caso de algunos residuos peligrosos (por ejemplo, plaguicidas, PCB), en los que no es posible el reciclado y la recuperación, el co-procesamiento es también una opción de eliminación ambientalmente y financieramente racional.

Figura 3: Jerarquía de gestión de residuos. El co-procesamiento se superpone con los niveles de reciclaje, recuperación (de energía) y para residuos seleccionados con desechar.



Aplicando la jerarquía de residuos se hace evidente que los materiales que pueden ser reciclados en un circuito cerrado (metales, papel, vidrio, ciertos tipos de plástico) no deben ser aceptados para el pre- y co-procesamiento. En este sentido, el pre- y co-procesamiento es complementario y no compite con el reciclaje en circuito cerrado.

La definición de “reciclado en circuito cerrado” no es la misma en todos los sistemas normativos, pero en general significa que los materiales que se van a reciclar terminan en última instancia en un proceso de producción y un sistema de fabricación que produce materiales o productos similares a los que se produjeron, utilizaron y eliminaron originalmente. En general, los materiales aptos para los procesos de reciclaje en circuito cerrado son:

- separados para su reciclaje porque están designados por las leyes, las políticas públicas o los objetivos, o por otro lado son buscados, comprados y procesados activamente por los posibles usuarios comerciales en función de su calidad y valor intrínseco
- comercializables en la cadena de valor dentro de la región
- capturados antes de ser mezclados con materiales de desecho orgánicos y otros no reciclables, o en algunos casos extraídos a mano por recicladores informales de corrientes de residuos mixtas
- recogidos por separado o transformados en recursos secundarios
- comercializados en la industria por insumos industriales, o porque se comercializarán aún más
- utilizados como insumos para la fabricación.

El hecho de que el reciclaje sea una opción real en un lugar y un momento determinados, depende en gran medida del contexto.



Recuadro 4: Relación dinámica entre el reciclaje y el co-procesamiento

La reciclabilidad no es sólo un criterio técnico, sino también uno industrial y económico. Hay muchas situaciones en las que el reciclaje en circuito cerrado no es atractivo, e incluso algunos casos en los que las cadenas de valor locales son demasiado débiles para absorber todos los materiales reciclables. A veces esto se debe a que los niveles inferiores de la cadena de valor están ausentes o demasiado alejados, a que las entidades públicas carecen de conocimientos sobre comercialización o infraestructura para asegurar la correcta separación y manipulación de los materiales o a las fluctuaciones del mercado y los precios en la cadena de valor del reciclaje.

Otros obstáculos técnicos para el reciclado de los residuos sólidos urbanos son los pequeños formatos (por ejemplo, los sobrecitos), los envases de múltiples materiales, la contaminación con sustancias orgánicas (por ejemplo, los alimentos en envases para llevar), los aditivos y los plásticos negros que, por lo general, no pueden ser detectados por los sensores de las plantas de reciclado. En estas situaciones, la inclusión de materiales en el Combustible Alternativo y la Materia

Prima – sobre una base dinámica – podría ser mejor que la eliminación o el almacenamiento a largo plazo. Así pues, es muy útil que las autoridades encargadas de los residuos, los operadores de instalaciones de pre-procesamiento y las empresas cementeras que participan en el co-procesamiento tengan un proceso de consulta que les permita tomar decisiones conjuntamente, y dirigir los materiales que no se almacenan fácilmente y que no pueden ser actualmente reutilizados o reciclados hacia el pre- y el co-procesamiento. Este es un ejemplo de toma de decisiones dinámicas en tiempo real, y aumenta enormemente el valor del pre- y co-procesamiento para todo el sistema de gestión de residuos. También se ajusta al principio de desarrollar beneficios compartidos para todos los interesados en la cadena de valor local. Por esta razón, es importante diseñar o adaptar las líneas e instalaciones de pre-procesamiento para que puedan tratar los materiales reciclables de manera diferente en diferentes momentos. Esto asegura que el reciclaje y el co-procesamiento pueden mantener una relación dinámica y no necesariamente competir entre sí.

Existe un gran dinamismo en los entornos habilitantes nacionales que afectan a los sistemas de residuos, y el panorama institucional y económico globalizado del reciclaje. Una mayor optimización del reciclado en circuito cerrado y los nuevos requisitos legales previstos basados en el concepto de economía circular darán lugar a que, con el tiempo, se desvíen más materiales hacia el reciclado. Sin embargo, debido a la mejora de las tasas de recolección y a las prohibiciones completas de vertido de residuos sin control y de quema a cielo abierto, es de esperarse que aumenten realmente las cantidades absolutas de residuos disponibles para el co-procesamiento. El pre-procesamiento es cada vez más necesario en los sistemas modernos de residuos, lo que aumenta las posibilidades a largo plazo de un co-procesamiento flexible en muchos mercados. Por lo tanto, el pre- y co-procesamiento seguirá siendo una tecnología técnicamente factible, económicamente viable y ambientalmente racional en los años venideros.



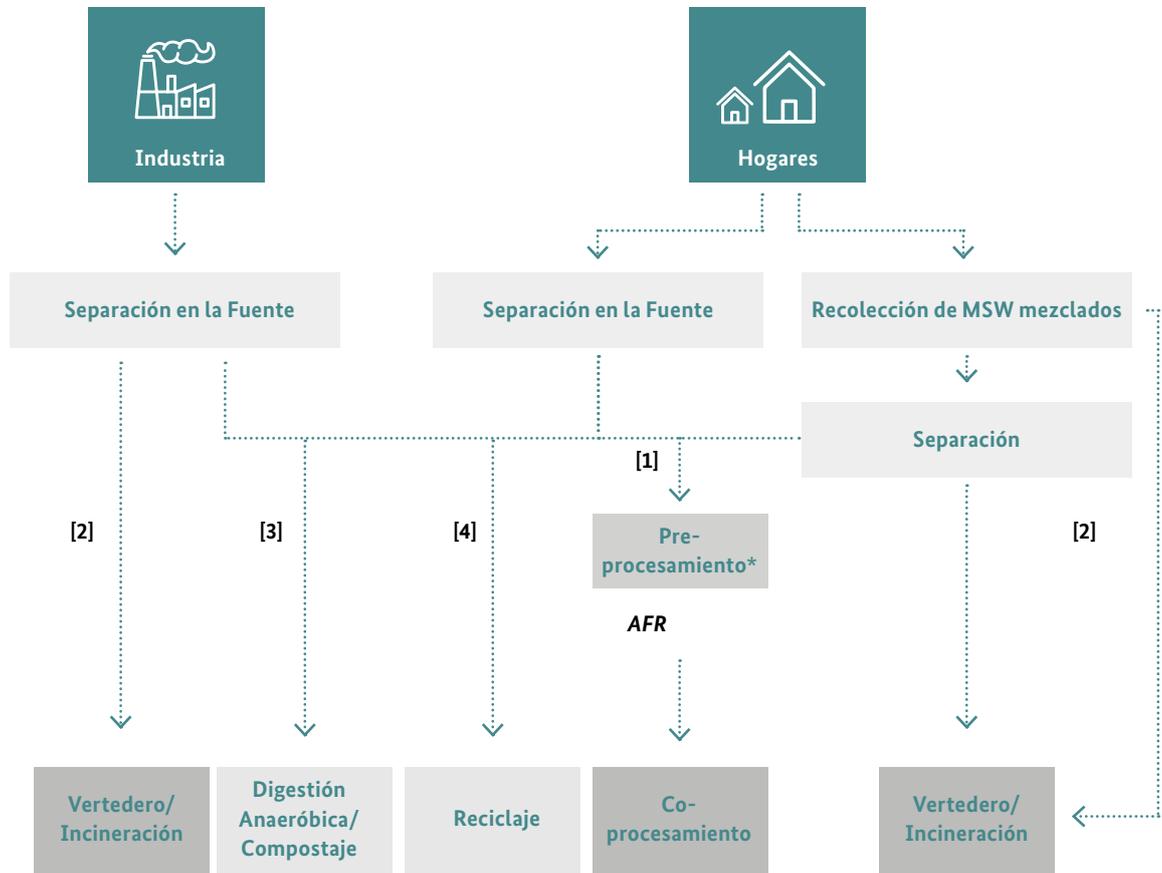
PARTE 2

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PRE- Y EL CO-PROCESAMIENTO

Reforzando su conocimiento: La Parte 2 examina las características técnicas que hay detrás del pre- y co-procesamiento, y dónde encajan en la cadena de valor local. El capítulo comienza examinando los diferentes tipos de residuos y su idoneidad para el co-procesamiento (2.1), para luego examinar las diferentes técnicas de pre-procesamiento (2.2). A continuación, se ofrece una visión general del co-procesamiento en el proceso de producción de cemento (2.3) y por qué es particularmente adecuado para el tratamiento de AFR, así como la forma en que esto afecta a las emisiones relevantes para el clima (2.4). Por último, se examinan las formas en que el pre- y el co-procesamiento pueden incorporarse a la planeación de la gestión integrada de los residuos (2.5) y organizarse en el sistema de gestión de residuos existente (2.6).

2.1 Residuos Adecuados para el Pre- y Co-procesamiento

Figura 4: Integración del pre- y co-procesamiento en la gestión de los residuos de la industria y los hogares.



* Algunos residuos de la industria, como los aceites y disolventes de desecho, no requieren pre-procesamiento

Legenda:

- [1] Residuos no reciclables
- [2] No es reciclable ni aplicable para co-procesamiento
- [3] Biomasa
- [4] Reciclables

Condiciones:

- [1] – Alto poder calorífico
- Sustitución de materias primas
- Tratamiento térmico seguro de residuos peligrosos

Las fracciones de residuos aptas para el reciclado en circuito cerrado, como el cartón, el plástico duro, el vidrio o el metal, se separan en la mayoría de los países desarrollados en origen o en estaciones de clasificación después de la recolección de los residuos. En los países emergentes y en desarrollo, la separación de los materiales reciclables suele ser realizada por el sector *informal de reciclaje* (IRS por sus siglas en inglés) durante la recolección, en las estaciones de transferencia o en el propio vertedero.

Sólo muy pocos tipos de residuos (por ejemplo, neumáticos enteros) pueden ir directamente a la planta de cemento para el co-procesamiento sin más tratamiento. Todos los demás residuos aptos para el co-procesamiento se transfieren primero a instalaciones de pre-procesamiento dedicadas a la producción de AFs o materias primas. La selección de qué residuos y AFR son adecuados para el pre- y co-procesamiento debe seguir un procedimiento completo de calificación y aceptación basado en el riesgo para garantizar un pre- y co-procesamiento seguro y respetuoso con el medio ambiente.

En la *figura 5* se ilustra el concepto básico del pre- y co-procesamiento como parte de un sistema integrado de gestión de residuos.



Figura 5: Integración del pre-procesamiento en un concepto de gestión de MSW.

En función de las propiedades físicas y las características químicas de los residuos, se aplican procesos mecánicos, biológicos o fisicoquímicos para transformar los residuos en un recurso de acuerdo con los requisitos y criterios de aceptación de la planta de cemento.

Por último, durante el co-procesamiento en la planta de cemento, el contenido mineral (es decir, Ca, Al, Fe, Si) de los residuos se recicla completamente como materia prima sin crear ningún desecho, sustituyendo a los minerales de los recursos naturales, mientras que el contenido orgánico de los residuos se recupera como energía térmica, sustituyendo a los combustibles convencionales.



Fotos: Rejilla mecánica en la plataforma de pre-procesamiento.

Residuos de goma después de la trituración.

2.1.1 Selección de Residuos y AFR

Una amplia variedad de materiales de desecho residuales han sido pre-procesados con éxito en AFR para su co-procesamiento en hornos de cemento. Los principales flujos objetivo incluyen fracciones de MSW, residuos industriales peligrosos y no peligrosos, residuos comerciales, así como residuos agrícolas y residuos de construcción y demolición. En la *figura 6* se muestran los principales tipos de residuos aptos para el co-procesamiento, se identifican sus fuentes y se proporcionan algunas estimaciones aproximadas sobre la generación mundial y su disponibilidad.

Figura 6:
Tipos de residuos relevantes para el pre- y co-procesamiento.

Residuos Sólidos Municipales (MSW)	Residuos Industriales Peligrosos	Residuos Industriales No Peligrosos	Residuos de Biomasa	Materias Primas Alternativas
				
Tipo de Desecho				
<ul style="list-style-type: none"> Residuos municipales clasificados Residuos municipales secos 	<ul style="list-style-type: none"> Petróleo y Gas Químicos Farmacéuticos Automotriz Líquidos 	<ul style="list-style-type: none"> Rechazos de negocios FMCG Empaques Llantas Destrucción fiscal 	<ul style="list-style-type: none"> Cascarilla (arroz, soya, etc.) Madera Semillas Bagazo 	<ul style="list-style-type: none"> Hierro, aluminio Sílice, arcilla, yeso Cenizas volantes, escoria Residuos de demolición de construcciones
Clientes típicos				
<ul style="list-style-type: none"> Municipios Empresas de Gestión de Residuos 	<ul style="list-style-type: none"> Empresas locales y multinacionales 	<ul style="list-style-type: none"> Empresas locales y multinacionales 	<ul style="list-style-type: none"> Agricultores, plantíos, molinos Brokers, comerciantes 	<ul style="list-style-type: none"> Empresas locales y multinacionales
Generación de Residuos				
• 1,300 Mill Ton	• 200-400 Mill Ton	• 1,200 Mill Ton	• 140,000 Mill Ton	• 800-1,000 Mill Ton

A fin de garantizar un pre- y co-procesamiento seguro y ambientalmente racional es necesario especificar los criterios de selección y restringir el uso de ciertos residuos. La selección de los residuos y su aceptación en las instalaciones de pre-procesamiento debe estar dictada en general por los siguientes criterios:

PRE-PROCESAMIENTO



- ✓ Evitar los residuos no aptos para el pre- y co-procesamiento
- ✓ Asegurar el tratamiento más favorable según la jerarquía de los residuos cooperando con la cadena de valor local
- ✓ Cumplir con cualquier requisito legal, ambiental, operacional y de salud y seguridad (H&S) de la instalación de pre-procesamiento
- ✓ Optimizar los costos financieros y económicos netos del manejo de residuos
- ✓ Asegurar que se puedan cumplir los criterios de aceptación de AFR de la planta de cemento
- ✓ Diseñar la instalación de pre-procesamiento para permitir la elección dinámica de los materiales a seleccionar y responder a las condiciones del mercado y otras condiciones.

De manera similar, la selección y aceptación del AFR para el co-procesamiento en la planta de cemento puede caracterizarse de la siguiente manera (*véase también el capítulo 3.3.4 Control y garantía de calidad*):

CO-PROCESAMIENTO



- ✓ Cumplir con todos los requisitos legales, ambientales, operacionales y de salud y seguridad de la planta de cemento
- ✓ Mantener o mejorar todas las normas de calidad de producto para el clinker, el cemento y el concreto
- ✓ Mantener la asequibilidad en relación con los costos de la producción de cemento.

El proceso de selección de residuos descrito anteriormente debe basarse en un plan integral de gestión ambiental y de calidad para cada sitio de pre- y co-procesamiento, incluyendo:

- Pre-aceptación de residuos y AFR (calificación de la fuente)
- Aceptación de residuos y AFR
- La calidad de los AFR y el control de calidad del producto
- Monitoreo de las emisiones y presentación de reportes.

En el *Anexo 14* se ilustran los esquemas de control de calidad de los residuos y del AFR para una plataforma de pre-procesamiento y una planta de cemento. En la *tabla que figura a continuación* se resumen las propiedades más comunes de los residuos y de AFR y sus posibles repercusiones en los requisitos ambientales, operacionales, de salud y seguridad y de calidad de los productos.

Propiedades	Ambiente	Salud y Seguridad	Operación	Calidad de producto
Capacidad Calorífica			X	
Humedad			X	
Cenizas				X
Cloro, azufre			X	X
Metales pesados	X	X		X
Orgánicas	X	X		
Mineralogía			X	X
Granulometría			X	
Punto de ignición		X		

Tabla 2
Una visión general de los posibles impactos de la mayoría de los residuos comunes y las propiedades de los AFR.

Los datos sobre residuos y la calidad de los AFR y los datos sobre emisiones no sólo constituyen la base para garantizar el cumplimiento ante las autoridades, sino también para platicar con interesados externos a fin de abordar las preocupaciones locales de que las instalaciones de pre-procesamiento o las plantas de cemento podrían utilizarse indebidamente para la eliminación incontrolada de residuos.

En algunos países, los reguladores han definido ciertos criterios de aceptación de los residuos o de AFR en forma de valores límite de contaminantes (*véase el Anexo 6*). No existen valores límite generalmente acordados, ya que se aplican diferentes criterios, según la situación local.

Aspectos a considerar para los criterios de selección de AFR

- ✔ Políticas ambientales nacionales
- ✔ Esfuerzos para armonizar las leyes y normas ambientales suprarregionales
- ✔ Niveles de contaminantes en los combustibles tradicionales y las materias primas
- ✔ Alternativas de tratamiento de residuos disponibles
- ✔ Nivel de toxicidad de los contaminantes en los residuos
- ✔ Requisitos de calidad del cemento
- ✔ Control de calidad de la AFR y control de calidad de los productos
- ✔ Vigilancia de las emisiones y presentación de informes.

Esos valores límite deben ser definidos, preparados y revisados periódicamente por las autoridades nacionales o locales en cooperación con el sector de la gestión de residuos y las asociaciones del cemento. El objetivo es definir valores límite apropiados para las circunstancias y requisitos locales.

Foto:
Control de Calidad
de AFR.



2.1.2 Residuos Comúnmente Restringidos

Debido a la composición química, las propiedades de los materiales o los posibles peligros, algunos residuos pueden ser inadecuados para el pre-procesamiento o el co-procesamiento y no deben utilizarse, ya que ello podría poner en peligro el funcionamiento seguro de una instalación de pre-procesamiento o una planta de cemento y podría tener importantes repercusiones ambientales. La siguiente lista de materiales de desecho no debe considerarse para el pre- y co-procesamiento (véanse las explicaciones al respecto en el *Anexo 7*):

- ⊗ Residuos radiactivos
- ⊗ Residuos que contienen asbesto
- ⊗ Explosivos y municiones
- ⊗ Compuestos térmicamente inestables autorreactivos
- ⊗ Residuos anatómicos, infecciosos y sanitarios
- ⊗ Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos
- ⊗ Baterías enteras.

Las instalaciones individuales de pre-procesamiento y las plantas de cemento también pueden excluir otros materiales, según el proceso y el equipo de tratamiento disponibles, la química de las materias primas y los combustibles locales, el tipo de proceso de producción de cemento, la disponibilidad de equipo de laboratorio, el equipo disponible para la manipulación y la alimentación de AFR, y las cuestiones de salud, seguridad y medio ambiente específicas del lugar.

2.2 Pre-procesamiento – De Desecho a Recurso

La mayoría de las corrientes de residuos son demasiado heterogéneas en su composición química y propiedades físicas para ser directamente co-procesadas en la planta de cemento. Necesitan someterse a un tratamiento inicial, el llamado pre-procesamiento, para transformarlos en un AFR homogéneo que cumpla con los requisitos ambientales y operativos de la planta de cemento.

Las instalaciones de pre-procesamiento implican diferentes operaciones unitarias como la separación/clasificación, la combinación/el mezclado, la reducción de tamaño (trituration o aplastamiento) y el secado. Los diferentes procesos de producción de combustibles derivados de residuos se describen exhaustivamente en el documento de la UE *mejor referencia* (BREF) para las industrias de tratamiento de residuos (BREF, 2017).

Los residuos sólidos suelen ser pre-procesados mediante un tratamiento mecánico o mecánico-biológico para producir AFs sólidos (por ejemplo, *combustible recuperado sólido* (SRF por sus siglas en inglés), *combustible derivado de residuos* (RDF por sus siglas en inglés)). En caso de que los residuos contengan pocos o ningún material biodegradable, la instalación de pre-procesamiento sólo mejora la alimentación mediante un tratamiento mecánico, principalmente a través de la reducción del tamaño y la eliminación de materiales inertes no combustibles (piedras, vidrio, metales, etc.). En la [Figura 7](#) se ilustra un proceso de tratamiento mecánico con trituradora primaria, separador gravitacional (windshifter) y trituradora secundaria.

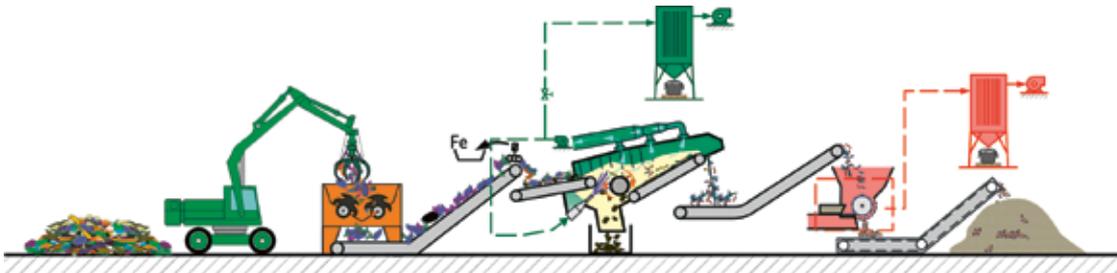


Figura 7: Tratamiento mecánico (trituration en 2 etapas) para la producción de combustibles alternativos sólidos (Geocycle).

En los casos en que los residuos sólidos también contengan cantidades importantes de materiales biodegradables, se podrá utilizar un tratamiento *mecánico y biológico combinado*. El tratamiento biológico consiste en una degradación aeróbica exotérmica parcial de la fracción de residuos orgánicos. Los procesos biológicos utilizados para la producción de AF sólido suelen basarse en la aireación forzada y conducen a una reducción de la humedad (biodesecación), así como a una reducción de los olores mediante la estabilización biológica (Velis et al., 2009). En algunos casos, el AFR sólido también se seca térmicamente para aumentar aún más su poder calorífico. Los procesos de secado térmico utilizan preferentemente el exceso de calor del horno de cemento o la energía solar como fuente de calor.

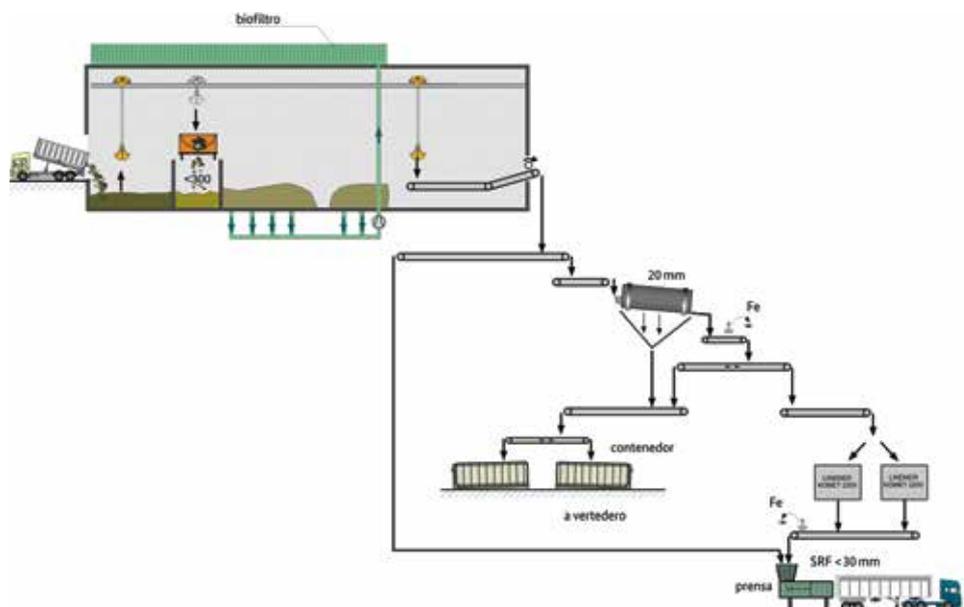


Figura 8: Tratamiento Mecánico-Biológico (MBT) para la producción de AF sólido Geocycle).

Figura 9:
Flujo de proceso genérico de MBT para la generación de RDF (GIZ, 2017).

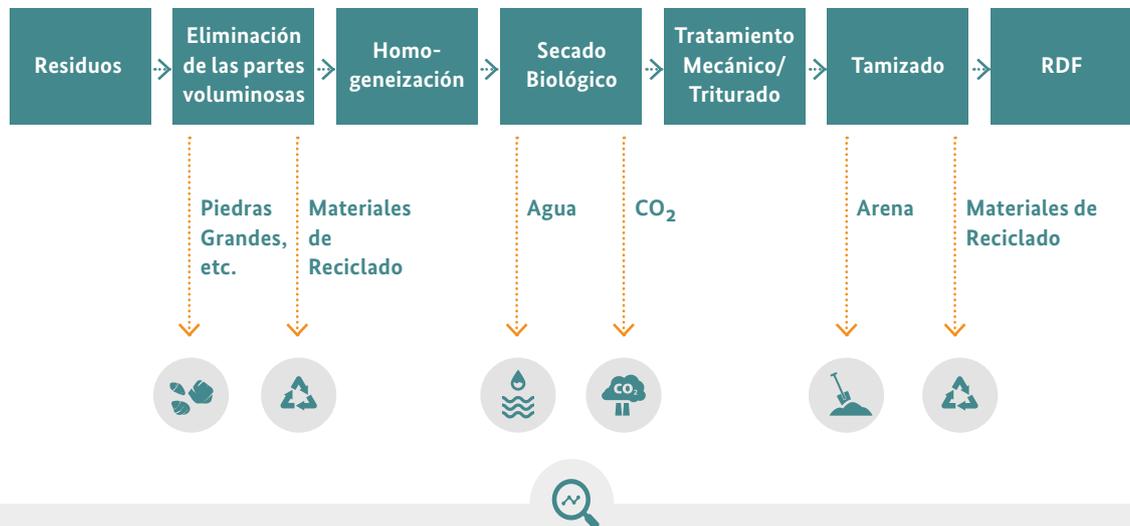


Foto:
Instalación de pre-procesamiento de MSW Huaxin Eco en Wuhan, provincia de Hubei, China.



Caso de Estudio 1: Pre- y co-procesamiento de MSW en Huaxin, China

Como en muchos otros países de ingresos bajos y medios, en China los residuos sólidos urbanos no se separan en la fuente, por lo que el contenido orgánico y de agua es muy alto: especialmente en verano puede llegar al 80%. Al mismo tiempo, la fracción inerte puede llegar al 40% en las zonas rurales (por ejemplo, las cenizas de las cocinas de carbón de los hogares). Estas propiedades hacen imposible el co-procesamiento de MSW sin clasificar en los hornos de cemento.

Huaxin propuso desarrollar y construir una instalación de pre-procesamiento centrada en el secado de los MSW y la separación de los materiales reciclables e inertes para producir RDF adecuados para los hornos de cemento. El principal objetivo del pre-procesamiento es una reducción del contenido de humedad a cerca del 35% y aumentar el poder calorífico neto a 8-10 GJ/t por

medio de tratamiento biológico. Además, se ha añadido un sistema de alimentación de RDF a los hornos de cemento existentes para permitir el co-procesamiento de RDF. En la planta de cemento se ha construido un sistema de recepción y almacenamiento, dosificación y alimentación de RDF, así como sistemas de detección, alarma y combate de incendios. En el precalcinador se han alcanzado tasas de co-procesamiento de RDF de 700 t/día para un horno de cemento con una capacidad de 5.000 t/día de clinker, lo que corresponde a una tasa de sustitución térmica del 54%.

El mayor desafío fue encontrar los parámetros de operación óptimos para la fermentación, el tratamiento de lixiviados y el biofiltro para las diferentes composiciones de residuos sólidos urbanos durante las diferentes estaciones. Una de las principales conclusiones es que no existe una solución estándar para el pre-procesamiento de MSW. Es necesario optimizar el diseño y los parámetros de funcionamiento caso por caso, dependiendo de la calidad local y la estacionalidad del MSW. También es crucial encontrar un punto de equilibrio adecuado entre la inversión y el costo de operación de los beneficios del pre-procesamiento y el co-procesamiento para optimizar la generación de valor de todo el proceso. Por lo tanto, antes de desarrollar el diseño conceptual de un proyecto de este tipo, es esencial tener una buena comprensión de la calidad de los residuos, idealmente, con base en una campaña de caracterización de los residuos de todo el año.

Los residuos o lodos líquidos o pastosos pueden preprocesarse simplemente mediante tratamiento mecánico, mezcla (homogeneización) y eliminación de los sólidos de gran tamaño, o mediante tratamiento fisicoquímico. El tratamiento mecánico produce AF líquidos o pastosos que requieren instalaciones dedicadas para la alimentación de líquidos o lodos para el co-procesamiento en la planta de cemento. El tratamiento fisicoquímico, aplicado principalmente a los residuos peligrosos, produce en cambio un combustible alternativo sólido mezclando los residuos líquidos y pastosos con un adsorbente como el aserrín hasta que se adsorbe todo el líquido libre.

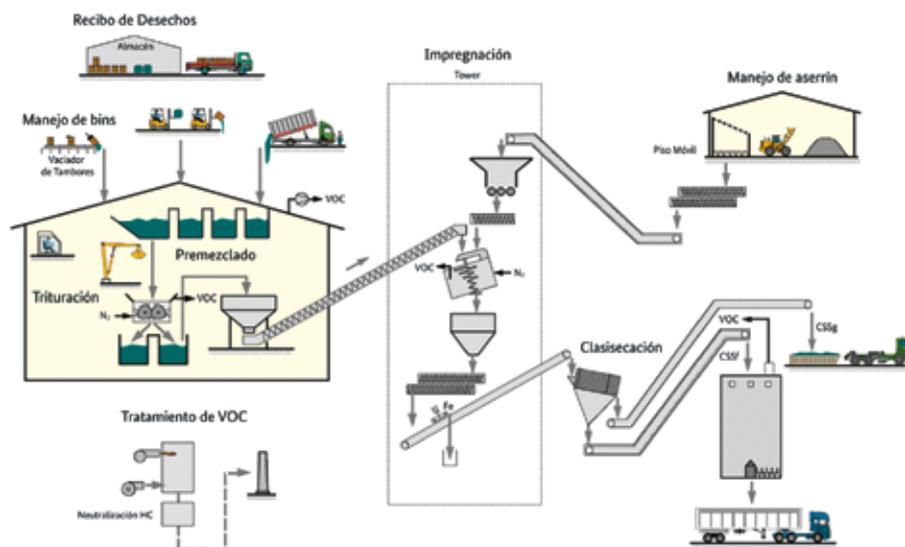


Figura 10: Tratamiento físico-químico para la producción de AF sólido (Geocycle).



Caso de Estudio 2: De Lodos de Petróleo a Energía en Fujairah (Geocycle, Emiratos Árabes Unidos)



Foto: Instalación de pre-procesamiento de lodos de petróleo en Fujairah, Emiratos Árabes Unidos.

Los lodos de petróleo son un desecho generado en grandes volúmenes en los países ricos en petróleo que es difícil de tratar. Uno de los principales desafíos para convertirlo en AFR es la composición altamente heterogénea del material de desecho (contaminantes, viscosidad variable, cloro, cenizas). Por lo tanto, el lodo oleoso debe ser pre-procesado mediante cribado y mezcla, de manera que el lodo entregado a la planta de cemento cumpla todas las especificaciones de calidad requeridas.

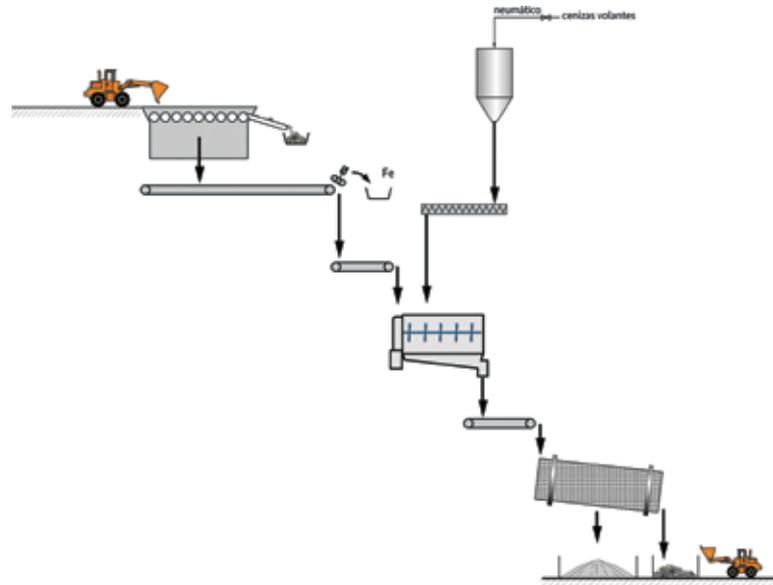
Los lodos de petróleo que se reciben en las instalaciones de pre-procesamiento de Geocycle se almacenan según su estado físico, los lodos líquidos en fosas y los lodos secos en patios de suelo de concreto. Se toman

muestras de cada entrega para comprobar la calidad cumplimiento de los criterios de precalificación y aceptación de residuos. Los contaminantes, principalmente plástico, madera, piedras y piezas de metal, se segregan mediante el cribado de los lodos de aceite con un cubo de cribado instalado en una excavadora. A continuación, se mezclan los lodos secos y líquidos de diferentes fuentes según una receta establecida por el personal de control de calidad para lograr la suficiente fluidez del material y la especificación de calidad correcta definida por la planta de cemento. Los lodos premezclados se someten de nuevo a un cribado para asegurar una buena homogeneidad antes de su entrega a la planta de cemento.

Hasta ahora, más de 100,000 t de lodo han sido exitosamente pre-procesadas y co-procesadas en un periodo de 7 años de operación. Un valor medio de calor de 15 GJ/t se recupera del lodo. La experiencia demuestra que el valor calorífico puede variar significativamente según la fuente y el tipo de lodo oleoso, mientras que la rentabilidad financiera depende de la fluctuación del precio de mercado del combustible convencional (carbón). Para asegurar la confiabilidad, fue útil garantizar grandes volúmenes y contratos a largo plazo. Es necesario establecer contratos múltiples para reducir el riesgo de dependencia de una sola fuente.

Los AR se derivan principalmente de corrientes únicas de residuos industriales de gran volumen que no requieren un procesamiento previo específico. El tratamiento mecánico, que se muestra en la *Figura 11*, suele limitarse a los casos en que los AR se producen a partir de varias corrientes de residuos más pequeñas con una variabilidad relativamente alta en la composición química o una alta incidencia de cuerpos extraños.

Figura 11:
Tratamiento mecánico para la producción de AR (Geocycle).



Caso de Estudio 3: Uso de Residuos de Construcción y Demolición como Materias Primas Alternativas en Retznei, Austria



Foto:
Centro de reciclaje de Retznei, Austria.



La planta de cemento de LafargeHolcim en Retznei ya sustituye grandes cantidades de energía térmica con combustibles alternativos. Con la creación del *Centro de Reciclaje de Retznei* (RCR), ahora también da un buen ejemplo en el reciclaje de residuos de construcción y demolición. Construida en la cantera de la planta de cemento de Retznei, la operación es posible gracias a la cooperación entre Geocycle y un socio local que aporta los conocimientos y la experiencia en la gestión de los residuos de la construcción y la demolición.

Cuando un flujo de CDW llega al centro de reciclaje, el 35% es co-procesado como materia prima alternativa en el proceso de producción de la planta de cemento. Otro 35% se trata y se vende como materias primas alternativas a clientes privados y empresas de construcción para su uso en sistemas de drenaje. Como resultado, cada año se procesan 100,000 t de CDW para su reutilización. Hoy en día, el 12% de las materias primas utilizadas para producir cemento en Retznei provienen de residuos reciclados. Este enfoque garantiza:

Un uso óptimo de los residuos gracias al co-procesamiento que evita que los residuos vayan a un vertedero.

- Una mayor eficiencia de los recursos al impedir el uso de los recursos naturales: la planta sustituye 85,000 t de materia prima natural cada año.
- Una contribución a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero mediante el uso de residuos locales en lugar de extraer y transportar recursos naturales y evitar la descarbonización de la piedra caliza, el recurso natural tradicional utilizado para producir cemento.
- Actividad local mediante la creación de tres nuevos puestos de trabajo directos y varios indirectos.

2.3 Co-procesamiento

2.3.1 Fabricación de Cemento y Co-procesamiento

La producción de cemento es un proceso muy intensivo en cuanto a materiales y energía. Después de que se extraen las materias primas naturales, éstas se someten a varios pasos de tratamiento mecánico, como la trituración, la molienda y la homogeneización, para producir en el molino de crudo la llamada harina cruda. La harina cruda entra en el sistema del horno de cemento, donde tienen lugar los procesos térmicos (secado, precalentamiento y enfriamiento) y las reacciones químicas (calcinación, clinkerización) para producir el producto intermedio, el clinker. Finalmente el clinker se muele junto con el yeso y otros componentes para producir cemento.

La producción de una tonelada de clinker requiere en promedio de 1.5 a 1.6 toneladas de materias primas. La mayor parte de la pérdida de peso se produce por la calcinación, la reacción del carbonato de calcio (CaCO_3) con la cal (CaO), que tiene lugar una vez que la harina cruda se calienta a 800-900°C. A medida que la temperatura en el horno rotatorio aumenta hasta 1,450°C, tiene lugar el proceso de clinkerización, ya que la cal, la sílice, la alúmina y el hierro reaccionan juntos y se combinan para formar el clinker. Los depósitos calcáreos naturales como la piedra caliza, la marga o la creta son la fuente del carbonato de calcio. Los principales correctivos (sílice, hierro y alúmina) suelen proceder de minerales naturales, como la arena, el esquisto, la arcilla y el mineral de hierro. Sin embargo, pueden utilizarse AR derivados de residuos para reemplazar estos correctivos naturales.

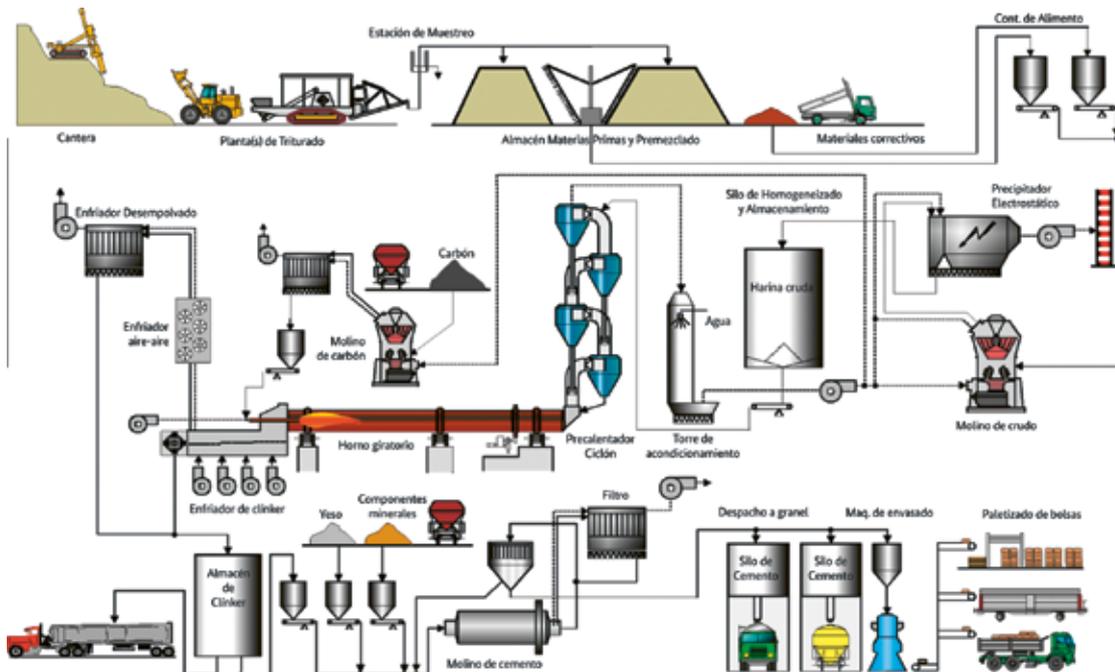


Figura 12: El proceso de fabricación de cemento (LafargeHolcim).

La energía térmica necesaria para las reacciones de secado, calcinación y sinterización de las materias primas ha sido tradicionalmente proporcionada por combustibles fósiles como el petróleo, el gas natural, el carbón y el coque de petróleo. Para sustituir los combustibles tradicionales se pueden utilizar diversos tipos de residuos derivados de AFs. La *Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento y la Academia Europea de Investigación del Cemento (CSI/ECRA, 2017)* informan de una demanda media de energía térmica para la fabricación de clinker de cemento en 2014 de 3.51 GJ/t de clinker con un rango de 3.0 GJ/t para los modernos hornos de pre-calcinación y hasta 6.0 GJ/t para los hornos de proceso húmedo.

El proceso de producción de clinker es ideal para el co-procesamiento de AFRs debido a sus características únicas que se dan en el [Recuadro 5](#).



Recuadro 5: Ventajas de las características del horno de cemento para el co-procesamiento de combustible alternativo y materia prima

- Las condiciones alcalinas y la mezcla intensiva entre el gas de escape y la harina cruda en el precalentador de suspensión y el molino de crudo favorecen la absorción de los componentes volátiles de la corriente de gas. Esta limpieza interna de los gases da lugar a bajas emisiones de componentes ácidos como el dióxido de azufre (SO₂), el ácido clorhídrico (HCl) y el ácido fluorhídrico (HF). Con la excepción de elementos muy volátiles como el mercurio (Hg) y el talio (Tl), esto también es cierto para la mayoría de los otros *elementos potencialmente tóxicos* (PTE).
- El corto tiempo de retención de los gases de escape en el rango de temperaturas que se sabe conducen a la formación de dioxinas y furanos (PCDD/F) impide la formación de estos compuestos contaminantes secundarios.
- El proceso es resistente a la producción de emisiones de óxidos de nitrógeno (NO_x). El co-procesamiento en muchos casos incluso reduce su formación, debido al enfriamiento de la llama en el horno rotatorio por el mayor contenido de humedad y el exceso de necesidad de aire de los combustibles alternativos, y debido a la quema de NO_x en condiciones reductoras en la entrada del horno o en el precalcinador creado por el uso de combustibles alternativos gruesos.
- Las altas temperaturas de proceso, las condiciones de oxidación y los largos tiempos de residencia contribuyen a la destrucción completa de los orgánicos (por ejemplo, los contaminantes orgánicos persistentes (POP por sus siglas en inglés)). Los tiempos de residencia típicos son a) en el precalcinador (2-7 seg. a 850-900 °C), b) en la entrada del horno (2-3 seg. a 1,000-1,100 °C) y c) en el horno rotatorio (6-8 seg. a > 2,000 °C).
- El proceso de producción de cemento tiene niveles relativamente altos de eficiencia en la recuperación de energía, generalmente en el rango de 70-80% (ECRA, 2017). Los incineradores de residuos que sólo recuperan electricidad alcanzan una eficiencia media del 26%, mientras que los incineradores que recuperan calor y energía combinados alcanzan una eficiencia similar a la de los hornos de cemento.
- El proceso de producción de cemento tiene además altos niveles de reciclaje de minerales, ya que no se generan ni cenizas volantes ni cenizas de fondo. Todos los componentes minerales, los *Elementos Potencialmente Tóxicos no volátiles* (PTE por sus siglas en inglés) y otros oligoelementos (por ejemplo, Cl, S) están totalmente incorporados en la matriz del clinker. También el polvo desviado generado en las plantas de cemento con altas tasas de combustibles alternativos y materias primas puede utilizarse típicamente como aditivo en el cemento.



2.3.2 Selección del Punto de Alimentación de AFR

El AFR puede ser introducido en diferentes puntos del proceso de fabricación de clinker. Cada uno de los puntos de alimentación proporciona diferentes condiciones de proceso (por ejemplo, temperatura, velocidad del gas) y, por lo tanto, es adecuado para diferentes calidades de AFR. En los modernos sistemas de hornos de cemento de última generación, los combustibles se añaden al proceso principalmente en dos puntos, en el precalcinador para la reacción de calcinación y a través del quemador principal/encendido del horno a la salida del horno rotatorio para la reacción de clinkerización. Una pequeña porción de la demanda total de energía también puede ser añadida a la entrada del horno rotatorio, la llamada cocción secundaria.

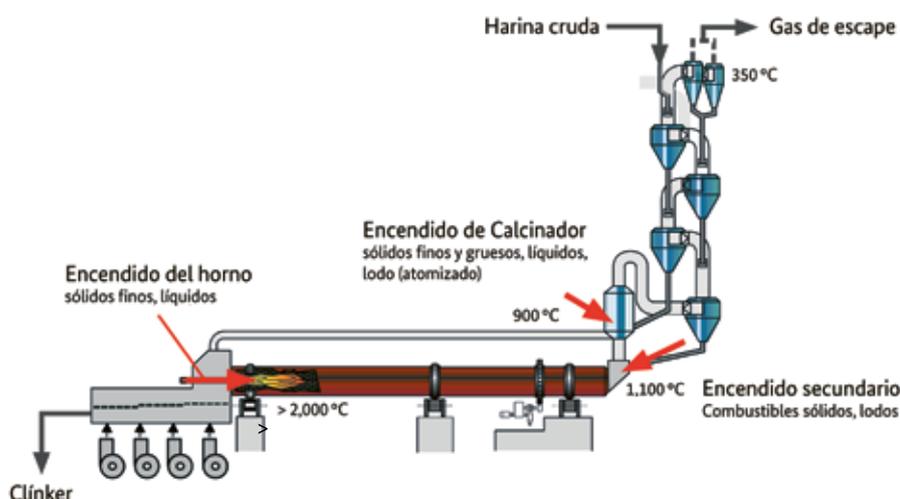


Figura 13: Puntos de alimentación de AFR de un sistema de horno de cemento de última generación.

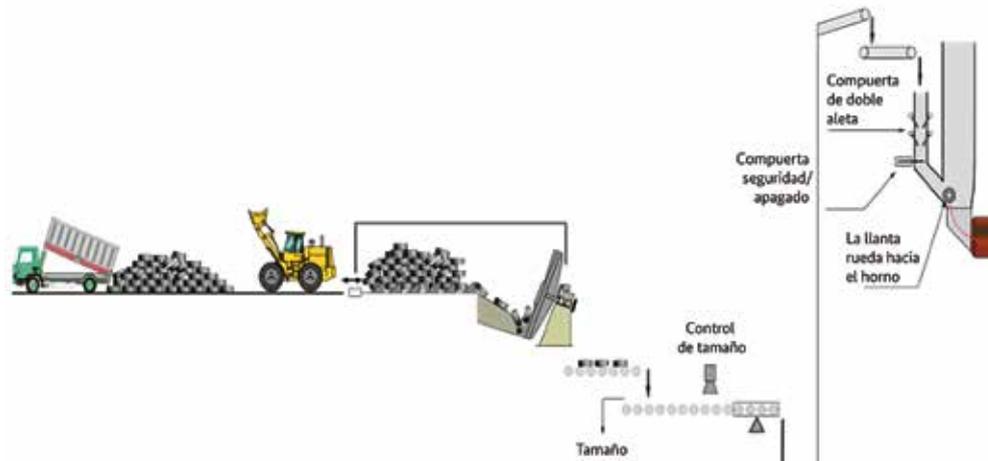
En el caso de los AFs sólidos, el punto de alimentación está determinado principalmente por su grado de preparación, en particular el tamaño de las partículas y el poder calorífico. En el caso de AFs líquidos y pastosos (lodos), la selección del punto de alimentación depende de lo bien que se puedan atomizar en gotitas/partículas más o menos finas.

Categoría AF	Característica	Ejemplos	Imagen
Combustibles sólidos	No pueden ser transportados por los gases del horno (se quema a la entrada del horno)	Neumáticos enteros, tortas de filtrado, material en bolsas	
Sólidos gruesos	Pueden ser transportados por los gases del horno (adecuado para pre-calcinación). La alimentación neumática no es posible.	Virutas de neumáticos, plásticos y textiles triturados, RDF grueso	
Sólidos finos	Pueden ser transportados fácilmente por los gases del horno (adecuado para el encendido del horno). La alimentación neumática es posible.	Pelusa (RDF fino), aserrín impregnado, harina animal, cáscara de arroz	
Lodos	Bombeable con bomba de pistón → combustible sólido. Si se atomiza por aire comprimido o rotor de lodos → sólido grueso.	Lodos de petróleo/pintura	
Líquidos	Comprimido o rotor de lodo sólido grueso. Pueden ser atomizados con aire comprimido (partículas sólidas en líquido <2-4 mm).	Aceite de desecho, disolventes, emulsiones	

Figura 14: Diferentes categorías AF para diferentes fuentes de alimentación.

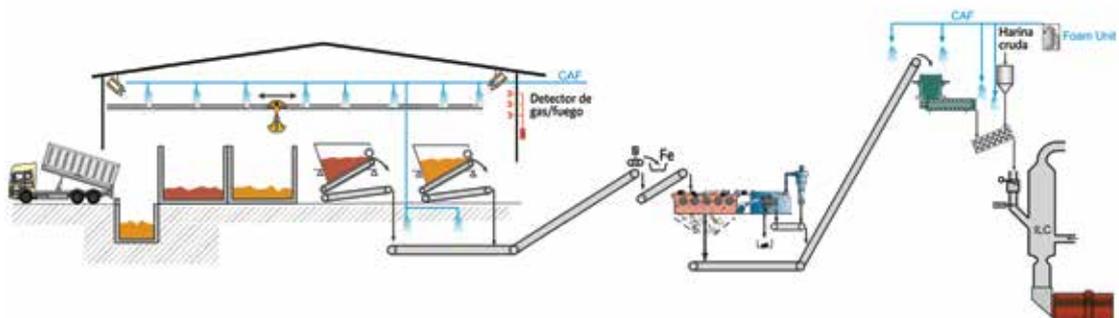
El encendido secundario en la entrada del horno rotatorio tiene los requisitos de calidad de AF más bajos. En este punto de alimentación se pueden introducir AF sólidos muy gruesos como neumáticos enteros o lodos no atomizados y AF con bajo poder calorífico. El combustible se quema lentamente en el lecho de material en el extremo posterior del horno rotatorio cuando se expone a los gases del horno que contienen oxígeno. Sin embargo, sólo una pequeña parte de la demanda total de energía del horno, entre el 5 y el 10 %, puede ser alimentada aquí. En la [Figura 15](#) se muestra un sistema automatizado de alimentación de neumáticos enteros para el encendido secundario.

Figura 15:
Alimentación de llantas enteras a la entrada del horno (Geocycle).



El precalcinador requiere el 55-65 % de la demanda total de energía del sistema de horno. En este punto de alimentación se pueden añadir AFs en sólidos gruesos, lodos atomizados y líquidos. Los combustibles sólidos gruesos deben ser lo suficientemente pequeños como para ser suspendidos por el flujo de gas dentro del precalcinador para evitar que caigan a la entrada del horno. El precalcinador es adecuado para AF con poder calorífico medio, el poder calorífico medio de todos los combustibles debe ser como mínimo de 11 a 13 GJ/t (ECRA, 2017). La combustión completa está asegurada por las condiciones de oxidación y los altos tiempos de retención de gas de 2 a 7 segundos. La [Figura 16 siguiente](#) muestra un sistema típico de alimentación para diferentes tipos de AF en sólidos gruesos al precalcinador.

Figura 16:
Alimentación de AF sólido grueso al precalcinador (Geocycle).



En el encendido principal del horno rotatorio se añade el 35-45% del total de la demanda de energía del sistema del horno. En este punto de alimentación se pueden introducir AF en finos sólidos y líquidos debidamente atomizados, que pueden mezclarse y suspenderse con los gases dentro del horno rotatorio. Para alcanzar las temperaturas de llama de hasta 2,000 °C necesarias para las reacciones de clinkerización, el poder calorífico neto medio del combustible en la cocción principal debe ser de al menos 18 a 22 GJ/t. La alta temperatura, las condiciones de oxidación y el tiempo de retención del gas de 6 a 8 segundos aseguran una quema completa. Estas condiciones de proceso hacen que el encendido principal de los hornos de cemento sea incluso adecuado para la destrucción de compuestos orgánicos estables (por ejemplo, los POP). La *Figura de abajo* muestra un sistema típico de alimentación de AF líquidos al quemador principal.

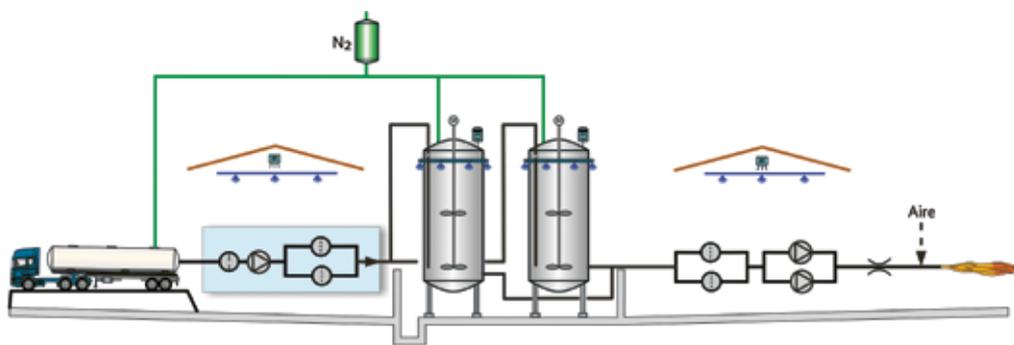


Figura 17: Alimentación de AF líquido al quemador principal/encendido del horno (Geocycle).

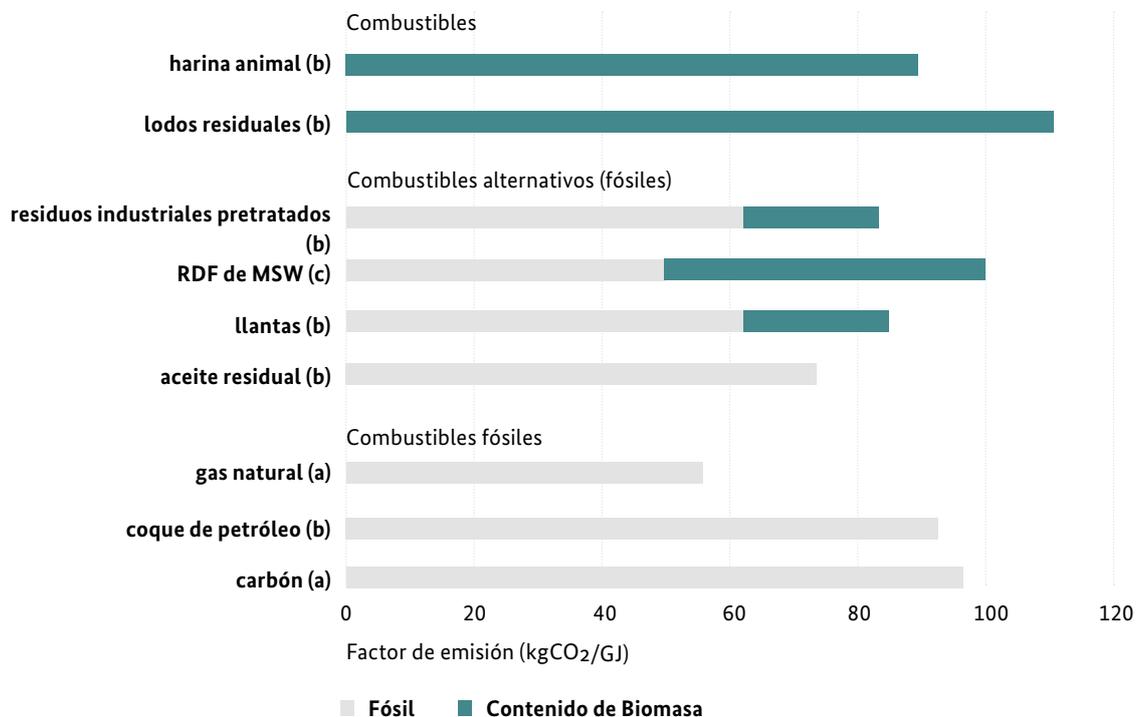
Para los AR, el *contenido de carbono orgánico total* (TOC por sus siglas en inglés) es el criterio decisivo para seleccionar el punto de alimentación adecuado. En caso de que los AR tengan un contenido de TOC inferior a 5,000 ppm, pueden ser introducidos como cualquier otra materia prima natural, ya sea en la trituradora de materias primas o en el molino. En caso de que el contenido de TOC sea superior a 5,000 ppm, se realizará una prueba de expulsión en laboratorio o un ensayo industrial para asegurar que las emisiones de *compuestos orgánicos volátiles* (VOC por sus siglas en inglés) están dentro de los límites permitidos. Si los resultados de la prueba de expulsión o del ensayo industrial indican que las emisiones de COV son demasiado elevadas, las AR debe introducirse en un punto de alimentación que asegure la completa destrucción del contenido orgánico, como a la entrada del precalcinador o del horno.

2.4 El Co-procesamiento y el Cambio Climático

El co-procesamiento puede contribuir a reducir la cantidad de carbono en la producción de cemento y ayudar a la industria del cemento a cumplir los objetivos climáticos mundiales. La producción de cemento contribuye alrededor del 7% de las emisiones globales de carbono, con emisiones directas de 2.2 Gt en 2014 (IEA/CSI, 2018). Típicamente, entre el 30 y el 40% de las emisiones de CO₂ son el resultado de la combustión de combustibles fósiles para alcanzar las altas temperaturas de funcionamiento necesarias en el sistema del horno. El otro 60-70% son las llamadas emisiones de proceso, que surgen de la reacción de calcinación ($\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$) necesaria para convertir la piedra caliza en cal.

Muchos países de ingresos bajos y medios siguen utilizando carbón o coque de petróleo debido a su bajo precio y disponibilidad, a pesar de que el carbón tiene las mayores emisiones de carbono. El cambio al gas natural ya puede reducir significativamente las emisiones de la producción de cemento, sin embargo, debido al precio y la disponibilidad esto no siempre es posible. La reducción de las emisiones directas de las FA de co-procesamiento depende del factor de emisión y del contenido de biomasa, que se muestra para los diferentes tipos de combustible en la *Figura 18*.

Figura 18: Factores de emisión y contenido típico de biomasa de los diferentes combustibles alternativos. (a) indica valor por defecto de IPCC, (b) valor por defecto de CSI y (c) se basa en un proyecto CDM (ver Anexo 2).



Los residuos agrícolas y otros combustibles con alto contenido de carbono biogénico suelen tener factores de emisión elevados, pero pueden considerarse neutros en cuanto al carbono, debido a la absorción de dióxido de carbono durante su crecimiento. El uso de residuos de biomasa como madera de desecho, cáscaras de arroz, lodos residuales secos o harina animal depende en gran medida de la disponibilidad en las cadenas de valor locales y del uso actual de esas corrientes de residuos, pero puede ser una buena opción para los países en los que esos materiales de desecho están disponibles en abundancia. Como el poder calorífico suele ser inferior al de los combustibles convencionales, se necesitan volúmenes elevados y hay que asegurar el suministro a largo plazo para recuperar los costos de inversión en equipo de pre-procesamiento o manejo, aunque esto también puede dar lugar a resultados sociales positivos, como se muestra en el *caso de estudio de Uganda que figura a continuación*. En otros casos, los municipios han desarrollado relaciones a largo plazo con plantas de cemento para tratar sus lodos residuales.

Los AF derivados de materiales de desecho como el aceite de desecho y los plásticos no reciclables tienen valores de emisión variables, que suelen ser inferiores a los de los combustibles fósiles tradicionales. Cada vez más se utilizan combustibles que contienen tanto carbono fósil como biogénico, por ejemplo, residuos industriales pretratados (que contienen plásticos no reciclables, textiles, papel, etc.), neumáticos de desecho (que contienen caucho natural y sintético), o RDF de residuos sólidos urbanos que también contienen un importante contenido de carbono biogénico.

El cálculo y la presentación de informes sobre los GHG deben hacerse de acuerdo con la Norma de Contabilidad y Presentación de Informes sobre el CO₂ y la Energía para la Industria del Cemento del WBCSD, que se basa en la metodología del IPCC (WBCSD, 2011). VDZ estima ahorros de 2.15 Mt de CO₂ mediante la sustitución del carbón por AF derivados de residuos en la industria cementera alemana en 2010, sobre la base de una mezcla típica de insumos con una proporción de biomasa del 40% (VDZ, 2017b).

El co-procesamiento de los residuos en los hornos de cemento también permite la reducción indirecta de las emisiones de CO₂ mediante el tratamiento de las fracciones de residuos orgánicos que, de otro modo, se descompondrían de forma anaeróbica y producirían niveles significativos de metano (CH₄) en los vertederos o basureros. Esto es particularmente relevante ya que el CH₄ tiene 25 veces el potencial de calentamiento global del CO₂. Incluso cuando se aplica la captura o quema de gas de vertedero, sólo se puede recuperar una parte del CH₄ (en la práctica a menudo menos del 50%). La promoción de una adecuada recolección de residuos y el pre- y co-procesamiento también puede reducir la cantidad de residuos municipales que se somete a la quema a cielo abierto en los países en desarrollo, una práctica que contribuye hasta un 5% al calentamiento global a través de contaminantes climáticos de corta duración (Wiedinmyer C, 2014). Las reducciones de las emisiones de carbono que se acumulan mediante intervenciones que mejoran la gestión local de los residuos dependen del escenario actual de fin de vida de los residuos (reciclado, incineración, relleno sanitario, vertedero, quema a cielo abierto), así como del contenido de carbono biogénico de los residuos (véase el Anexo 3).

El cálculo de la reducción de CO₂ mediante la evitación del metano es difícil de atribuir a la producción de cemento debido a la falta de metodologías de medición verificables para prevenir las emisiones hipotéticas. Sin embargo, las emisiones que se evitan pueden ser importantes, en particular cuando el co-procesamiento forma parte de un enfoque de gestión integrada de los residuos. Cuando se establecen sistemas adecuados para segregar en la fuente y eliminar la fracción orgánica, se pueden lograr importantes reducciones mediante el compostaje, el reciclado y el co-procesamiento de la fracción no reciclable de los residuos sólidos urbanos, que se preprocesa en RDF.

En el marco del *Mecanismo para un Desarrollo Limpio* (CDM por sus siglas en inglés) se han iniciado varios proyectos para aumentar el uso de los FA, en los que se estudia la integración del co-procesamiento en el sistema de gestión de residuos. Tras la expiración del mecanismo del CDM, las *Acciones de Mitigación Nacionalmente Apropriadas* (NAMA por sus siglas en inglés) se han convertido en un instrumento de financiación que podría apoyar la reducción de los GHG en la gestión de los residuos sólidos urbanos, en particular porque esas intervenciones también traen consigo importantes beneficios ambientales y sanitarios que pueden contribuir al cumplimiento de los ODS. Sin embargo, la experiencia con los residuos de NAMAs en todo el mundo sigue siendo hasta ahora limitada. Una evolución positiva adicional podría ser el resultado de un precio adecuado del carbono, que haga que el uso de los combustibles fósiles resulte poco atractivo y que los AF sean más competitivos. En comparación con otras tecnologías para reducir las emisiones de las plantas de cemento, el uso de AF es una opción con un costo de inversión relativamente bajo (McKinsey & Company, 2013). También pueden lograrse importantes reducciones de GHG mediante el uso de escorias y cenizas volantes en la molienda de cemento, que debido a sus propiedades cementantes permiten reducir el contenido de clinker en el cemento mezclado.



Caso de Estudio 4: Desarrollo de cáscara de café como combustible alternativo en Uganda



El café es un importante cultivo comercial en Uganda, donde hasta el 20% de la población obtiene la totalidad o una gran parte de sus ingresos de la producción de café. El proceso de molienda del café genera cáscaras de café, un desecho agrícola que comúnmente se desecha o quema para su eliminación. Sin embargo, la cáscara de café también puede ser una fuente de combustible alternativo adecuado para las plantas de cemento. Desde mediados de la década de 2000, la planta de cemento de Hima en Uganda ha utilizado este desecho agrícola como fuente de energía tanto para el horno de cemento como para el secador de puzolana, logrando una sustitución de energía térmica de más del 55%. Gracias a ello, la planta ha podido reducir su dependencia de los combustibles fósiles importados, que deben transportarse 1,500 km por carretera desde Mombasa, en Kenya.

A medida que se ampliaba el uso de este combustible alternativo, la planta consideró formas de mejorar la estrategia de abastecimiento a largo plazo, ya que muchas de las cáscaras de café seguían requiriendo transporte a lo largo de grandes distancias. La disponibilidad local de cáscaras de café era limitada, ya que los agricultores no podían permitirse los altos precios de los plántones de café. Tras consultar con las partes interesadas locales, la planta se asoció con la Asociación de Desarrollo Cafetalero de Uganda para poner en marcha un programa de apoyo al desarrollo de la producción de café cerca de la planta, con el fin de aumentar los ingresos de los agricultores locales y, al mismo tiempo, incrementar la generación de residuos de biomasa localmente. Se crearon viveros de plántulas en los que se podían comprar éstas por una sexta parte del precio habitual. Como resultado de ello, 45,000 agricultores se inscribieron y se distribuyeron casi 17 millones de plántulas entre 2012-2015.

La sustitución de los combustibles fósiles por residuos agrícolas disponibles localmente tiene un impacto importante en las emisiones de impacto climático de la planta, a la vez que permite la reducción de la pobreza. La planta Hima espera recuperar 20,000 t de residuos agrícolas al año como resultado de su programa de café, lo que supone una importante contribución a las 100,000 t de combustible de biomasa climáticamente neutra que utiliza cada año LafargeHolcim en Uganda. Se estima que se ahorran 150,000 t por año de CO₂ mediante el uso de biomasa.



Foto: Cultivadores de café en Uganda.

2.5 Planeación de la Gestión Integrada de Residuos Sólidos

El enfoque de la *Gestión Integrada de Residuos Sólidos* (ISWM por sus siglas en inglés) es aplicado cada vez más por los encargados de la formulación de políticas a nivel internacional. El ISWM se enfoca en los elementos físicos claves como la recolección, el tratamiento y la eliminación de residuos siguiendo la jerarquía de residuos. Es necesario considerar los aspectos de gobernanza para establecer un sistema que funcione bien: el sistema debe ser inclusivo y permitir que los interesados contribuyan; debe ser sostenible desde el punto de vista financiero y debe ser aplicado por instituciones sólidas y políticas proactivas (Wilson, 2013).

El pre- y co-procesamiento no suele ser una solución autónoma ni la solución primaria de gestión de residuos, pero puede desempeñar un papel en una estrategia integrada de gestión de residuos. Los productores de cemento ahorran en el consumo de combustibles fósiles y materias primas, contribuyendo a una producción más sostenible, así como a optimizar los costos de producción. Mientras tanto, las autoridades y las comunidades pueden utilizar las instalaciones industriales existentes para el tratamiento de residuos, reduciendo la necesidad de inversiones adicionales, siendo la presencia de personal ya calificado una ventaja adicional². Mediante el co-procesamiento, la industria del cemento puede aportar valor añadido a los sistemas de residuos gestionados por los municipios y contribuir a mejorar los resultados de la gestión de los residuos para los interesados de los sectores industrial, comercial y agrícola.

Si la comunidad anfitriona de la planta de cemento ya cuenta con una estrategia de gestión integrada de los residuos o un plan maestro, entonces modificar o enmendar este plan es un primer paso importante para explorar la viabilidad del pre- y co-procesamiento como estrategia de recuperación³. El impacto de la introducción del pre- y co-procesamiento en las opciones de tratamiento y eliminación final existentes debería evaluarse en el marco de una actualización o mejora del plan de gestión de residuos existente. En los casos en que no se disponga de un plan o estrategia actual, los municipios deberán esforzarse por elaborar uno y analizar la forma en que el pre- y el co-procesamiento pueden contribuir a la situación local de la gestión de residuos. La empresa cementera que propone el co-procesamiento, junto con el posible operador del pre-procesamiento, puede considerar la posibilidad de apoyar la elaboración de dicho plan con aportaciones de las líneas de base, siempre que los interesados locales y los políticos puedan estar seguros de la neutralidad y el profesionalismo del proceso y los documentos resultantes.

En la mayoría de los casos, ese plan documentará y evaluará:

- Capacidades de recolección existentes
- Capacidades de tratamiento existentes
- Conocimiento de las habilidades institucionales y humanas
- Sostenibilidad financiera
- Marco jurídico e institucional
- Aspectos sociales
- Aspectos Ambientales

Aunque no siempre se exige por ley, el establecimiento de una evaluación de línea base o de una medición cero por parte del posible operador es muy beneficioso, ya que corresponde a la evaluación del impacto social/ambiental y proporciona información útil para el proceso de concesión de permisos y la vigilancia de los impactos del pre- y co-procesamiento. Esa línea de base debería medir y documentar los parámetros clave del sistema de gestión de residuos (la cadena de servicios) y las cadenas de valor que ya sirven de mercados para los residuos reciclables, los productos orgánicos y otras corrientes de residuos, además de las condiciones físicas y geográficas de base de referencia (por ejemplo, los niveles de olor y ruido). Debería documentar lo que funciona y lo que no funciona en el panorama local de la gestión y el reciclaje de los residuos sólidos. El análisis transparente de las fortalezas, las debilidades, las oportunidades y las amenazas en la jurisdicción, la ciudad o la región es una vía para poder responder a las preguntas clave necesarias para iniciar una iniciativa de co-procesamiento.

El marco de la Gestión Integrada y Sostenible de los Residuos es un enfoque relativamente accesible para la preparación de una línea de base participativa. En el caso de una propuesta de co-procesamiento, los elementos clave de ese proceso de base incluirían la elaboración de respuestas a las preguntas que figuran en el [Anexo 12](#). La elaboración de una línea de base que responda a estas preguntas debería proporcionar una clara indicación de si el co-procesamiento tiene un valor que añadir al sistema de residuos sólidos, y si la disponibilidad de los AFR de los residuos en este sistema tiene un valor para el productor de cemento. Si la respuesta a ambas es positiva, se dan las condiciones límite para comenzar una iniciativa de co-procesamiento.

² Para una visión general de dónde se relaciona el co-procesamiento con otras tecnologías de conversión de residuos en energía y cuándo se pueden aplicar estas diferentes tecnologías, véase la Guía de GIZ sobre opciones de Conversión de Residuos en Energía en la Gestión de Residuos Sólidos Municipales (GIZ, 2017).

³ Para más información sobre la planificación de la gestión de residuos, véase: <http://ec.europa.eu/environment/waste/plans/index.htm>

2.6 Organización del Pre- y Co-procesamiento

La cadena de valor de pre- y co-procesamiento puede estar plenamente integrada y gestionada por una entidad, o bien entidades separadas pueden gestionar diferentes actividades, por ejemplo, la recolección de residuos, el pre-procesamiento y el co-procesamiento. En los mercados de residuos maduros, los actores públicos o privados y suelen encargarse de la recolección, la transferencia y el transporte. En los casos en que hay mercados fuertes para productos orgánicos o reciclables, puede existir alguna forma de clasificación o procesamiento posterior a la recolección de los productos reciclables, y esta infraestructura también puede ser adecuada para el pre-procesamiento de las fracciones de residuos en AFR. Las afirmaciones preexistentes, así como los factores económicos, determinarán en gran medida si una o más partes controlan toda la cadena de servicios, o si los modelos de control y ganancias están repartidos entre una variedad de empresas y agentes públicos.

Un modelo operativo típico para los residuos municipales podría consistir en:

- 1 Recolección por el municipio
- 2 Operación del vertedero por una empresa privada de gestión de residuos
- 3 Separación de la fracción pesada (orgánica), los materiales reciclables y la fracción ligera por parte de la cooperativa de trabajadores informales de residuos en lugares específicos.
- 4 Pre-procesamiento (tratamiento mecánico) de la fracción ligera para la producción de AF por una empresa privada de gestión de residuos
- 5 Co-procesamiento de AF por la compañía de cemento.

Cuando el sistema de residuos sólidos no está bien desarrollado, la falta de operaciones de gestión de los residuos y de partes interesadas establecidas en diferentes nichos de mercado puede conducir a una situación en la que el productor de cemento se integre en partes más grandes de la cadena de valor. Sin embargo, la desventaja de esto es que la gestión de los residuos no es la actividad principal de la industria del cemento y existe el riesgo de que se centren en las corrientes de residuos más valiosos o de alto poder calorífico. Esto aumenta la competencia con el reciclaje y también puede hacer más difícil la integración en un concepto general de gestión de residuos. Por lo tanto, es importante aplicar el primer principio de estas Directrices: respetar la jerarquía de los residuos y permitir una relación dinámica entre el reciclaje y el co-procesamiento es importante para mitigar los riesgos.

En caso de que haya varias entidades separadas en la cadena de servicios, ello puede dar lugar a cadenas de suministro más competitivas y eficientes, pero conlleva posibles desventajas de fragmentación, pobres economías de escala y una débil justificación económica. Otros riesgos adicionales son la administración cada vez mayor y la pérdida de la trazabilidad de los flujos de material. En la *Figura siguiente* se muestran los pros y los contras de los diferentes enfoques de la cadena de valor desde la perspectiva de una empresa cementera.



Figura 19: Ventaja y desventaja de los diversos modelos de integración (IFC, 2016).

El interés de la empresa cementera dependerá en primer lugar de su evaluación de si la captura y el co-procesamiento de las fracciones no reciclables disponibles para el AFR serán competitivas en cuanto a costos y beneficiosos para el medio ambiente, en comparación con los combustibles y materias primas sustituidas. Las consideraciones paralelas para la gestión de los residuos o las autoridades ambientales o políticas determinarán si existe un interés de la ciudad o la región en cooperar en una iniciativa de co-procesamiento, y en tomar las medidas necesarias para movilizar el pre-procesamiento y producir AFR. Sólo cuando ambos “lados” vean una ventaja habrá una posibilidad de una iniciativa de co-procesamiento exitosa. Para más detalles sobre los aspectos financieros, véase la sección 3.6.



PARTE 3

REQUERIMIENTOS PARA UN PRE- Y CO-PROCESAMIENTO AMBIENTALMENTE ADECUADO

Orientación específica: La Parte 3 representa la parte más importante de las Directrices: establecer los requisitos para un pre- y co-procesamiento sostenible y ambientalmente racional. Esta sección abarca los marcos nacionales, jurídicos e institucionales (3.1), el control y la vigilancia de las emisiones al medio ambiente (3.2), los procedimientos operativos para garantizar el control de la calidad (3.3), la salud y la seguridad (3.4), la toma de decisiones basadas en el beneficio mutuo, las comunicaciones entre las partes interesadas y el compromiso con el sector informal (3.5), y la importancia de contar con una financiación sólida (3.6). Los principios generales y requisitos correspondientes a cada tema se exponen al principio de cada sección. En total, hay 16 requisitos específicos que corresponden a los ocho principios rectores. En un capítulo final se detallan los siguientes pasos para la implementación: el desarrollo de la capacidad y la forma de aplicar secciones específicas de las Directrices (3.7). Debe seguirse el principio general “Respetar la Jerarquía de Residuos y la Economía Circular” (véase la parte 1).



3.1 Aspectos Legales e Institucionales

Principio I

Marco Legal e Institucional

- Debe garantizarse el cumplimiento de todas las leyes y reglamentos pertinentes. El pre- y co-procesamiento deberá estar en línea con los acuerdos internacionales pertinentes (por ejemplo, los Convenios de Basilea y Estocolmo).
- Se garantizará una vigilancia eficaz por parte de un regulador ambiental calificado, que tenga suficiente capacidad institucional.
- Los requisitos y necesidades específicos de cada país se reflejarán en los reglamentos y procedimientos.
- Si no existe un marco jurídico local para el pre- y el co-procesamiento y/o si éste no es coherente, se aplicarán las mejores prácticas internacionales y se garantizará la creación de la capacidad necesaria, y el establecimiento de acuerdos institucionales.

Requisito 1

Es necesario establecer un marco legal apropiado

- El pre- y co-procesamiento se integrarán como una solución viable de gestión de residuos en la legislación relativa a la protección del medio ambiente, la salud pública y la gestión de residuos.
- Para garantizar la seguridad jurídica y asegurar un alto nivel de protección del medio ambiente se necesitan normas y reglamentos jurídicamente vinculantes claramente definidos.
- Las autoridades competentes y facultadas garantizarán la aplicación justa y coherente de la ley.

Requisito 2

Todas las partes interesadas pertinentes participarán en el proceso de concesión de permisos

- Las Evaluaciones del Impacto Ambiental y Social se utilizarán para identificar y cuantificar los posibles efectos de los residuos y el AFR en el medio ambiente, la salud humana y las cadenas de valor locales antes de las operaciones. Estos datos también se utilizarán para elaborar una línea de base, que se reevaluará periódicamente a medida que se desarrolle el proceso.
- Se debe considerar y aplicar la *Mejor Tecnología Disponible* (BAT por sus siglas en inglés).
- Los operadores de las instalaciones de tratamiento de residuos y las plantas de cemento proporcionarán toda la información que permita a los interesados evaluar las actividades de pre- y co-procesamiento.

3.1.1 Marco Legal

Las políticas y leyes nacionales siempre enmarcan los principios y normas básicas bajo los cuales debe tener lugar el pre- y co-procesamiento. Sin requisitos jurídicamente vinculantes, las autoridades no podrán controlar el cumplimiento y hacer cumplir altos niveles de protección del medio ambiente y la salud pública, mientras que los operadores de las plantas no tendrán un marco claro en el que operar.

El marco regulatorio debe reflejar las capacidades de las autoridades ambientales, del sector del cemento y de la gestión de residuos de un país concreto. Las normas complejas son difíciles de aplicar y hacer cumplir, en particular en los países en desarrollo. Los criterios claramente definidos y fáciles de evaluar y aplicar son más apropiados. Para integrar el pre- y el co-procesamiento en las políticas y leyes nacionales en materia industrial, ambiental y de residuos, los órganos reguladores, el sector de la gestión de residuos, la industria del cemento y otras partes interesadas (por ejemplo, los municipios, las instituciones académicas, las organizaciones no gubernamentales) deberían hacer una aportación específica para el país y el sector a las instituciones nacionales que formulan leyes y reglamentos.

En los casos en que no se pueda adaptar un marco legislativo y/o reglamentario existente para el pre- y el co-procesamiento, los operadores de las instalaciones de pre-procesamiento (procedentes del sector de la gestión de residuos o de otros sectores), junto con los productores de cemento que tengan la intención de aplicar el co-procesamiento, deberán proponer un marco regulatorio de otros países con niveles de desarrollo comparables o superiores, medidos por el producto interno bruto, la generación de residuos y el desarrollo de sistemas de gestión de residuos. Los operadores deberían preparar un conjunto preliminar de documentación conforme al sistema propuesto, con referencia a las *Mejores Técnicas Disponibles* (BAT) antes de iniciar cualquier actividad.

Si las autoridades locales y nacionales no son capaces o no están dispuestas a desarrollar un conjunto de instrumentos jurídicos y reglamentarios pertinentes, la empresa puede consultar con esas autoridades y obtener autorización para solicitar un permiso en virtud de la legislación ambiental general vigente, aplicando las normas aceptadas internacionalmente.

3.1.2 Marco Institucional

La experiencia de los países que permiten el pre- y co-procesamiento muestra que el proceso de concesión de permisos, las funciones de inspección y control se gestionan preferentemente dentro de un solo organismo regulador. Sin embargo, si la misma institución gubernamental asume también otras funciones en el sistema, en particular la de operador de residuos, entonces surge la posibilidad de conflictos de intereses. Por consiguiente, la independencia presupuestaria y judicial y la transparencia del regulador son esenciales para hacer cumplir las normas por igual a los operadores de los sectores público y privado.

El organismo regulador debe estar facultado y contar con una formación técnica adecuada, una administración sólida y un personal bien capacitado y bien equipado. La falta de conciencia o de recursos para el control y la inspección puede dar lugar a una deficiente aplicación de la ley. Sin embargo, si las autoridades no disponen de todos los conocimientos y experiencia relevantes, se puede considerar la posibilidad de recurrir a expertos externos de empresas confiables del sector del cemento y la gestión de residuos y a consultores de órganos independientes, como universidades, ONG, asociaciones y/o empresas consultoras.

3.1.3 Proceso de Autorización

Los operadores de instalaciones de tratamiento de residuos que tengan la intención de pre-procesar los residuos y los operadores de plantas de cemento que tengan la intención de co-procesar AFR tienen la responsabilidad de solicitar un permiso. Una solicitud de permiso bien preparada para el pre o co-procesamiento debe proporcionar descripciones detalladas de toda la información pertinente sobre la instalación de tratamiento de residuos o la planta de cemento, así como la calidad de todos los residuos o AFR designados para el pre- y co-procesamiento, incluida la información sobre:

- ✔ Generador de residuos/fuente de residuos
- ✔ Residuos ya tratados/tipo AFR
- ✔ Volúmenes adicionales previstos por tipo de desecho/AFR
- ✔ Instalaciones de tratamiento, manipulación y almacenamiento de residuos/AFR
- ✔ Propiedades químicas y físicas de los residuos/AFR
- ✔ Plan de control y aseguramiento de calidad de los residuos/AFR
- ✔ Materias primas y combustibles tradicionales utilizados (co-procesamiento)
- ✔ Punto de alimentación de AFR en el proceso del horno (co-procesamiento)
- ✔ Especificaciones del equipo principal y procedimientos operativos
- ✔ Niveles actuales y previstos de emisiones a la atmósfera, el agua y el suelo
- ✔ Tecnologías disponibles de monitoreo y reducción de las emisiones
- ✔ Normas de salud y seguridad aplicables
- ✔ Capacidad de almacenamiento y tratamiento de aguas de escorrentía contaminadas o de aguas contaminadas derivadas de derrames u operaciones de combate de incendios
- ✔ Plan de respuesta ante emergencia
- ✔ Procedimiento de consulta pública.

Cuando se complete la solicitud, las autoridades la revisarán y darán su retroalimentación. Se recomienda la comunicación continua con las autoridades a fin de evitar demoras en el proceso de concesión de permisos. Al mismo tiempo, una comunicación abierta y consultas regulares con el público ayudarán a reducir las posibles fricciones y malentendidos (*véanse también el Anexo 8 y el Anexo 9*).

Las funciones y la responsabilidad del operador que hace la solicitud incluyen:

- Establecer contacto con la autoridad competente y la autoridad consultora estatutaria.
- Preparar el formato de solicitud.
- Realizar una *Evaluación del Impacto Ambiental y Social* (ESIA por sus siglas en inglés).
- Iniciar la participación del público desde el principio, de modo que las preocupaciones ya se puedan tener en cuenta en el formato de solicitud del permiso.

Las funciones y responsabilidades de la autoridad emisora de los permisos – típicamente un ministerio de medio ambiente – normalmente incluirían lo siguiente:

- Disponer de normas transparentes sobre los permisos que se requieren para el pre-procesamiento (que probablemente caigan dentro de la jurisdicción de permisos relacionados con residuos) y los que se requieren para el co-procesamiento (que es más probable que caigan dentro de las operaciones industriales).
- Publicar y proporcionar por adelantado toda la información relacionada con los formatos de solicitud; la manera de presentarla; las fechas; los hitos fundamentales del proceso de concesión de permisos; el tiempo que se espera que transcurra desde la presentación hasta los hitos fundamentales; la naturaleza de la información que debe proporcionarse; en qué forma; y con qué tipos de pruebas o debida diligencia.
- Publicar (y actualizar continuamente lo que se publica en caso de que cambien las reglas) los criterios para la concesión de permisos, anclados en la legislación y los reglamentos.
- Consultar con otras autoridades que compartan jurisdicción, por ejemplo, las que regulan la salud, el transporte, el comercio, el medio ambiente, el clima o el trabajo.
- Aclarar si la solicitud de permiso requiere una ESIA, y publicar de manera transparente la información sobre las fechas y los criterios para participar en las audiencias, o hacer comentarios por escrito u objeciones legales durante los comentarios públicos.
- Evaluar la ESIA, y otras partes de las solicitudes de permiso pertinentes siguiendo los reglamentos de manera transparente.
- Aprobar el proyecto de permiso o devolverlo para su desarrollo posterior, de acuerdo con criterios transparentes y publicados.
- Admitir todas las objeciones y facilitar el diálogo y la consulta con aquellos que presenten las objeciones.
- En el momento en que la solicitud de permiso se ajuste a las leyes y normas, aprobar y expedir (con estipulaciones adicionales, es decir, imposición, condición, limitación de tiempo, reserva en cuanto a la revocación), o si se indica, denegar el permiso.

Los permisos deben definir los tipos de residuos y AFR autorizados para el pre- y co-procesamiento. Los permisos genéricos de co-procesamiento sólo deben expedirse para tipos de AFR con características definidas y un historial de uso exitoso a largo plazo en plantas de cemento (por ejemplo, llantas) o para tipos de AFR preparados por instalaciones de pre-procesamiento de acuerdo con las especificaciones y requisitos de la planta de cemento. Se deben realizar inspecciones sistemáticas y periódicas por parte de la autoridad que expide los permisos para garantizar el cumplimiento de los requisitos reglamentarios.

En el documento “Doing the Right Things for Permitting” (Haciendo lo Correcto para la Concesión de Permisos) de la red de la Unión Europea para la *Aplicación y Cumplimiento del Derecho Ambiental* (IMPEL, 2015) se encuentra más orientación sobre el proceso de concesión de permisos dentro o bajo la esfera de influencia de la Unión Europea.



Caso de Estudio 5: Cómo dominar el proceso de obtención de permisos en Argentina



En el marco jurídico y ambiental argentino, el Estado es responsable de establecer las normas de calidad ambiental, mientras que las provincias son responsables de complementar dichas normas. En este sentido, la Ley 24051 de residuos peligrosos es una ley nacional, y las provincias y los municipios tienen el mandato de seguir las prescripciones legales.

A fin de cumplir con las normas ambientales para la operación, Geocycle Argentina necesita obtener anualmente más de 40 permisos ambientales, 30 de los cuales corresponden a autorizaciones específicas para operaciones de residuos peligrosos y actividades de transporte que se derivarán de las jurisdicciones nacionales, provinciales y municipales de los estados de Córdoba, Jujuy y Mendoza. El no obtener estos permisos, o el obtener una nueva autorización una vez que un permiso expira, impide la entrada de material de desecho a las instalaciones del Geocycle. Muchos de estos permisos deben solicitarse desde 90 días antes de la fecha de expiración. Sin embargo, en la mayoría de los casos, incluso si se cumplen todos los plazos y requisitos establecidos, el organismo regulador sólo emite autorizaciones mucho tiempo después de la fecha de vencimiento. Esto no sólo dificulta la continuación de las operaciones del Geocycle, sino que también desencadena impactos económicos negativos y afecta a la comercialización y a las relaciones con los clientes.

Geocycle Argentina cumple con el tiempo de permiso de 90 días, pero para mejorar los procesos, también tomó las siguientes medidas:

- se inició un proceso de promoción para informar mejor a los funcionarios de los órganos de control del medio ambiente y hacerlos conscientes de la labor de Geocycle, los valores, los beneficios socioeconómicos y ambientales, pero también los efectos económicos y ambientales de los retrasos.
- una política de puertas abiertas para los interesados, incluidos los funcionarios locales y provinciales, para informarles sobre los procesos y las operaciones de la planta, especialmente sobre todos los aspectos relacionados con las preocupaciones ambientales.
- Bajo la dirección de la *Asociación de Fabricantes de Cemento Portland (AFCP)* se ha iniciado una plataforma de partes interesadas directas, así como un comité de co-procesamiento, para participar activamente en los debates sobre la nueva legislación con los organismos nacionales del medio ambiente.

Lecciones Aprendidas: Es esencial mantener un diálogo regular y abierto con los diferentes órganos regulatorios a fin de aclarar cualquier preocupación que pueda retrasar la expedición de los permisos. Si bien el proceso de obtención de permisos en la Argentina es sumamente burocrático, las empresas pueden unir esfuerzos para ayudar a las autoridades a mejorar sus procesos y agilizar la expedición de permisos. La obtención de todos los permisos dentro de los plazos requeridos sin que ello afecte la continuidad de las operaciones en sus tres plantas, sigue siendo un gran desafío para el Geocycle Argentina. Sin embargo, confían en que el enfoque de solicitar voluntariamente la renovación del permiso antes de los plazos establecidos, incluido un diálogo regular y abierto con los órganos reguladores, apoyará firmemente el proceso de concesión de permisos.



Foto: El personal de la planta de cemento preparando los documentos para la autorización.



3.2 Aspectos Ambientales

Principio II

Aspectos Ambientales

- Prevenir o mantener al mínimo las emisiones adicionales y otros efectos negativos en el medio ambiente del pre- y co-procesamiento.
- Las emisiones al aire y al agua procedentes del co-procesamiento no serán superiores a las de la producción de cemento sin co-procesamiento.
- Los productos de cemento (hormigón, mortero) no se utilizarán como sumidero para elementos potencialmente tóxicos (por ejemplo, metales pesados).

Requisito 3

El pre-procesamiento y el co-procesamiento no tendrán efectos negativos en las emisiones

- Todos los AF se alimentarán en las zonas de alta temperatura del sistema de hornos (es decir, encendido principal, encendido secundario, encendido del precalentador). Lo mismo ocurre con las materias primas alternativas con elevadas cantidades de materia orgánica volátil.
- Se deben limitar los contaminantes en combustibles alternativos o materias primas para los que el proceso de cemento no tenga una capacidad de retención suficiente (por ejemplo, Hg).

Requisito 4

El monitoreo de las emisiones es obligatorio

- Las emisiones deben ser monitoreadas regularmente con el fin de demostrar:
 - I. el cumplimiento de los reglamentos y acuerdos nacionales
 - II. el cumplimiento de las políticas y directivas de la empresa
 - III. la fiabilidad del control de calidad de los materiales de entrada.

Requisito 5

El desempeño ambiental de los productos de cemento (hormigón, mortero) no deberá deteriorarse

- La concentración de metales pesados de los productos finales no tendrá ningún impacto negativo, como se ha demostrado, por ejemplo, con las pruebas de lixiviación.
 - La calidad del concreto permitirá el reciclaje al final de la vida útil.
-

3.2.1 Contaminantes Relevantes

Las normas nacionales de emisión se aplicarán al pre- y co-procesamiento por las autoridades correspondientes y se pondrán en práctica mediante permisos. En muchos países, ya existen normas sobre emisiones industriales, pero no cubren específicamente las emisiones de las instalaciones de pre-procesamiento de residuos y de las plantas de cemento que co-procesan el AFR. Cada país debe definir sus contaminantes y valores límite de emisión pertinentes, teniendo en cuenta el desarrollo económico e industrial general.

En Europa, por ejemplo, los contaminantes y los valores límite de emisión pertinentes se definen en la *Directiva sobre Emisiones Industriales* (Directiva 2010/75/UE) y en el *Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes* (PRTR por sus siglas en inglés)⁴. Este último abarca 91 contaminantes y da valores umbral de notificación para las liberaciones al aire y al agua. Existen registros de contaminantes similares en Australia (Inventario Nacional de Contaminantes), Canadá (Inventario Nacional de Emisiones de Contaminantes) y los Estados Unidos (Inventario de Emisiones Tóxicas).

En el documento de orientación para el PRTR se menciona una amplia gama de posibles contaminantes del aire y el agua para las actividades de gestión de residuos, según la naturaleza (peligrosa o no peligrosa) y el tipo de residuos tratados (E-RETC, 2006). Según el BREF de la UE sobre tratamiento de residuos (Brinkmann et al., 2018), los siguientes contaminantes deben considerarse relevantes en el contexto de las instalaciones de pre-procesamiento para la producción de AFs y materias primas mediante el tratamiento mecánico, biológico o fisicoquímico de los residuos:

Emisiones al aire (pre-procesamiento):

- Polvo, para todos los tratamientos de residuos
- *Compuestos orgánicos volátiles totales* (TVOC), para el tratamiento de residuos biológicos
- *Sulfuro de hidrógeno* (H₂S), para el tratamiento de residuos biológicos
- Amoníaco (NH₃), para el tratamiento de residuos biológicos y fisicoquímicos.

Emisiones al agua (pre-procesamiento):

- *Demanda química de oxígeno* (COD por sus siglas en inglés), para todos los tratamientos de residuos
- Índice de aceite de hidrocarburo e índice de fenol, para el tratamiento de residuos fisicoquímicos
- Metales (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn), para el tratamiento mecánico, biológico y fisicoquímico de residuos
- *Nitrógeno total* (N total), para el tratamiento de residuos biológicos
- *Carbono orgánico total* (TOC), para todos los tratamientos de residuos
- *Fósforo total* (P total), tratamiento biológico de residuos
- *Sólidos suspendidos totales* (TSS por sus siglas en inglés), para todo el tratamiento de residuos.

Es poco probable que las emisiones a la atmósfera, el suelo y el agua de las instalaciones de pre-procesamiento alcancen los valores límite umbral del PRTR para cualquiera de los contaminantes. No obstante, la vigilancia y la notificación de las emisiones deben realizarse periódicamente de conformidad con las reglamentaciones locales aplicables.

En el caso de los hornos de cemento, las emisiones a la atmósfera suelen ser de la mayor importancia, mientras que sólo unas pocas plantas de cemento alcanzan los valores umbral para las liberaciones al agua. Las emisiones que el IED y el PRTR consideran relevantes incluyen:

- Polvo
- SO₂
- NO_x (suma de NO y NO₂)
- CO
- TVOC
- Todos los compuestos inorgánicos gaseosos de cloro expresados como HCl
- Todos los compuestos gaseosos inorgánicos de flúor expresados como HF
- NH₃
- Dioxinas y furanos (PCDD/F)
- Benceno
- Metales (Hg, Tl, As, Sb, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Zn, V).

Debido a la naturaleza volátil del mercurio, debe prestarse especial atención al contenido de mercurio de los materiales utilizados para la producción de clinker y a los procedimientos operacionales correspondientes.

⁴ <https://prtr.ec.europa.eu>



Recuadro 6: Mercurio (Hg)

El Hg es bioacumulativo y altamente tóxico para los humanos en todas sus formas químicas. Es un elemento comparativamente raro, con una concentración media en la corteza terrestre de sólo 0.000005 %. Se encuentra tanto de forma natural como también como un contaminante introducido en el medio ambiente. Debido a su naturaleza volátil y a su presencia en los combustibles fósiles y en las materias primas naturales que se utilizan en muchos procesos industriales, el Hg se libera a la atmósfera desde una amplia variedad de fuentes de emisión antropogénicas.

En agosto de 2017, entró en vigor la Convención de Minamata de las Naciones Unidas sobre Hg. El Convenio reconoce que el Hg es un producto químico de interés mundial debido a su transporte atmosférico de largo alcance, su persistencia en el medio ambiente, su potencial de bioacumulación y sus importantes efectos en la salud humana y el medio ambiente (UNEP, 2017a).

Los gobiernos que son partes en el Convenio están obligados jurídicamente a adoptar medidas para proteger el medio ambiente y la salud humana de la liberación nociva de Hg, ocupándose del mercurio a lo largo de su ciclo de vida. Esto incluye el control de las emisiones de mercurio al aire y las liberaciones al agua. La convención busca reducir todas las emisiones de Hg, incluyendo las de los procesos industriales, entre otros también las de la producción de cemento.

El Hg se encuentra en todas las materias primas de cemento y en los combustibles. Una fuente adicional de Hg en el horno puede ser el co-procesamiento de combustible alternativo y materia prima que contiene

Hg. Debido a su naturaleza volátil, el Hg no es retenido en el sistema de horno y posteriormente capturado en la matriz de clinker. En su lugar, forma compuestos gaseosos que sólo son retenidos parcialmente por la condensación de la materia prima en el molino y el colector de polvo. Con el fin de reducir las emisiones de Hg, puede que también sea necesario limitar la entrada de Hg en la materia prima y los combustibles en el sistema de hornos. Las emisiones de Hg pueden reducirse extrayendo el polvo de filtrado durante la operación directa y alimentando el polvo de filtrado a los molinos de cemento.

El IED europeo limita las emisiones de Hg a 0.05 mg/Nm³ @10% O₂. En los Estados Unidos de América, la Norma Nacional de Emisiones de Contaminantes Atmosféricos Peligrosos establece un límite para las nuevas plantas de cemento de 21 libras por millón de toneladas de clinker y de 55 libras por millón de toneladas de clinker para las plantas existentes (EPA, 2006). La Norma para *Unidades de Incineración de Residuos Sólidos Industriales Comerciales* (CISWI)⁵ establece un límite de 0.011 mg/Nm³ al 7% de O₂ (EPA, 2016).

Para cumplir con estos límites, todos los materiales de entrada en el horno de cemento deben ser regularmente analizados por su contenido de Hg. El uso responsable del AFR incluye la comprobación del contenido de Hg de los materiales entrantes y abstenerse de utilizarlos si el contenido de Hg es demasiado alto.



Los POP son compuestos orgánicos resistentes a la degradación ambiental a través de procesos químicos, biológicos y fotolíticos. Debido a su persistencia, los POP se bioacumulan en los organismos vivos con posibles efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente.

El Convenio de Estocolmo sobre los POP menciona los hornos de cemento que queman residuos peligrosos como una fuente potencial de formación y liberación de POP (UNEP, 2017). Sin embargo, un estudio exhaustivo sobre la formación y liberación de POP en la industria del cemento llevado a cabo por el WBCSD señala claramente que los elevados niveles de formación y liberación de POP sólo se han producido en largos hornos húmedos y secos, y ya no se consideran como tecnología de vanguardia (WBCSD, 2006). Además, los hornos de cemento están reconocidos por las Directrices Técnicas del Convenio de Basilea como una técnica de gestión de residuos adecuada para la destrucción de los POP en los residuos cuando se realiza de acuerdo con las BAT y al mismo tiempo se cumplen los requisitos establecidos para los controles de insumos, procesos y emisiones (UNEP, 2011). Para el co-procesamiento de residuos clasificados como POP, se debe realizar una quema de prueba para demostrar una *eficiencia de destrucción y eliminación del 99.9999 %* (DRE). En el *Anexo 10* se puede encontrar una descripción detallada del procedimiento para las quemaduras de prueba de DRE.

5 <https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/commercial-and-industrial-solid-waste-incineration-units-ciswi-new>



Recuadro 7: Dioxinas y Furanos (PCDDs/PCDFs)

Los PCDD/PCDF son compuestos que son *contaminantes orgánicos persistentes* (POP) altamente tóxicos para el medio ambiente. Dado que las dioxinas y los furanos se refieren a una amplia clase de compuestos cuya toxicidad varía mucho, se ha desarrollado el concepto de un factor de equivalencia tóxica para facilitar la evaluación de los riesgos y el control regulatorio. En referencia a su importancia como agentes tóxicos ambientales, el término dioxinas y furanos se utiliza para referirse a la suma de compuestos (como TEQ) que demuestran la misma toxicidad específica que la dioxina 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-*p*-dioxina (TCDD). Estos incluyen 17 PCDD/PCDF y 12 PCB.

La formación de PCDD/PCDF implica muchas reacciones complejas y aún no se ha establecido una comprensión completa de la química de la reacción. Los PCDD y PCDF pueden formarse en hornos de cemento en el precalentador y en el dispositivo de control de la contaminación del aire si se dispone de suficiente cloro, precursores cloro-aromáticos y/o hidrocarburos volátiles de combustión incompleta o de materias primas. La formación de dioxinas y furanos se sabe que ocurre principalmente a partir de reacciones heterogéneas, catalizadas en la superficie, de precursores o de síntesis de novo en la ventana de temperatura entre 250-450 °C. Por lo tanto, es importante que los gases de salida se enfríen rápidamente a menos de 200 °C. Los precalentadores y hornos de pre-calcinación modernos tienen esta característica ya inherente en el diseño del proceso.

El WBCSD evaluó alrededor de 2,200 mediciones de dioxinas y furanos (PCDD/PCDF) realizadas desde finales de los años 70 hasta hace poco. Los datos indican que los hornos de cemento pueden normalmente cumplir con niveles de emisión de PCDD/PCDF de <math>< 0.1 \text{ ng de EQT/Nm}^3 \text{ a } 10\% \text{ de O}_2</math>, que es el valor límite de la Directiva Europea de Emisiones Industriales para los hornos de cemento de co-procesamiento de AFR.

El co-procesamiento de combustibles alternativos y materias primas, alimentado al quemador principal, a la entrada del horno o al precalcinador, no parece influir o modificar las emisiones de POP (WBCSD, 2006).

Las medidas primarias más importantes para asegurar el cumplimiento de un nivel de emisión de dioxinas y furanos (PCDDs/PCDFs) de 0.1 ng de EQT/Nm³ al 10% de O₂ son:

- Enfriamiento rápido de los gases de escape del horno a menos de 200 °C en hornos largos húmedos y hornos largos secos. Los precalentadores y hornos de pre-calcinación modernos tienen esta característica ya inherente en el diseño del proceso.
- Evitar la alimentación de materias primas alternativas como parte de la mezcla de materias primas naturales si contiene compuestos orgánicos volátiles.
- Evitar la alimentación de combustibles alternativos durante el arranque y el apagado del horno de cemento.



DIOXINS
FURANS



Foto: Enfriamiento y depuración de los gases de escape en el precalentador de suspensión.

3.2.2 Técnicas de Reducción de Emisiones

Las emisiones a la atmósfera de las instalaciones de pre-procesamiento dependen de los tipos de residuos tratados y de los procesos utilizados. Es de esperar que se produzcan emisiones a la atmósfera de polvo y compuestos orgánicos y que se apliquen técnicas de reducción adecuadas. Los rangos típicos de las emisiones a la atmósfera de los hornos de cemento y las técnicas de reducción apropiadas se explican en detalle en el documento BREF para la Producción de *Cemento, Cal y Óxido de Magnesio* (CLM) (Comisión Europea, 2013). Dado que no hay un cambio significativo en las emisiones con el co-procesamiento sostenible, esto también aplica para el Co-procesamiento:

- Polvo difuso: cubrir las zonas de almacenamiento a granel o los depósitos, utilizar protección contra el viento a pila abierta, utilizar rociadores de agua y supresores de polvo químico, asegurar la humectación de los caminos, la pavimentación, y el mantenimiento o limpieza.
- Polvo canalizado: precipitadores electrostáticos, filtros de tela, filtros híbridos.
- Compuestos orgánicos volátiles y olorosos: adsorción, biofiltro, oxidación térmica, lavado húmedo.
- SO₂: optimización del proceso de molienda en bruto, adsorción, depuración húmeda.
- NO_x: técnicas primarias (enfriamiento de llama, quemadores de bajo NO_x, optimización de procesos), combustión por etapas (convencional o AF), *reducción selectiva no catalítica* (SNCR), *reducción catalítica selectiva* (SCR) dependiendo del catalizador apropiado y el desarrollo del proceso en la industria del cemento.
- CO, TVOC y benceno: optimizar el proceso de combustión, evitar la alimentación de materias primas con un alto contenido de VOC en el sistema del horno a través de la ruta de alimentación de las materias primas.
- HCl y HF: usando técnicas de eliminación de polvo de filtrado, técnicas de desviación de gas de cloro, adsorción.
- NH₃: optimizar el deslizamiento de amoníaco debido al amoníaco no reaccionado por la reducción de NO_x por el SNCR.
- PCDD/F: seleccionar y controlar cuidadosamente los materiales de entrada (por ejemplo, cloro, cobre y compuestos orgánicos volátiles en las materias primas y cloro, cobre en los combustibles), limitar el uso de AFRs que contengan materiales orgánicos con contenido de cloro, evitar el co-procesamiento durante el arranque y el apagado del horno.
- Metales (Hg, Cd, Tl, As, Sb, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V): limitación del contenido de metales relevantes en los materiales de entrada, utilizando técnicas eficaces de eliminación del polvo.

El agua contaminada de las instalaciones de pre-procesamiento debe ser capturada y tratada responsablemente. Las liberaciones a las aguas superficiales y subterráneas dependen de los tipos de residuos tratados y de los procesos utilizados. Según el grado y la naturaleza de los contaminantes y la salida (aguas superficiales, tratamiento de aguas in situ, tratamiento colectivo de aguas industriales o sistema público de alcantarillado), puede utilizarse una combinación de las siguientes técnicas de reducción diferentes:

- Tratamiento del agua: decantación, separadores de hidrocarburos/aceite/lodos, adsorción, tratamiento fisicoquímico, tratamiento biológico, tratamiento térmico (para aguas altamente contaminadas).

Los residuos generados por esas técnicas de reducción (carbón activado utilizado, lodos, hidrocarburos, aceites, etc.) pueden en muchos casos ser también co-procesados, de lo contrario deben ser dirigidos a plantas de tratamiento externas. Deberían establecerse técnicas de reducción y medidas de ingeniería adecuadas para la protección del suelo y las aguas subterráneas, como una geomembrana apropiada como sello para el suelo.

Las plantas de cemento no emiten agua contaminada industrialmente, sino que sólo producen aguas residuales domésticas de varias secciones de la planta. Estos efluentes se descargan típicamente en instalaciones de tratamiento de aguas residuales cautivas o públicas.

Tanto en las instalaciones de pre-procesamiento como en las plantas de cemento se debe prestar especial atención a la capacidad de gestionar el agua potencialmente contaminada para el combate de incendios. En caso de incendio, es posible que esta agua se contamine con los medios de extinción y los residuos del fuego. Esta agua contaminada debe ser capturada y eliminada responsablemente.

3.2.3 Monitoreo de las emisiones y Presentación de Reportes

Las instalaciones de pre-procesamiento deben ser inspeccionadas y las mediciones puntuales de las emisiones de aire deben ser realizadas por un laboratorio de pruebas competente e independiente una vez cada seis meses. La cobertura de la inspección y de las pruebas de emisión de aire se definirá en el permiso de la instalación de pre-procesamiento. La empresa a cargo de las pruebas debe cumplir los requisitos de las reglamentaciones locales, tanto en lo que respecta a la competencia como a la presentación de informes.

Las mediciones de los olores pueden ser complejas y poco fiables. Sin embargo, antes de la construcción o puesta en marcha de las instalaciones de tratamiento de residuos se debe realizar una investigación de línea base de los niveles de olor y ruido en caso de futuras quejas de los vecinos, alegatos y responsabilidades.

El agua de limpieza, el agua de proceso y los medios de extinción de incendios pueden ser una fuente importante de contaminación de las aguas de afluente. Los valores límite de descarga para los contaminantes deben ser parte integral del permiso, y su cumplimiento debe ser monitoreado y reportado. Las emisiones al agua deben ser monitoreadas una vez al mes.

Con la excepción de los accidentes, no se esperan emisiones al suelo y a las aguas subterráneas. Sin embargo, antes de la construcción o puesta en marcha de instalaciones de tratamiento de residuos se debe realizar una investigación de línea base del nivel de contaminación de las aguas subterráneas y el suelo en caso de futuras denuncias y responsabilidades.

La vigilancia de las emisiones y la presentación de reportes de las plantas de cemento deben incluir todos los componentes que se indican en la [Tabla 3 abajo](#). Estos requisitos para la vigilancia de las emisiones a la atmósfera en las plantas de cemento son ambiciosos, pero se recomiendan como norma para los reglamentos sobre emisiones atmosféricas.

Componente	Frecuencia de Monitoreo
Polvo, SO ₂ , NO _x , CO, VOC	Continuamente
HCl, NH ₃ , Hg, Tl, Cd, As, Cr, Cu, Sb, Ni, Pb, Zn, V, benceno, dioxinas y furanos	Mediciones periódicas al menos una vez al año

Tabla 3
Método para monitoreo de emisiones a la atmósfera de una Planta de Cemento (co-procesamiento) para contaminantes relevantes.

Para las mediciones continuas deben utilizarse monitores de emisión en línea confiables. Para las mediciones puntuales periódicas deben seleccionarse empresas de servicios nacionales o internacionales competentes.

Durante las mediciones puntuales periódicas, las empresas de servicios también deben medir el polvo, SO₂, NO_x, CO y VOC para comparar los resultados con los respectivos promedios de las mediciones continuas en el mismo período de tiempo. En caso de desviaciones significativas, se debe comprobar la exactitud de las mediciones continuas y discontinuas.

Las mediciones de las emisiones al aire y al agua deben llevarse a cabo de conformidad con las normas EN o ISO, normas nacionales u otras normas internacionales que garanticen el suministro de datos de calidad científica equivalente. El Reporte Europeo BREF sobre el Monitoreo de las Emisiones a la Atmósfera y al Agua de las instalaciones de IED (Brinkmann et al., 2018) ofrece una buena visión general de las diferentes normas y algunos aspectos generales de la vigilancia de las emisiones, como el régimen de monitoreo, el aseguramiento de calidad y la presentación de informes.

Se debe tener cuidado durante el *almacenamiento, la manipulación y la transferencia de los residuos y AFR*, ya que algunos contaminantes podrían filtrarse al suelo y a las aguas subterráneas. Las zonas de almacenamiento, manipulación y transferencia de los residuos y AFR en los sitios de pre- y co-procesamiento deberían diseñarse de acuerdo con los enfoques estándar de la industria (capacidad adecuada, funcionamiento seguro) y deberían tener en cuenta los procedimientos que se indican a *continuación*:

- ✓ La manipulación y el traslado de los residuos y AFRs están a cargo de personal competente.
- ✓ Se adoptan medidas para prevenir, detectar y mitigar los derrames.
- ✓ Se toman precauciones de operación y diseño cuando se mezclan o se combinan los residuos.

En el documento de referencia Europeo sobre las mejores técnicas disponibles (BAT) en materia de Emisiones derivadas del Almacenamiento (Comisión Europea, 2006) figuran otras recomendaciones sobre la manera de reducir las emisiones procedentes del almacenamiento, la transferencia y la manipulación de sólidos y líquidos.



Recuadro 8: Transparencia en el Monitoreo de Emisiones

La mejor manera de concebir la vigilancia y el control eficaces de las emisiones y otras posibles fuentes de problemas que pueden surgir de la introducción del pre- y el co-procesamiento es, en forma de un proceso participativo e inclusivo. Los intereses de vecinos y propietarios colindantes, proveedores, empleados,

contratistas, reguladores y el público en general deben tener un papel prominente. Para aumentar la aceptación de las instalaciones locales de pre-procesamiento y las plantas de cemento, puede ser útil llevar a cabo un monitoreo transparente de las emisiones y hacer accesibles los valores de las emisiones a los interesados.

3.2.4 Impacto Ambiental del uso de AFR en Productos de Cemento

Algunos metales (por ejemplo, Hg, Tl, Cd, Sb, As, Pb, Cr) se denominan contaminantes porque pueden afectar a la salud si son absorbidos por organismos vivos en cantidades excesivas. Como esos metales están presentes en todos los materiales de entrada, tanto convencionales como alternativos, también estarán presentes en los productos cemento, concreto y mortero.

El contenido de metal del cemento producido sin AFR varía considerablemente según el origen geográfico y/o geológico de las materias primas y los combustibles utilizados. Investigaciones exhaustivas han demostrado que, desde el punto de vista estadístico, el uso del AFR sólo tiene una influencia marginal en el contenido de metales del clinker y el cemento. La única excepción son los niveles de Zn que se incrementan por el uso de neumáticos. Por supuesto, una base estadística no es lo mismo que el resultado del monitoreo de un producto, por lo que, por esta razón, se debe establecer un análisis de línea base del contenido de metales del clinker y el cemento antes de la introducción del AFR.

Los productos finales cemento, concreto y mortero actúan como un sistema de “*multi-barrera*” contra la liberación de metales debido a la:

- incorporación de metales en la estructura cristalina del clínker
- incorporación de metales en la el producto de hidratación del cemento
- formación de minerales insolubles
- encapsulación de metales en la densa estructura del concreto.

Las evaluaciones del comportamiento ambiental del cemento y el concreto suelen basarse en las *características de lixiviación* de metales pesados al agua y al suelo. Se deben considerar varios escenarios de exposición:

- ☑ Exposición de estructuras de mortero y concreto en contacto directo con aguas subterráneas (aplicaciones “primarias”).
- ☑ Exposición de mortero o concreto en contacto directo con agua potable en sistemas de distribución (tuberías de concreto) o de almacenamiento (depósitos de concreto); (aplicaciones de “vida útil”).
- ☑ Reutilización del concreto demolido en agregados reciclados, construcciones de carreteras, rellenos de presas, etc. (aplicaciones “secundarias” o “de reciclaje”).
- ☑ Eliminación del hormigón demolido en vertederos (aplicaciones de “fin de vida”).

La lixiviación de oligoelementos del concreto dentro de los valores de pH relevantes para el medio ambiente es un proceso controlado por difusión (es decir, extremadamente lento). Pero no todos los metales comparten las mismas características principales de lixiviación. *Los principales resultados de muchos estudios de lixiviación* realizados para evaluar los impactos ambientales de los metales pesados incrustados en el concreto son los siguientes:

- Las cantidades lixiviadas de oligoelementos del concreto monolítico (aplicaciones de “vida útil” y “reciclado”) están por debajo o cerca de los límites de detección de los métodos analíticos más sensibles.
- No se han observado diferencias significativas en el comportamiento de lixiviación de los oligoelementos entre los cementos y los hormigones producidos con o sin AFR.
- La excepción es en relación con el cromo, el aluminio y el bario. Las concentraciones de lixiviados de estos tres metales pueden, en determinadas condiciones de prueba, acercarse a los límites de las normas de agua potable.
- En particular, el cromo hexavalente del cemento es soluble en agua y puede lixivarse del concreto a velocidades más altas que otros metales; por lo tanto, los aportes de cromo al cemento y al hormigón deben limitarse en la medida de lo posible.
- Las pruebas de laboratorio y los estudios de campo han demostrado que los valores límite aplicables (por ejemplo, las normas relativas a las aguas subterráneas o al agua potable) no se superan mientras la estructura de hormigón permanezca intacta (aplicaciones “primarias” o “de vida útil”).
- Algunos otros metales como el arsénico, el cromo, el vanadio, el antimonio o el molibdeno (los llamados “oxianiones”) pueden tener un comportamiento de lixiviación más móvil, especialmente cuando la estructura de mortero u hormigón se destruye por aplastamiento (aplicaciones de “reciclado” y “fin de vida”).

No está claro cómo regular el contenido de oligoelementos de los cementos, ni si su comportamiento de lixiviación es significativo desde el punto de vista ambiental; y, por lo tanto, si el usuario tiene necesidades específicas de limitación de los oligoelementos.

Para los diferentes escenarios de exposición del concreto y el mortero en la vida real, existen diferentes pruebas de lixiviación y procedimientos de evaluación. Se han desarrollado procedimientos de prueba estandarizados principalmente para aplicaciones de agua potable. Sigue siendo necesario contar con procedimientos de prueba armonizados y normalizados basados en las hipótesis de exposición descritas anteriormente.



3.3 Aspectos Operativos

Principio III

Operación y Control de Calidad

- Sólo se seleccionarán las corrientes de residuos apropiadas. Estos serán pre-procesados para asegurar el control de calidad, el manejo adecuado y el funcionamiento estable del horno durante el Co-procesamiento.
- Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento deben estar calificadas. Éstas deberán controlar y monitorear los insumos y los parámetros pertinentes de sus procesos de producción de manera regular.
- La calidad de los productos de cemento (concreto, mortero) permanece inalterada.

Requisito 6

Se garantizará la idoneidad de los residuos/AFR para que puedan ser aceptados para su pre o co-procesamiento

- Los residuos recién identificados y las fuentes de AFR se someterán a un procedimiento de pre-aceptación (calificación de la fuente) antes de considerarlos para su pre o co-procesamiento.
- El pre- y co-procesamiento no impedirá el desarrollo de sistemas de reciclaje locales y globales, y los pre-procesadores desviarán los materiales reciclables hacia el reciclaje cuando sea posible.
- Se garantizará la trazabilidad en la instalación de pre- y co-procesamiento desde la recepción hasta el tratamiento final.
- Los acuerdos de nivel de servicio entre los generadores de residuos y las instalaciones de pre-procesamiento, así como entre las plantas de cemento y las instalaciones de pre-procesamiento, incluirán especificaciones de calidad.
- Se rechazarán las categorías de residuos no aptos para el pre-procesamiento o los AFR que no cumplan las especificaciones de calidad para el co-procesamiento.

Requisito 7

El transporte, el almacenamiento, el tratamiento y la manipulación deben ser regulados y supervisados

- El transporte, el almacenamiento, el tratamiento y la manipulación de los residuos y el AFR deberán cumplir con los requisitos reglamentarios.
- Se proporcionarán y mantendrán regularmente procedimientos, equipo e infraestructura adecuados para el transporte, el almacenamiento, el tratamiento y la manipulación de los residuos y el AFR, según la naturaleza de los materiales.
- Los sistemas de tratamiento y manipulación de residuos y de AFR se diseñarán para reducir al mínimo el polvo fugitivo, evitar los derrames, mitigar los riesgos de incendio y explosión y evitar la liberación de vapores tóxicos o nocivos.

Requisito 8

Los procedimientos operativos estándar deberán estar claramente definidos y ser conocidos por los operadores

- Los AFR se alimentarán al sistema del horno sólo en los puntos de alimentación apropiados dependiendo de las características de los AFR.
- La alimentación de AFR se evitará durante el arranque y el apagado del horno.
- Las condiciones técnicas de la planta que influyen en las emisiones, la calidad del producto y la capacidad se controlarán y supervisarán cuidadosamente.

Requisito 9

Se aplicará un sistema de control de calidad

- Se elaborarán y aplicarán planes de control de calidad documentados en cada sitio de pre- y co-procesamiento.
- Se proporcionarán procedimientos, equipo adecuado y personal capacitado para el control de calidad.
- Se aplicarán protocolos apropiados en caso de incumplimiento de las especificaciones definidas.

3.3.1 Transporte, Almacenamiento, Tratamiento y Manipulación

El transporte, el almacenamiento, el tratamiento y la manipulación de los residuos y el AFR –especialmente los que tienen características peligrosas– deben estar sujetos a reglamentos detallados y requisitos legales. Se deben seguir los reglamentos y requisitos locales, nacionales e internacionales (por ejemplo, el Convenio de Basilea) y se deben adoptar las siguientes buenas prácticas y compromisos.

Sólo las empresas autorizadas deben ser seleccionadas para transportar los residuos y los AFR a los sitios de pre- y co-procesamiento. Los propietarios y operadores de equipo de transporte deberán:

- ☑ Proporcionar pruebas del mantenimiento adecuado de sus equipos
- ☑ Emplear sólo operadores capacitados
- ☑ Cumplir con todos los reglamentos y requisitos legales pertinentes de acuerdo con la naturaleza de los materiales transportados
- ☑ Respetar estrictamente los requisitos y procedimientos del sitio de pre- y co-procesamiento cuando se encuentre en su propiedad
- ☑ Para el movimiento de los AFR dentro y fuera del sitio, seleccionar y contratar sólo empresas autorizadas para manejar, transportar y almacenar residuos y otros materiales similares a los AFR.

El lugar de pre- o co-procesamiento debe informar a los propietarios y operadores de transporte sobre los requisitos y procedimientos aplicables dentro de su propiedad, y solicitar al transportista de residuos que proporcione pruebas sobre la capacitación adecuada de los operadores.

El transporte interno, el almacenamiento y la manipulación de los residuos y los AFR se harán de manera que se eviten los derrames, así como la contaminación de las aguas subterráneas y el suelo, se reduzca al mínimo el riesgo de incendio o explosión, se controlen las emisiones de polvo fugitivo y se contengan los componentes volátiles, los olores y el ruido. El sitio de pre- y co-procesamiento seguirá todos los procedimientos de permisos industriales y:

- ☑ Elaborar requisitos y procedimientos para la descarga, el almacenamiento y la manipulación de los residuos y AFR
- ☑ Proporcionar una capacidad de almacenamiento suficiente e instalaciones de manipulación adecuadas
- ☑ Implementar planes detallados de respuesta ante derrames y emergencias
- ☑ Aplicar controles adecuados del polvo fugitivo durante el transporte interno, la descarga, el almacenamiento y la manipulación de los residuos y AFR
- ☑ Controlar la erosión eólica y la escorrentía de agua de los depósitos
- ☑ Aplicar un diseño a prueba de incendios y explosiones para todas las instalaciones de acuerdo con la naturaleza de los materiales. Proporcionar instalaciones y equipos adecuados para la supresión, eliminación o destrucción de los componentes gaseosos volátiles
- ☑ Asegurar el uso adecuado del equipo de protección personal y la capacitación de los trabajadores en el lugar de trabajo.

3.3.2 Procedimientos Operativos del Horno

Los principios generales de un buen control del funcionamiento de los hornos que utilizan combustibles y materias primas convencionales deben aplicarse también durante el co-procesamiento. En particular, todos los parámetros de proceso pertinentes deben medirse, registrarse y evaluarse continuamente.

Los operadores de los hornos deben ser entrenados según se requiera, con especial atención a los requisitos relacionados con el uso de AFR. Para el arranque, apagado o alteración de las condiciones del horno, el uso de AFR debe ser excluido y los procedimientos operativos escritos sobre cómo detener la alimentación de AFR durante estas condiciones deben estar disponibles y ser conocidos por los operadores del horno.

3.3.3 Manejo del Cloro

El impacto de los AFR en la entrada total de elementos volátiles como el cloro, el azufre o los álcalis debe evaluarse cuidadosamente antes de la aceptación de los AFR, ya que pueden causar problemas operativos en un horno. Los criterios específicos de aceptación de estos componentes deben ser definidos individualmente por el sitio en función de la situación específica de la materia prima y el combustible, así como del tipo de proceso del horno.

En los casos de excesivos aportes de cloro con los materiales de alimentación, los hornos de cemento desarrollan problemas de funcionamiento debido a la mayor pegajosidad de los materiales procesados y a la formación de acumulaciones asociadas. Esos problemas operacionales se resuelven extrayendo el polvo de los filtros durante el funcionamiento directo o extrayendo parte de los gases del horno enriquecidos con cloro del conducto ascendente del horno. Los productos intermedios resultantes se denominan *polvo de horno de cemento* (CKD) o *polvo desviado* (BPD por sus siglas en inglés).

En algunos casos, particularmente en los Estados Unidos, el mercado requiere cementos de bajo contenido alcalino. La volatilización de los álcalis se potencia con la adición de cloro. El álcali y el cloro se eliminan con un sistema de derivación de gas que genera BPD. Si la eliminación de los álcalis se realiza en largos hornos húmedos o en largos hornos secos, se produce un tipo de polvo diferente, llamado *polvo de horno de cemento* (CKD por sus siglas en inglés, niveles de enriquecimiento moderados).

En muchos países se puede añadir a los cementos CKD y BPD (si las normas locales de cemento lo permiten). Sin embargo, en algunos casos no se puede reutilizar completamente y, por lo tanto, puede ser necesario recurrir a los vertederos.

- Si no se puede evitar el vertido en sitios de relleno, debe hacerse de acuerdo con las normas de vertido controlado.
- El BPD y el CKD deben ser compactados para prevenir la erosión del viento, y la cara expuesta debe ser minimizada.
- Los efluentes deben recogerse y tratarse antes de su liberación.

3.3.4 Control y Aseguramiento de Calidad

Pre-precalificación

El posible uso de cualquier desecho en una instalación de pre-procesamiento o AFR en una planta de cemento debe ser objeto de un detallado proceso de precalificación de residuos/AFR que consiste en los siguientes pasos:

- Identificación del cliente (generador de residuos, empresa de gestión de residuos) con el material de desecho candidato (fuente candidata).
- Evaluación de la reciclabilidad: ¿es este flujo de residuos actual o potencialmente reciclable, y su uso como AFR competirá con cualquier operación de reutilización, reciclado o recuperación de materiales que represente un mayor nivel de prioridad en la jerarquía?
- Evaluación de la información existente, como
 - actividad comercial o tipo de proceso de generación de residuos
 - almacenamiento o tratamiento intermedio de los residuos
 - características físicas y químicas de los residuos
 - datos de salud y seguridad y clasificación de peligros (hoja de datos de seguridad de materiales si está disponible)
 - los volúmenes de las existencias actuales y las tasas de entrega previstas
 - condiciones de transporte (códigos de residuos, códigos de transporte, embalaje, modo de transporte, requisitos legales)
 - la forma en que los residuos están actualmente permitidos, son transportados y gestionados
 - violaciones u obligaciones legales o financieras pendientes que puedan afectar a un futuro usuario.
- Ensayo a escala real de una muestra representativa de residuos (análisis de calificación de la fuente) que incluya al menos todas las características químicas y físicas enumeradas en el permiso de operación y en las especificaciones de la planta, y comparación con las especificaciones dadas.
- Creación de un Archivo Maestro de Calificación de Residuos/AFR de los residuos candidatos ([Anexo 13](#)).
- En caso de aceptación de residuos candidatos: contrato y acuerdo para la entrega de residuos, incluyendo las características de los residuos y los criterios de aceptación acordados.
- En caso de rechazo, comunicar al cliente los criterios de no aceptación.

Aceptación

La aceptación en las operaciones de rutina debe ser controlada para cada envío individual a:

- Asegurar el cumplimiento de los requisitos internos de salud y seguridad (protección de los empleados)
- Verificar que los materiales entregados cumplan con los permisos y especificaciones de la planta
- Tomar decisiones para la aceptación o el rechazo de los envíos de residuos
- Mantener registros para (posibles) solicitudes, investigaciones o denuncias futuras.

El control de aceptación total tiene una parte administrativa y otra analítica. La verificación administrativa incluye:

- ☑ Inspección de los documentos adjuntos (tipo y cantidad de residuos, código de residuos, origen de los residuos, transportista, fecha de entrega, código de transporte, etc.)
- ☑ Inspección del certificado de residuos (datos físicos y químicos, datos de H&S, etc.).

La verificación analítica incluye:

- ☑ Pesaje del camión/carga
- ☑ Inspección visual
- ☑ Muestreo (muestra representativa)
- ☑ Pruebas/análisis (pruebas rápidas/de huellas dactilares)
- ☑ Comparación del Archivo de Control de Embarques con el Archivo Maestro de Calificación.

El plan de control detallado depende del origen y la naturaleza de los residuos o AFR y contiene especificaciones sobre códigos de identificación, responsabilidades, lugar y frecuencia de muestreo, tipo de pruebas analíticas, frecuencia de las pruebas y requisitos de los permisos. Los procedimientos de trabajo documentados para la toma de muestras, los ensayos analíticos, el almacenamiento de las muestras, la administración del equipo de laboratorio (calibración, mantenimiento, etc.), los procedimientos administrativos y la validación de los resultados deben estar disponibles y ser comunicados al personal de servicio.

Los criterios de aceptación deben definirse y actualizarse periódicamente de conformidad con las regulaciones locales. Debe disponerse de protocolos e instrucciones escritas en las que se detallen las medidas en caso de incumplimiento de determinadas especificaciones o reglamentos. Los proveedores de los residuos o AFR deben ser informados sobre las entregas no conformes.

Se debe proporcionar y mantener un diseño de laboratorio, una infraestructura y un equipo de muestreo y ensayo adecuados que permitan realizar todas las pruebas analíticas necesarias correspondientes a los tipos de residuos/AFR y al plan de control. Las muestras y los resultados de las pruebas deben almacenarse o archivarlos durante un período de tiempo definido. Se deben realizar periódicamente pruebas inter-laboratorios para verificar y mejorar el rendimiento analítico del laboratorio.

El personal de control de calidad debe estar adecuadamente capacitado de acuerdo con las necesidades específicas y la naturaleza de los residuos o AFR. Se elaborarán planes de capacitación y registros de capacitación documentados y conservarán como referencia.

Control de Calidad de AFR

Si los residuos son pre-procesados en AFR, se requiere un control regular del producto en la instalación de pre-procesamiento para:

- Cumplir con el permiso y las especificaciones operacionales de la planta de cemento
- Asegurar una calidad constante del AF o materia prima para el funcionamiento estable del horno y una calidad adecuada del producto
- Garantizar la salud y la seguridad de los empleados durante la manipulación y el almacenamiento
- Prevenir los riesgos o peligros ambientales en la planta de cemento (emisiones, efluentes).

Cada lote de AFR debe ser inspeccionado y/o probado antes de ser entregado a una planta de cemento. Además, se deben tomar regularmente muestras para el control del proceso. El programa completo de pruebas según el Acuerdo de Calidad de AFR debe llevarse a cabo en una muestra compuesta de la producción diaria. Si el lote controlado de AFR terminado no cumple con las especificaciones, éste debe ser reprocesado ([véase el Anexo 14](#)).

En un intento de armonizar los combustibles alternativos sólidos, se ha desarrollado un Estándar Europeo para el Combustible Sólido Recuperado. El SRF es un combustible derivado de residuos no peligrosos producido de acuerdo con los requisitos de las normas europeas para SRF, específicamente de acuerdo con la norma EN15359. El principal objetivo de las normas es apoyar el comercio transfronterizo de combustibles derivados de residuos dentro de Europa.

Control de Calidad del Clínker y el Cemento

La producción de cemento requiere un riguroso control de la química de los ingredientes principales: CaO, SiO₂, Fe₂O₃, y Al₂O₃, así como otros componentes menores como los sulfitos (SO₃²⁻), K₂O, Na₂O, TiO₂ y el pentóxido de fósforo (P₂O₅). El contenido mineral del AFR puede cambiar las características del clínker. La composición de la mezcla de materias primas debe ajustarse en consecuencia para mantener la calidad del producto deseado.



3.4 Aspectos de Salud y Seguridad

Principio IV

Aspectos de Salud y Seguridad (H&S)

- Las empresas activas en el pre- y co-procesamiento establecerán controles de riesgo apropiados para proporcionar condiciones de trabajo saludables y seguras para los empleados y contratistas.
- Tener buenos registros de cumplimiento de salud y seguridad, así como personal, procesos y sistemas comprometidos con la protección de la salud y la seguridad establecidos.

Requisito 10

Se implementará un sistema de administración de salud y la seguridad en todos los sitios

- La identificación de los riesgos y su mitigación será la base del sistema de gestión de salud y seguridad.
- La Documentación e Información sobre Salud y Seguridad será compartida con todos los empleados y la base para la apertura y transparencia de las medidas de salud y seguridad.
- Las instalaciones de pre- y co-procesamiento se diseñarán y construirán de forma que protejan la salud y seguridad de los trabajadores, la comunidad y el medio ambiente.
- Una ubicación adecuada, una buena infraestructura y empleados debidamente capacitados pueden minimizar los riesgos.

Requisito 11

Se aplicarán planes de respuesta ante emergencias para cada sitio

- Se aplicarán planes de respuesta ante emergencias adecuados para todos los sitios de pre- y co-procesamiento.
 - Se dispondrá de un grupo de respuesta a emergencias in situ.
 - Los simulacros de respuesta de emergencia se ejecutarán regularmente, incluyendo a las organizaciones de intervención pública vecinas.
-

3.4.1 Gestión de Riesgos y Seguridad del Diseño

El pre- y co-procesamiento debe realizarse de forma que se cree un entorno saludable y seguro para todos los interesados: empleados, contratistas, comunidades y clientes. La Salud y la Seguridad son una cuestión de liderazgo visible y responsabilidad personal para toda la organización.

No existe el riesgo cero, pero los riesgos pueden ser manejados adecuadamente. La H&S debe basarse en una evaluación adecuada de los riesgos y en la implementación completa de todas las medidas preventivas. Una evaluación del riesgo es la verificación de la probabilidad y la magnitud/impacto de un posible evento. Las evaluaciones del riesgo deben ser realizadas por personal comercial, transportistas de residuos, instalaciones de pre-procesamiento, plantas de cemento e ingenieros que participen en el diseño y la selección del equipo de pre-procesamiento y co-procesamiento, durante:

- El diseño inicial o modificación de las instalaciones y el equipo
- Definición de los residuos y criterios de aceptación de AFR
- Determinación de criterios para permisos de trabajo específicos (por ejemplo, trabajo en caliente, espacios confinados)
- Desarrollo de programas de higiene industrial
- Determinación de cuándo y dónde es necesario el equipo de protección personal
- Elaboración de planes de respuesta ante emergencias.

Los datos obtenidos de las evaluaciones de los riesgos deberían utilizarse para establecer un orden de prioridad de los elementos que deben abordarse inmediatamente o incluirse en el proceso de planificación a mediano plazo. Los riesgos identificados y los planes de mitigación deben comunicarse a todos los interesados, incluidas las autoridades.

La seguridad del diseño es uno de los aspectos más fáciles, aunque a menudo subestimados, de asegurar la H&S. Las evaluaciones de riesgo son parte del proceso de seguridad del diseño:

- ☑ Los sitios deben tener todos los permisos de operación
- ☑ Los sitios deben elegirse de manera que se reduzcan al mínimo los riesgos para los empleados y las comunidades circundantes
- ☑ La distribución del sitio debe ser diseñada para los volúmenes esperados
- ☑ Se debe utilizar un equipo bien mantenido
- ☑ Los diseños deben cumplir con las directrices, códigos y requisitos legales internacionales (por ejemplo, SEVESO/Directiva 2012/18/UE, ATEX, Asociación Nacional de Protección contra Incendios, VDI, BREF, etc.).

El análisis de las consecuencias del diseño puede ayudar a determinar las medidas de seguridad adicionales, como las capas de protección (por ejemplo, puertas a prueba de explosión, paredes reforzadas, detección redundante de incendios) para las zonas o equipos críticos.

3.4.2 Sistema de Gestión de la Salud y la Seguridad (H&S)

Tener un sistema de gestión de salud y seguridad es esencial para cualquier operación de pre- y co-procesamiento. La información sobre las decisiones relativas a salud y seguridad debe estar a disposición de todos los empleados, contratistas y otras partes interesadas. El propósito de un sistema de gestión de H&S es:

- Esforzarse por mejorar continuamente el rendimiento de Salud y Seguridad (por ejemplo, ISO 45001⁶)
- Auditoría y revisión (planear, hacer, comprobar, actuar); revisión de la administración, auditorías internas, auditorías externas (por ejemplo, OSHA VPP⁷)
- Disponer de la documentación adecuada (por ejemplo, hojas de datos de seguridad de los materiales, permisos para trabajos peligrosos, registros de capacitación, registros de inspección y mantenimiento de equipos, permisos, resultados de auditorías, resultados de la vigilancia ambiental y médica)
- Disponer de descripciones de tareas que incluyan el equipo de protección personal requerido
- Proporcionar capacitación en salud y seguridad a todos los empleados y contratistas.
- Informe de todos los incidentes.

⁶ <https://www.iso.org/standard/63787.html>

⁷ https://www.osha.gov/dcsp/vpp/all_about_vpp.html

3.4.3 Plan de Respuesta ante Emergencias

Cada sitio debe desarrollar, implementar y comunicar un plan detallado de respuesta ante emergencias para asegurar una respuesta efectiva y rápida a cualquier tipo de emergencia. El plan de respuesta de emergencia debe contener:

- ✔ descripción de las zonas de posibles derrames, incendios y explosiones
- ✔ instrucciones de trabajo y procedimientos a utilizar en caso de emergencia
- ✔ proporcionar capacitación a todos los empleados, subcontratistas y visitantes sobre los procedimientos de respuesta de emergencia inmediata
- ✔ requisitos de información y comunicación en caso de emergencia.

La dirección del sitio debe asegurarse de que el plan de respuesta de emergencia esté establecido y se comunique a todos los empleados, las autoridades competentes y otros interesados pertinentes, como las comunidades.

Disponer de un grupo de respuesta a emergencias in situ es esencial para tomar las primeras medidas contra un impacto de emergencia:

- Cada sitio debe organizar un grupo de respuesta de emergencia, equipado e instruido (por ejemplo, para combatir incendios o responder a derrames).
- Las tareas y el equipo dependen del tamaño del lugar, los riesgos del lugar y la distancia a las organizaciones de intervención pública más próximas (bomberos, grupo de intervención química, cuerpo médico).

Los grupos de intervención de emergencia deben ser capacitados regularmente, incluyendo simulacros en los que participen las organizaciones de intervención pública vecinas.





3.5 Aspectos Sociales: Inclusión y Compromiso de los Interesados

Principio V

Inclusión y Compromiso

- Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento participarán regularmente y se comunicarán de manera transparente con el público, las autoridades competentes y otras partes interesadas.
- Se tendrán en cuenta las necesidades específicas de cada país o localidad y los diferentes entornos culturales al aplicar el pre- y co-procesamiento.
- Las empresas que se dedican al pre- y co-procesamiento consultarán y colaborarán con los actores de la cadena de valor de la gestión local de residuos existente, incluidos los trabajadores informales del sector de los residuos.

Requisito 12

Se logrará un beneficio mutuo de las partes interesadas involucradas

- Se consultará a las partes interesadas de la cadena de valor de la gestión de residuos existente local, incluidos los trabajadores informales de la industria de los residuos, y se los considerará para realizar colaboraciones.
- Las plantas de cemento, incluidas las estaciones de molienda y las estaciones de pre-procesamiento, deben contar con al menos un Grupo Asesor de la Comunidad a nivel de planta.
- La integración en la cadena de valor local requiere una reevaluación de la línea base y periódica también de la dimensión social, centrada en los problemas, las necesidades y los posibles beneficios.

Requisito 13

La apertura y la transparencia son los principios rectores de la comunicación y el compromiso con todos los interesados

- Proporcionar información pertinente de manera proactiva para que todos los interesados comprendan el propósito del co-procesamiento, el contexto, la función de las partes involucradas y los procedimientos de toma de decisiones.
- Construir credibilidad siendo abiertos, honestos y consistentes. Las palabras deben coincidir con los hechos demostrados y el buen desempeño. Deben evitarse los vacíos entre lo que se dice y lo que se hace actualmente.
- Cultivar el diálogo entre las partes interesadas sobre la base del respeto y la confianza mutuos. Los participantes en las actividades de participación de las partes interesadas deberían poder expresar sus opiniones sin temor a restricciones.
- Se deben tener en cuenta los diferentes entornos culturales.
- Asegurar la continuidad de la comunicación; una vez que se empieza, nunca hay que detenerse.

3.5.1 Toma de Decisiones Inclusiva y de Beneficio Mutuo

En línea con los principios de ISWM, los cambios en el sistema de residuos sólidos relacionados con la introducción de pre- y co-procesamiento deben crear beneficios mutuos para los interesados involucrados en tiempo real en el lugar específico donde se implementan. Para lograr beneficios mutuos a nivel de proyecto, también se debe compartir la propiedad del proyecto y es posible que las preferencias iniciales de las partes involucradas deban experimentar algún cambio. Ello se debe a que otros interesados clave, en particular las instituciones del sistema de residuos sólidos y las empresas de la cadena de valor/reciclado (incluidos los recicladores informales), tendrán que poner sobre la mesa sus propias prioridades y consideraciones. Es probable que este proceso nunca se “termine” durante la vida de las operaciones de co-procesamiento, ya que es probable que se produzcan cambios económicos, sociales, técnicos y políticos. La inclusión y la eficacia de las estrategias aplicadas requerirán una comunicación y una evaluación continuas, especialmente cuando se trabaje con trabajadores del sector informal de la economía.

Estos beneficios mutuos deben estar claros para todos los interesados y es útil que sean medibles y susceptibles de ser documentados y monitoreados, lo que puede formar parte de la evaluación del impacto social y ambiental.



Recuadro 9: Toma de Decisiones Inclusiva

La toma de decisiones inclusiva se basa en una comunicación bidireccional y transparente en los procesos de toma de decisiones. Debe entenderse que estas Directrices plantean preguntas y ofrecen posibilidades, en lugar de proporcionar respuestas ya preparadas. Entre las preguntas clave de muestra que pueden resultar estimulantes en los procesos locales de toma de decisiones podrían figurar las siguientes:

– *¿Qué es lo que funciona y lo que no funciona en el sector de los servicios de residuos locales y en las cadenas de valor del reciclaje local?*

- *¿Qué materiales se están extrayendo o podrían extraerse del flujo de residuos, pero no se están reciclando actualmente, ni están siendo reutilizados, o descartados y ¿qué les está pasando?*
- *¿Es posible estabilizar la demanda de reciclaje del mercado y las relaciones como parte de una intervención en torno al pre-procesamiento?*
- *¿Hay agentes de la cadena de valor que buscan apoyo o que podrían ayudar a pre-procesar materiales actualmente no reciclables?*



Foto: Reunión de agricultores de biomasa en la India.

3.5.2 Comunicación y Compromiso

La comunicación y el compromiso de las partes interesadas son fundamentales para obtener una “licencia de operación” social de la comunidad local y otros interesados para el pre- y el co-procesamiento. Las actividades de comunicación pueden crear conciencia, informar y crear un foro para el diálogo con una amplia red de interesados: organismos gubernamentales, representantes electos, residentes locales, generadores de residuos, transportistas y empleados.

Una licencia para operar requiere la confianza de todas las partes interesadas. Esa confianza no se gana fácilmente. Sólo será establecida a través de:

- Mostrar que no se tiene nada que ocultar (TRANSPARENCIA)
- Mostrar que se tiene un dominio total del tema (COMPETENCIA) y
- Gestionar la actividad sobre la base de prácticas profesionales probadas y confiables (EXPERIENCIA).

Algunos interesados están convencidos de las posibilidades “beneficiosas para todos” del pre- y co-procesamiento, mientras que a otros les preocupan los posibles efectos sobre la salud o el medio ambiente.

El sector de la gestión de residuos y la industria del cemento pueden ser un socio valioso y respetado por las comunidades para mejoras de la infraestructura, casos de emergencia o acontecimientos sociales. Estas oportunidades y ventajas deben comunicarse de manera abierta y desinteresada.

La legislación, las directrices y las políticas abordan estas cuestiones en el plano operativo y científico, pero la comunicación y el compromiso desempeñan un papel crucial en la percepción pública: tiene una función clave en la creación y el mantenimiento de una relación con los diversos interesados y en evitar la propagación de rumores en la opinión pública, así como internamente.

La comunicación y el compromiso deben hacerse de manera sistemática. Todos los interesados pertinentes y sus necesidades e inquietudes deben tenerse en cuenta para crear un entendimiento común. Para que sea eficaz, la comunicación debe planificarse lo antes posible.

El enfoque que figura a continuación ofrece un marco básico para las actividades de comunicación y participación. En el caso de temas específicos, como las relaciones con los medios de comunicación, las relaciones con las partes interesadas o las comunicaciones en caso de crisis, cada organización debe aplicar los procedimientos y la capacitación adecuados adaptados a las estructuras organizativas existentes y a los recursos disponibles. De ser necesario, busque apoyo y asesoramiento de los organismos especializados o de las organizaciones asociadas.

Análisis de la Situación y de las Partes Interesadas

La comprensión de las percepciones, expectativas y motivaciones de las partes interesadas es la base de todas las actividades de comunicación y participación. Las encuestas de opinión pública, las entrevistas con los encargados de tomar las decisiones y los líderes de opinión y el análisis de la cobertura de los medios de comunicación son algunos de los instrumentos que se utilizarán para comprender cómo se le percibe a usted y su actividad. Este análisis también puede revelar las preocupaciones de los interesados que es necesario abordar. El análisis de las posiciones de las partes interesadas también permite identificar a los posibles aliados, así como a los posibles oponentes. Los interesados son personas, grupos o instituciones que se ven afectados, que podrían verse afectados o que podrían sentirse afectados por las actividades de pre- o co-procesamiento o por las actividades conexas. Tienen un interés en la empresa y pueden influir en sus actividades.

Niveles	Partes Interesadas principales	Actividades de Compromiso
Interno	Empleados, comunidad, autoridades, ONG locales, recicladores informales, medios de comunicación locales, clientes, subcontratistas	<ul style="list-style-type: none"> • Reuniones, sesiones de preguntas y respuestas • Talleres • Capacitación
Nacional	Gobiernos nacionales, ONG, clientes	Asuntos públicos, diálogos con las partes interesadas, membresías y asociaciones
Regional	Organizaciones gubernamentales regionales, oficinas regionales de organizaciones internacionales	Actividades de promoción
Internacional	Organizaciones gubernamentales internacionales (organismos de la ONU), ONG internacionales, WBCSD	Asuntos públicos, diálogos con las partes interesadas, membresías y asociaciones

Tabla 4

Clasificación de las partes interesadas según los diferentes niveles.

Las necesidades de comunicación de los diferentes interesados varían de un grupo a otro. El análisis de la situación ayuda a identificar estas necesidades y los líderes de opinión apropiados (personas, grupos u organizaciones). Promover el intercambio bidireccional de información a fin de comprender y abordar las preocupaciones legítimas.

Debe prestarse especial atención a la comunicación interna: si los empleados no están convencidos y no pueden encontrar respuestas a sus preguntas, será difícil convencer a otras partes interesadas. Los empleados son embajadores y deben ser capaces de dar confianza en que las actividades de pre- y co-procesamiento se llevan a cabo de manera profesional y transparente.

Objetivos

Los objetivos de comunicación deben adaptarse a los públicos locales y/o nacionales, por ejemplo:

A nivel del sitio:

- Asegurar el apoyo de sus empleados
- Ganarse la confianza de los vecinos y de las partes interesadas pertinentes, como las ONG locales, las autoridades locales y los recicladores informales (si procede), y obtener o mantener la “licencia para operar”.

A nivel nacional:

- Promover la comprensión del pre-procesamiento de los residuos y el co-procesamiento en la industria del cemento y aumentar la conciencia de sus beneficios
- Generar conciencia sobre la importancia de la gestión de los residuos de una manera controlada y ambientalmente racional
- Atraer la atención de los encargados de la formulación de políticas hacia el tema de la gestión de los residuos
- Apoyar el desarrollo y la aplicación de un marco reglamentario apropiado
- Promover la aceptación y el apoyo para las directrices aprobadas internacionalmente para el pre-procesamiento de los residuos y el co-procesamiento en la industria del cemento.

Roles y Responsabilidades

Es importante asignar claramente las funciones y responsabilidades para las comunicaciones. Dentro de las empresas, debe quedar claro quién es el responsable de las relaciones con los medios, las comunicaciones internas, las relaciones con las autoridades y la comunicación de crisis.

Temas y Mensajes

Los temas y mensajes clave deben basarse en la información reunida en las etapas anteriores: deben abordar los intereses y las preocupaciones de las partes interesadas. Los mensajes clave deben responder a las preguntas: ¿qué? ¿por qué? ¿cómo? Deberían ser específicos y estar respaldados por hechos.

Cuanto más se acerque al nivel de la planta, más se debería centrar en el “cómo” en lugar de en el “por qué”. El manejo de residuos no es un tema naturalmente bien comprendido por la mayoría de las partes interesadas. Por eso la redacción debe adaptarse al público objetivo. Se debe utilizar un vocabulario sencillo y comprensible al dirigirse al público en general, y otros más específicos al dirigirse al público objetivo profesional. La elaboración de hojas de datos sobre cuestiones clave y la recopilación de una lista de *preguntas frecuentes* (FAQ) constituyen la base de las comunicaciones con los diferentes públicos.

La colaboración con las partes interesadas ayuda a priorizar las cuestiones, reducir los conflictos y forjar alianzas. A cambio, las empresas deberían estar dispuestas a proporcionar tiempo y recursos y comprometerse a aumentar la transparencia.

Herramientas de Comunicación y Compromiso

Dado que el compromiso de las partes interesadas es fundamental para mantener una licencia de operación, las herramientas para colaborar con los interesados a fin de manejar e integrar sus expectativas son de particular importancia. Los instrumentos de comunicación y participación deben elegirse previendo la forma más eficaz de llegar a las partes interesadas objetivo.

Evaluación

La evaluación periódica de las comunicaciones y las actividades de participación de los interesados proporciona información sobre su eficacia. La evaluación puede llevarse a cabo mediante la cobertura de los medios de comunicación, la retroalimentación de los paneles consultivos de la comunidad o las encuestas. Sobre la base de los resultados de la evaluación, los temas, mensajes e instrumentos se adaptan a las circunstancias cambiantes o para mejorar la eficacia de la comunicación.



Tabla 5

Una visión general de las herramientas de comunicación y compromiso.

	Intercambio de Información	Participación, consulta y coordinación	Colaboración y asociaciones
Interna	<ul style="list-style-type: none"> • Boletines • Tablero de anuncios • Intranet • Infografías • Vídeos • Documentos informativos internos • Presentaciones Estándar • Hojas informativas de las FAQ • Sitios web • Estudios de Casos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuniones, sesiones de preguntas y respuestas • Talleres • Capacitación 	
Externa	<ul style="list-style-type: none"> • Internet • Redes Sociales • Informes, diversos tipos de publicaciones, folletos • Publicidad y patrocinios • Infografías • Vídeos • Información de prensa (comunicados de prensa, conferencia de prensa, visitas a sitios) • Hojas informativas • Presentaciones Estándar • FAQs • Estudios de Casos 	<ul style="list-style-type: none"> • Reuniones • Conferencias • Diálogos con Partes interesadas • Eventos (jornadas de puertas abiertas, visitas a sitios) • Encuestas de opinión/imagen • Grupos de discusión: herramienta de investigación de debates en grupos pequeños, • Paneles consultivos de la comunidad – una clave para co-procesamiento: reuniones periódicas en curso con una muestra representativa de los intereses de las partes interesadas sobre diversos temas/cuestiones • Participación de la comunidad: Abordar las necesidades reales y contribuir al desarrollo de las comunidades anfitrionas. Ser un buen vecino implica trabajar con los interesados para ayudar a mejorar su calidad de vida 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyectos de asociación: agrupación de recursos (por ejemplo, empresas, comunidades, ONG, gobierno) para lograr un objetivo social o ambiental común. • Cooperación con los recolectores informales de residuos (asociación, desarrollo de capacidades, etc.)



Foto:
Campaña de reciclaje y co-procesamiento in Boyacá, Colombia.



Geocycle (Colombia), que en ese momento todavía funcionaba como Eco Procesamiento, hizo una campaña titulada “Reciclando y Co-procesado, el ambiente estamos cuidando”, (“al reciclar y co-procesar debidamente los residuos se cuida el medio ambiente”) como parte de la promoción de nuevas alternativas para gestionar los residuos de forma segura en Colombia. Respetar la jerarquía de los residuos y promover el reciclaje, así como proporcionar información sobre el co-procesamiento en el horno de cemento y sus ventajas técnicas fueron elementos estratégicos de la campaña.

La campaña se basó en una iniciativa de educación ambiental, que impulsó un movimiento social en el que participaron varios municipios de Boyacá. Se llevaron a cabo actividades para reforzar el compromiso de las personas en los diferentes niveles de la cadena de valor de los residuos. Los hogares, las escuelas y otras instituciones privadas y públicas fueron el objetivo, y todos estuvieron de acuerdo en cambiar sus hábitos y formar parte de esta positiva iniciativa. La iniciativa tenía tres componentes principales:

1. La creación y formalización de los recicladores, impulsando una cultura de reciclaje.
2. Desarrollo del proceso de capacitación ambiental dirigido a fomentar una cultura de separación de los residuos domésticos en la fuente.
3. Desarrollo de la campaña; definición de puntos de abastecimiento, rutas de recogida y opciones de tratamiento final de residuos.

Cinco municipalidades de Boyacá, entre ellas Tibasosa, Firavitoba, Corrales, Busbanzá y JAC Nobsa-Nazaré, se sumaron a la iniciativa que benefició a unas 18,000 personas, reconoció la labor de quienes se dedican al reciclaje, creó empleos formales para esos segmentos de la población y generó conciencia sobre el reciclaje y el co-procesamiento. La campaña aumentó la conciencia ambiental de la comunidad mediante un proceso educativo y social que impulsa cambios, transforma las mentalidades y fomenta una cultura de separación de los residuos en la fuente.

La educación se convierte en la plataforma que apoya la campaña a partir de la cual se crea un movimiento social que involucra a toda la comunidad, y que refuerza el compromiso de segregación de residuos y reciclaje en la fuente. Los hogares, las escuelas y las instituciones privadas y públicas deben comprometerse a cambiar los hábitos y a formar parte del cambio.

3.5.3 Un Actor Clave de la Cadena de Valor: Trabajando con el Sector Informal

Los recicladores y recolectores informales forman parte del panorama de la gestión de residuos en casi todos los países en desarrollo. Muchos estudios han demostrado que el sector informal de los residuos puede apoyar considerablemente la gestión de los residuos municipales, pero también puede afectar negativamente a los sistemas locales de gestión de residuos si no se integra eficazmente. En muchos países de ingresos bajos y medios, pueden llegar a representar hasta el 1% de la población total y suelen estar activos en el nivel inferior de la cadena de valor. Su participación puede contribuir a tasas de reciclaje del 20 al 30% en países de bajos ingresos (Wilson et al., 2012), y ahorra a las autoridades locales alrededor del 20% de lo que de otro modo tendrían que gastar en la gestión de los residuos (Scheinberg, et al., 2010).

La mayor parte de los ingresos de los recicladores informales proceden de la venta en mercados de materiales secundarios en los que los precios son volátiles y el acceso a los mercados se da a través de intermediarios, que a menudo compran por debajo de los precios del mercado para poder ganar dinero con la venta. Los trabajadores informales de la industria de los residuos se enfrentan a muchos problemas graves, como las malas condiciones de trabajo y de vida, especialmente cuando trabajan (y viven) en o cerca de vertederos o tiraderos abiertos. Los trabajadores suelen trabajar sin ropa o equipo de protección, lo que da lugar a un contacto directo con los residuos y a numerosos riesgos ocupacionales para la salud. En muchos casos, los grupos vulnerables como los niños, las mujeres y los ancianos son los más expuestos a esos riesgos.

En relación con el pre- y co-procesamiento, el debate sobre lo que ocurre con el sector informal sigue siendo relativamente nuevo. Respetando el consenso de que no se puede ignorar a los recicladores informales mientras se intenta mejorar la gestión de los residuos y los recursos, en esta sección se explican los posibles conflictos y oportunidades de integrar a los trabajadores informales en el panorama del pre- y el co-procesamiento (Velis et al., 2012). En el [Anexo 16](#) figuran algunos principios y consejos genéricos para trabajar con los trabajadores del sector no estructurado de la economía y para integrarlos en el sistema formal de gestión de residuos.

Existen varias sinergias para la cooperación con el sector informal, principalmente en el campo del pre-procesamiento de los residuos, más que en el co-procesamiento, que tiene lugar en las fábricas de cemento y requiere reglas, reglamentos y normas de empleo estrictas.

- Los recicladores informales de las economías emergentes pueden ser, en algunos casos, los únicos expertos locales en reciclaje con experiencia en la recolección por separado o extracción. Su trabajo significa que ya están en el negocio de manejar o rechazar una serie de materiales reciclables, ya que conocen los materiales, los mercados y las debilidades de la cadena de valor del reciclaje. Así pues, la cooperación puede ahorrar tiempo, aumentar la calidad del combustible y evitar los conflictos que podrían surgir si no se les consulta. Los recicladores informales conocen muy bien los mercados locales de residuos y pueden proporcionar información sobre lo que se puede o no vender en su lugar específico. A menudo también saben por qué determinados materiales no tienen mercado y calificarían para AFR.
- Los recicladores informales corren peligro cuando se moderniza el sistema de residuos y tienen interés en ser incluidos y en encontrar nuevos papeles. Los estudios indican que el 20% de los recicladores activos podrían elegir la salida apoyada de la informalidad (GIZ, 2018). Por lo general, se trata de personas de edad avanzada que buscan una actividad de “jubilación” porque son físicamente incapaces de continuar con el trabajo físico pesado, o personas más jóvenes que aún no están capacitadas para la comercialización de materiales. Darles capacitación y empleo podría ser una opción para salir de la informalidad hacia el empleo regular.
- La colaboración refuerza la “licencia social” de un operador a medida que mejora la calidad de vida de las comunidades en torno a las operaciones de pre- y co-procesamiento. Esto ayuda a establecer y profundizar las relaciones, lo que en última instancia añade valor a los negocios sin recibir o esperar una ventaja comercial o financiera a cambio.

Sin embargo, existe la posibilidad de que se produzcan conflictos entre los recicladores y los pre-procesadores:

- Competencia por los materiales – por ejemplo, si un co-procesador crea una demanda de materiales comercializados de manera informal que tienen tanto un alto valor como componentes de AFR (por ejemplo, llantas) como un valor de reciclaje (por ejemplo, zapatos en Egipto). En esos casos, los principios de la jerarquía de residuos deben impedir que los materiales entren en el co-procesamiento.
- Cumplir con las normas de cooperación formales: los trabajadores de la industria informal de los residuos no pueden ser utilizados para colaborar en acuerdos contractuales y tienden a tener un carácter empresarial. A menudo se requiere paciencia y los recicladores pueden ser contratados más fácilmente a través de asociaciones, cooperativas u ONG de residuos que trabajan con los recicladores para formalizarlos. Es probable que las relaciones contractuales en estos casos sean más fáciles de desarrollar con empresas o cooperativas que emplean a ex trabajadores informales.
- En el plano operacional, es necesario establecer soluciones prácticas para formalizar una cooperación que evite los riesgos para la reputación y cumpla las normas de transparencia, antisoborno y anticorrupción (sin pagos en efectivo), los derechos laborales (incluido el trabajo infantil) y los requisitos de salud y seguridad. Sin embargo, las oportunidades que ofrecen los pagos digitales (dinero móvil) permiten ahora formas más fáciles de rastrear y vigilar las cooperaciones directamente con los trabajadores del sector informal.

Posibles actividades con recicladores informales en el campo del pre- y co-procesamiento

- Los recicladores pueden retirar los materiales reciclables comercializables de los residuos mixtos antes de su pre-procesamiento, o desempeñar un papel en la actividad de pre-procesamiento propiamente dicha. Con el apoyo a través de la capacitación, los trabajadores informales pueden lograr una alta calidad de AFR para la planta de cemento. La clasificación puede tener lugar en vertederos y basureros, lo que permite recuperar materiales que de otro modo se habrían desechado, mejorando al mismo tiempo los ingresos y la visión de los trabajadores del sector no estructurado de la economía.
- A menudo, las fracciones no reciclables que serían aptas para su transformación en AFR representan una carga económica para los recicladores informales y éstos están buscando vías para deshacerse de ellas (ya sea por cuenta propia o mediante el envío a vertederos locales o un tratamiento deficiente). Las plantas de cemento pueden ser adquirentes adecuados para esta fracción de residuos.
- Las asociaciones entre el sector público y el privado con los centros locales de pre-procesamiento y los municipios pueden abrir el camino para mejorar la cooperación con el municipio local y los trabajadores del sector informal, estableciendo corrientes de material aseguradas y proporcionando mejores ingresos a la cadena de valor local (*véase el caso de estudio de Egipto que figura más adelante*).



Caso de Estudio 7: Promoción del uso de Combustible Derivado de Residuos (RDF) mediante Asociaciones entre el Sector Público y el Privado



Foto:
Estación de Clasificación en Qalyubeya, Egipto.



En El Cairo/Egipto, existe una larga tradición de Zabaleen (recolectores informales de residuos) que recuperan recursos de los residuos. Dentro de las zonas de vivienda y trabajo de los Zabaleen en Khosoos, en Qalyubeya, la acumulación de residuos residuales se convirtió en un problema. Más de 40 toneladas de residuos diarios, en forma de residuos con alto poder calorífico, quedaron en las calles después de finalizar todas las actividades de clasificación. Esto representaba una carga económica para los Zabaleen al tener que deshacerse de los residuos en otro lugar. Además, estos residuos se eliminaron en su mayoría en las carreteras principales y en las cercanías de edificios públicos y escuelas. El problema planteaba una amenaza para la salud pública de la sociedad Zabaleen y contribuía al problema de la acumulación de residuos en general.

Con la financiación del BMZ y la Fundación Bill y Melinda Gates, GIZ y Lafarge llevaron a cabo una asociación público-privada con los Zabaleen para encontrar formas de utilizar estos residuos no reciclables en instalaciones de co-procesamiento. Se prestó apoyo institucional y técnico a una de las empresas formalizadas de Zabaleen (empresa privada de El-Ekwa) para establecer una entidad que recogiera, clasificara y vendiera material de RDF. La empresa logró finalmente forjar un acuerdo contractual con Lafarge Egipto para suministrarle material de RDF (hasta 25 toneladas por día por una duración del contrato de 5 años). La empresa pasó por un proceso de aprendizaje para comprender plenamente los requisitos de calidad de Lafarge. Con el tiempo y con el apoyo continuo de Lafarge, la empresa pudo proporcionar material de alta calidad y, por consiguiente, aumentar sus ingresos. Esta iniciativa demostró que la extracción de la fracción rica en energía de los residuos no tiene por qué estar en conflicto con la promoción del reciclado, ya que la empresa sólo proporcionaba material para el co-procesamiento después de clasificar el material reciclable que se vendía en los mercados de reciclado. La cooperación dio lugar a nuevas oportunidades comerciales entre la comunidad de trabajadores del sector informal y para empoderarlos. Se crearon alrededor de 40 nuevas oportunidades de trabajo directo para Zabaleen y se capacitó a los trabajadores de acuerdo con las normas de Geocycle. Al mismo tiempo, permitió eliminar 40 toneladas de residuos diarios, que se generaban dentro de las zonas de la comunidad Zabaleen una vez finalizados todos los procesos de clasificación.



Caso de Estudio 8: Estación de clasificación con recicladores en un vertedero de Filipinas



En la ciudad de Iloilo (Filipinas), una cooperación entre GIZ, Holcim y la municipalidad local trabajó con los trabajadores de la economía informal para clasificar los materiales reciclables y las fracciones inertes utilizando una planta de clasificación mecanizada en el tiradero, antes de enviar la fracción residual como combustible alternativo y materia prima (AFR) a la planta local de Lafarge-Holcim (Paul et al., 2012). Durante una prueba de 3 meses en la planta de clasificación mecanizada de residuos, se comprobó que hasta el 30% de los residuos procesados en la planta de clasificación eran paquetes de baja densidad que no podían ser reutilizados o reciclados localmente, pero que serían adecuados como AFR para el co-procesamiento. La prueba también demostró que es posible una recuperación de hasta 30 toneladas por semana trabajando en dos turnos, cada uno con 15 trabajadores (Paul et al., 2010).

Cooperar con los recicladores informales para lograr la máxima desviación de los materiales reciclables de la eliminación puede ser una ganancia para todos. En el caso de Filipinas, el gobierno local recibió apoyo para reducir la eliminación de residuos y organizar a los recicladores locales; estos últimos se beneficiaron de mejores condiciones de trabajo, ingresos adicionales gracias a una recuperación material más eficiente, una posición fuerte como asociación de trabajadores de residuos y diversas capacitaciones y apoyo organizativo. Por otra parte, Holcim adquirió una valiosa experiencia en probar la recuperación de AFR en un contexto municipal, junto con los procesos pertinentes relacionados con la supervisión de calidad de los AFR, y el diseño de sistemas de almacenamiento y rescate para proteger el AFR rescatado contra las fuertes lluvias que se producen periódicamente. Basándose en los prometedores resultados de las pruebas, el gobierno local, Holcim y la asociación de trabajadores de residuos acordaron formalizar su relación de trabajo dentro de un Memorando de Acuerdo que aclaraba las reglas, procesos, funciones y deberes de la recuperación del AFR realizada conjuntamente. Sin embargo, el aumento de los costos de la manipulación de los residuos de esta manera condujo a su interrupción una vez finalizada la financiación del proyecto, lo que demuestra la necesidad de contar con conceptos de financiación sólidos que respalden los proyectos para hacerlos sostenibles a largo plazo.



Foto: Trabajadoras del Centro de Recuperación de Material en la ciudad de Iloilo.



3.6 Aspectos Económicos y Financieros

Principio VI

Economía y Finanzas

- Los proyectos de pre- y co-procesamiento se basan en un modelo comercial financieramente sostenible, que aporta valor a todas las partes interesadas y a las comunidades locales.
- Se establecerán mecanismos de financiación para garantizar que las intervenciones cuenten con financiación a medio y largo plazo.

Requisito 14

Los proyectos de pre- y co-procesamiento deben basarse en un modelo de negocio financieramente sostenible

- Se deberá desarrollar un entendimiento común acerca de las consecuencias financieras del pre- y co-procesamiento, ya que la transformación de los residuos en AFR adecuado requiere de inversión y costos de operación.
 - El principio de “quien contamina paga” debería aplicarse utilizando una combinación de instrumentos de financiación realistas (tarifas, tasas de entrada, incentivos y esquemas de EPR).
 - El marco de financiación de la gestión de los residuos se guiará por la jerarquía de la gestión de los residuos, incentivando opciones más respetuosas con el medio ambiente.
 - Es necesario que la financiación se acuerde dentro de un período contractual específico y suficiente, teniendo en cuenta una perspectiva a largo plazo que permita un período de depreciación justo y el retorno de las inversiones.
-

3.6.1 La Importancia de un Financiamiento Sólido

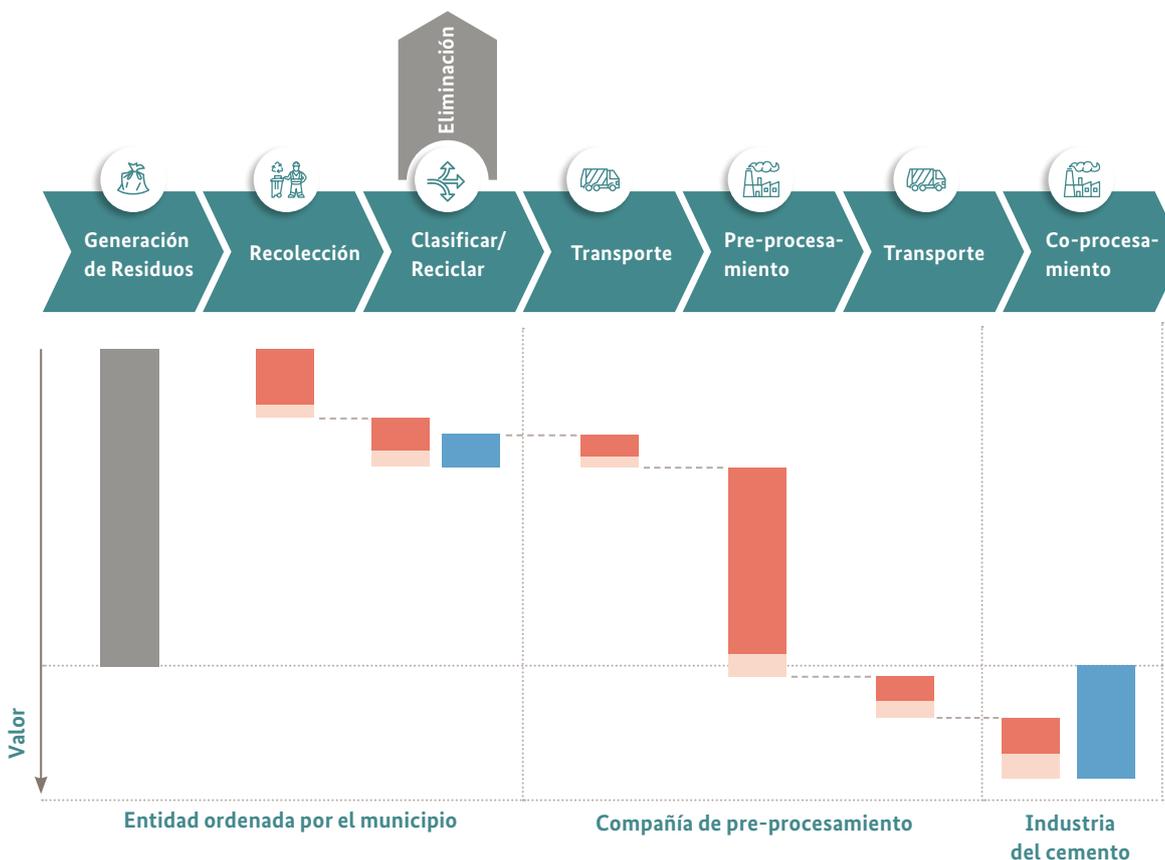
Antes de considerar el pre- y co-procesamiento de los residuos sólidos urbanos como una oportunidad, los municipios deberían poder sufragar plenamente los gastos de recolección y eliminación de los residuos sólidos urbanos en un vertedero controlado; se debería poder acceder fácilmente a otros medios financieros para sufragar los gastos adicionales. A largo plazo, es deseable que se establezca una tasa para los generadores de residuos basada en el principio de “quien contamina paga”, mientras que los actuales gastos de gestión pueden cubrirse principalmente con el presupuesto municipal. En particular, el aumento de la tasa de vertido puede hacer más factibles otras opciones de gestión de residuos (GIZ, 2017).

En la *Figura 20 que figura a continuación* se muestran los diferentes costos e ingresos a los que se enfrentan los distintos agentes a lo largo de la cadena de valor, desde las actividades de gestión de residuos a nivel municipal hasta el pre-procesamiento y el co-procesamiento en la planta de cemento. Los ingresos provienen de la clasificación de los materiales reciclables y de los ahorros obtenidos durante el co-procesamiento en la planta de cemento mediante la sustitución de combustibles primarios y materias primas más costosas. Los costos a lo largo de la cadena de valor se producen durante la recolección, la clasificación, el transporte, el pre-procesamiento y el co-procesamiento, así como los gastos de capital y de operación en equipo e instalaciones.

En un caso ideal, las economías derivadas de la sustitución de los combustibles fósiles por sí solas compensarían los costos de las demás etapas de la cadena, sin embargo, esto rara vez ocurre, lo que significa que a menudo el generador de residuos debe pagar una tasa por la gestión de los mismos. En los casos en que los residuos ya han sido pre-procesados para obtener un AFR de alta calidad, las plantas de cemento pueden pagar por ello cuando pueden sustituir directamente su combustible primario y las materias primas necesarias en el horno de cemento.

Organizar la financiación a lo largo de la cadena de valor no siempre es sencillo. Los encargados de la toma de decisiones en los países en desarrollo suelen esperar ganar dinero vendiendo sus residuos a las fábricas de cemento, mientras que éstas suelen esperar que se les pague por utilizar el AFR, lo que provoca dificultades innecesarias de comunicación. Los municipios, las empresas de la gestión de residuos y cementeras deben llegar a un entendimiento común de las consecuencias financieras del pre- y el co-procesamiento a fin de establecer el co-procesamiento como una opción de gestión de residuos de largo plazo, y no como una opción de adquisición ocasional. Al mismo tiempo, es importante tener en cuenta los costos de operación y mantenimiento, ya que los proyectos de inversión en el sector de los residuos fracasan con demasiada frecuencia debido a la falta de presupuesto para ello.

Figura 20: Boceto de una cascada costo-beneficio para pre- y co-procesamiento.



Nota: la estructura de los costos reales puede variar significativamente

- Cuota de residuos para los servicios de gestión de residuos municipales, incluida la eliminación
- Costos de operación (personal, mantenimiento, materiales, electricidad, combustibles)
- Depreciación, amortización, intereses, impuestos, utilidad
- Costos por recuperar mediante la venta de materiales reciclables y la sustitución de combustible primario y materia prima por AFR

Es poco probable que las autoridades locales de los países de ingresos bajos y medios acepten pagar una tasa de eliminación que sea más alta que el costo del vertedero o el basurero controlado. En estos países, es raro que la tasa de eliminación sea superior a 10 USD de los EE.UU. –o un máximo de 25 USD de los EE.UU.– por tonelada. Cuando no se establezca el pago por los servicios de eliminación de residuos o éste sea inferior a 10 dólares por tonelada, será difícil que los municipios encuentren ingresos para pagar a los productores de cemento por la manipulación de los residuos sólidos urbanos. De hecho, las autoridades políticas pueden esperar que el productor de cemento pague por los residuos, pensando que si se pueden quemar en el horno deben tener algún valor. Esto es problemático, ya que los productores de cemento miran al AFR como una forma de controlar los costos. Si el productor de cemento está dispuesto a pagar, no es probable que este pago haga más que cubrir el costo operativo del pre-procesamiento, lo que puede significar pagar al pre-procesador y no necesariamente al municipio.

Es poco lo que un productor de cemento puede hacer para cambiar esto en la autoridad local o la secretaría de finanzas nacional. Sin embargo, ayuda cuando el productor de cemento puede comunicar de forma transparente y sencilla el costo de capital amortizado, los costos de operación y mantenimiento, y comprender si el uso de AFR crea ahorros fiables y realistas en el costo del combustible primario y las materias primas.

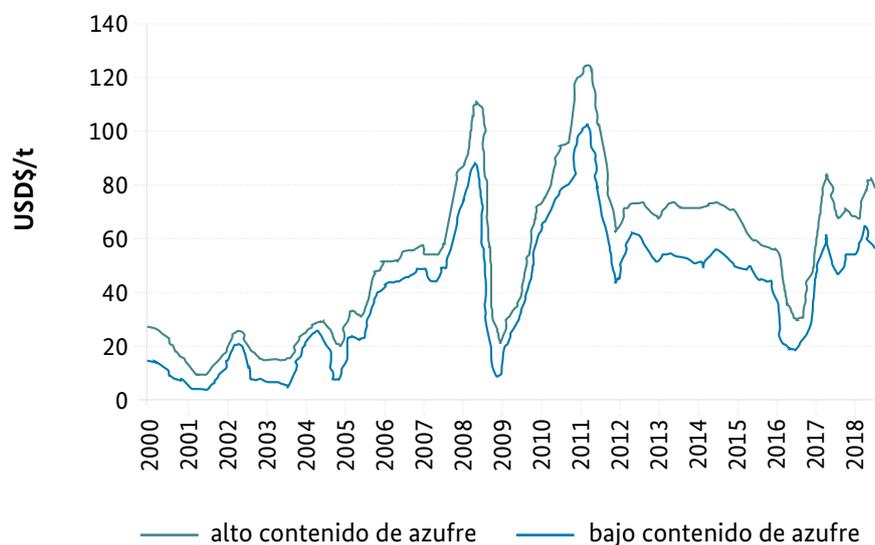
El segundo paso es considerar los costos de pre-procesamiento, porque si el pago del pre-procesamiento (o la compra de AFR a un precio que incluya el costo del pre-procesamiento) no es una opción para el productor de cemento, el co-procesamiento no se considerará una opción viable para cualquiera de las partes en las actuales condiciones financieras de la mayoría de los países de ingresos bajos o medios.

3.6.2 Caso de Negocio

Un argumento comercial viable para el pre- y el co-procesamiento depende en gran medida de las tarifas de las opciones de tratamiento alternativo para las corrientes de residuos en cuestión, así como del precio de mercado de los combustibles primarios y las materias primas. Para que resulte atractiva desde el punto de vista financiero para la industria del cemento, la reducción prevista a largo plazo de los costos de los combustibles y las materias primas debe dar lugar a un aumento de la competitividad teniendo en cuenta los riesgos asociados. Otros factores, como los objetivos de reducción del CO₂ y la fijación de precios del carbono, el acceso seguro a largo plazo a los recursos y la reputación pública, influyen positivamente en las decisiones de inversión, pero todavía no son un factor decisivo.

Para las industrias generadoras de residuos y municipios, el pre- y co-procesamiento puede ser una opción atractiva si no se dispone de otra alternativa ambiental, social y financieramente sólida. Para los municipios con situaciones presupuestarias ajustadas, incluso los bajos costos adicionales pueden ser un desafío. En los últimos años, la caída de los precios de los combustibles fósiles ha repercutido considerablemente en el atractivo financiero de la elaboración conjunta, como lo demuestra la evolución del precio del coque de petróleo en la [Figura 21](#).

Figura 21:
Evolución del
precio del coque
de petróleo
(Fuente: Gráfico
propio, datos del
Índice de Coque de
Petróleo de PACE
Costa del Golfo de
los Estados Unidos,
Libre a Bordo –
si incluir flete).



En el *Anexo 4* se da un ejemplo de un caso de negocio genérico sobre el pre-procesamiento de los residuos sólidos urbanos y el posterior co-procesamiento de AFR en un horno de cemento de última generación. Las inversiones en una instalación de pre-procesamiento y un sistema de alimentación de hornos suman 14 millones de dólares. Una derivación de cloro, que ya existe en el caso, aumentaría las inversiones en otros 5 millones de dólares. La sustitución del 32 % del coque de petróleo por RDF reduce las emisiones de CO₂ en unas 66,000 toneladas de CO₂ por año o el 17%. La estimación considera el transporte de coque de petróleo y MSW, pre- y co-procesamiento de AFR. No se considera la mitigación de los GHG mediante la evitación de emisiones de gases de vertedero.

Sobre la base de este caso, en la *Figura siguiente* se presenta la cuota mínima de entrada requerida en función del precio medio futuro previsto del coque de petróleo para que sea viable desde el punto de vista financiero. En el ejemplo del precio de commodity a largo plazo del coque de petróleo de 115 dólares/t, se requiere una tasa de entrada de 20 dólares/t de MSW preclasificados para hacer financieramente viable la ejecución de un proyecto de pre- y co-procesamiento sin derivación (bypass) de cloro. Por consiguiente, la tasa de entrada (tasa de propina) para los vertederos debería ser más alta que este precio. Estos son sólo números de ejemplo que pueden cambiar significativamente de un país a otro.

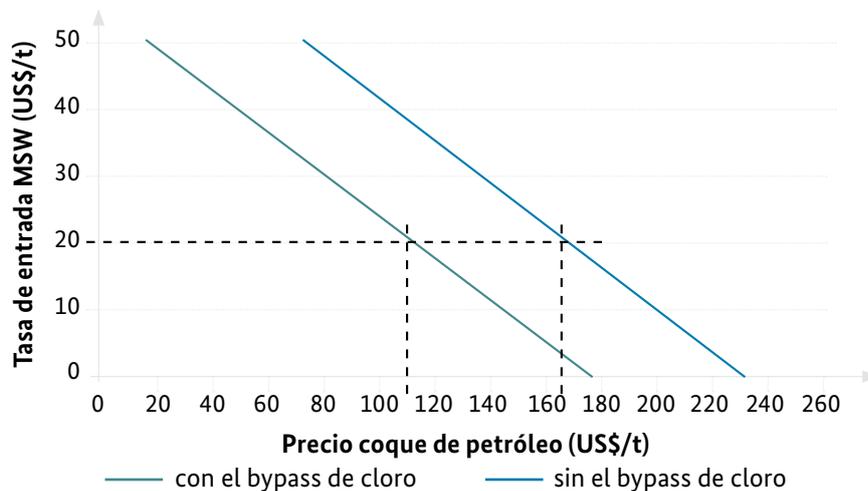


Figura 22:

El precio de entrada de los residuos para la rentabilidad del pre- y co-procesamiento depende de los costos previstos para el combustible primario.

Inversión (CAPEX) y Costo de Operación (OPEX)

El nivel de las inversiones necesarias para el pre- y el co-procesamiento depende de las corrientes de residuos tratados y del correspondiente nivel de pre-procesamiento necesario, los AF y las materias primas utilizadas y los correspondientes sistemas de almacenamiento, manipulación y dosificación de AFR necesarios, así como las mejoras necesarias en el propio sistema del horno de cemento (por ejemplo, el bypass de cloro) para permitir el co-procesamiento de los volúmenes de AFR deseados sin comprometer la producción de la planta de cemento y la calidad del producto.

Desperdicio	CAPEX	OPEX (excl. transporte)
Disolventes gastados	€5 millones a €10 millones	€10 a €20 por ton
Aceite de desecho y aceite industrial	€1 millones a €3 millones	€5 a €10 por ton
Pre-procesamiento de neumáticos usados y residuos de caucho	€1 millones mas costos de infraestructura	€15 a €40 por ton
Co-procesamiento de neumáticos usados y residuos de caucho	€1 millones a €3 millones	€5 a €10 por ton
Pre-procesamiento de residuos industriales no peligrosos	€5 millones a €20 millones	€5 a €40 por ton
Co-procesamiento de residuos industriales no peligrosos	€1 millones a €15 millones	€5 a €20 por ton
Residuos Sólidos Municipales MSW	€5 millones a €50 millones	€10 a €40 por ton

Tabla 6

Ejemplo de CAPEX y OPEX para pre- y co-procesamiento de diferentes residuos en todo el mundo (basado en la IFC, 2017 y Modificado con datos propios).



3.7 Implementación de las Directrices

Principio VII

Implementación de las Directrices

- Es necesario establecer sistemas de monitoreo y auditoría para que la implementación sea exitosa.
 - La creación de capacidad y la formación a todos los niveles es esencial.
-

Estas Directrices recomiendan requisitos ambientales, sociales, técnicos, financieros y legales. No se deberán considerar como una ley vinculante. Su aplicación aumenta la aceptación general del pre-procesamiento de los materiales de desecho y el co-procesamiento de AFR en las plantas de cemento. Para la implementación de los principios y requisitos ambiciosos pero realistas propuestos se necesita un enfoque gradual, en función de las condiciones marco existentes en los distintos países.

El nivel de desarrollo económico, la conciencia ambiental, las prioridades políticas, el buen gobierno o los hábitos culturales influyen en la dinámica y los tiempos para la modernización de la gestión de los residuos en un país. La puesta en práctica del pre- y co-procesamiento debe considerarse como una parte de este proceso de cambio y progresará de manera diferente de un país a otro.

Las Directrices deben aplicarse sobre la base de un espíritu de cooperación abierta y transparente entre los sectores público y privado. Como esto no sucederá de un día para otro, se necesita una introducción gradual. La velocidad de aplicación viene determinada por las circunstancias políticas, sociales y jurídicas dadas y por el logro de hitos realistas.

Todos los actores involucrados deben tener al menos una comprensión básica de la gestión de residuos y los que participan directamente en los procedimientos operacionales, la supervisión y el seguimiento deben tener además conocimientos específicos sobre el pre- y el co-procesamiento. Dondequiera que falten esos conocimientos, los planes de creación de capacidad se considerarán como el primer paso de la aplicación. La capacitación puede ofrecerse de acuerdo con la estructura de estas Directrices.

La fuerza motriz para la introducción del pre- y co-procesamiento de conformidad con estas Directrices puede ser las asociaciones nacionales de gestión de residuos y del cemento, las empresas cementeras individuales o el sector público. Quien promueva esta actividad debe hacerlo de manera transparente y dentro de un horizonte de tiempo bien definido.





Caso de Estudio 9: De las directrices a la aplicación: Adopción y puesta a prueba de lineamientos nacionales de co-procesamiento en Filipinas



Foto:

Consulta de la comunidad en MRF en la Ciudad de Iloilo.



Para apoyar la recuperación de residuos en Filipinas, la *Asociación Nacional de Fabricantes de Cemento (CeMAP)* y el *Instituto de Desarrollo de Tecnología Industrial (ITDI)* del *Departamento de Ciencia y Tecnología (DOST)* unieron sus fuerzas en 2005 con el apoyo del *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)*, lo que hoy en día es la *Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)*. El principal objetivo de esta alianza era, en primer lugar, elaborar una directriz sobre el co-procesamiento de combustible alternativo y materias primas en hornos de cemento, y en segundo lugar, legalizar esta solución de recuperación para las fracciones de residuos adecuados de los residuos sólidos urbanos.

El paso de las directrices generales a un marco de aplicación se abordó mediante tres etapas principales:

1. Entre 2006 y 2008, la asociación del cemento y el Gobierno entablaron un diálogo con los interesados para determinar la orientación pertinente para el contexto filipino, facilitado por la GTZ.
2. Sobre la base de esta orientación, se adoptaron medidas para desarrollar el respaldo jurídico, que fue aprobado en 2010 por la Oficina de Gestión Ambiental.
3. La aplicación de la orientación y la legislación se probó en una iniciativa piloto con Holcim y GIZ en la ciudad de Iloilo, que también integró el sector no estructurado.

Para la directriz específica para cada país se utilizaron las directrices de 2006 de GTZ-Holcim como base para los debates. Entre los principales desafíos figuraba el de motivar a los productores de cemento de Filipinas para que participaran en la iniciativa, así como el de mantener el compromiso de los interesados y adquirir la información necesaria, sobre todo teniendo en cuenta que los productores de cemento tienen funciones e intereses competitivos. Al iniciarse el proyecto en 2006, nueve empresas cementeras diferentes operaban 17 plantas de cemento en Filipinas. Tras una serie de reuniones de interesados celebradas entre 2006 y 2008, la CeMAP finalizó la publicación de directrices específicas para cada país sobre el co-procesamiento de AFR en los hornos de cemento de Filipinas.

Durante la elaboración del proyecto quedó claro que la mayoría de los municipios no eran conscientes del papel que puede desempeñar el co-procesamiento para aumentar la recuperación de material y energía. Para dar la directriz de un respaldo jurídico, la CeMAP y la GTZ iniciaron un proceso de seguimiento para obtener la verificación y adopción de las directrices por parte de la autoridad responsable de Filipinas, la *Oficina de Gestión Ambiental (EMB)* del *Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales (DENR)* por sus siglas en inglés). El principal desafío aquí era encontrar un acuerdo sobre una definición que distinguiera el co-procesamiento de otras soluciones de conversión de residuos en energía, particularmente porque la legislación prohíbe explícitamente la incineración de residuos (Ley de la República 9003, Sección 3). Este aspecto se aclaró con las organizaciones no gubernamentales reconocidas. Finalmente EMB aceptó el co-procesamiento como una opción para la gestión de MSW en 2010 y publicó una Orden Administrativa del Departamento relacionada (DENR-DAO 2010-06).

3.7.1 Construcción de la Capacidad

El pre- y co-procesamiento presenta desafíos para los diferentes actores involucrados en la gestión de residuos y la producción de cemento. Esto incluye a los operadores de instalaciones de pre-procesamiento y plantas de cemento, pero también a los organismos reguladores y municipales responsables de la gestión de los residuos y la protección del medio ambiente. Las instalaciones de pre-procesamiento y los operadores de la planta de cemento deben comprender y controlar todos los impactos que el pre- y co-procesamiento tendrá en el proceso de producción, en el medio ambiente y en la salud y seguridad de los trabajadores. Los reguladores también deben comprender todos estos aspectos para poder cumplir sus funciones en el control de los impactos ambientales y de salud y seguridad. Los municipios deben comprender la relevancia de un sistema eficiente de gestión de residuos y sus costos. Tanto los operadores como los reguladores deben comprender las preocupaciones del público por los posibles efectos negativos del pre- y el co-procesamiento, y deben establecer procesos de comunicación eficientes para explicar sus actividades y evitar conflictos.

En algunos lugares los desafíos son más complejos. En la mayoría de los países existe una forma básica de legislación ambiental, pero a menudo no hay una aplicación efectiva de la ley debido a la falta de capacidad humana, conciencia o recursos. La mayoría de los países en desarrollo carecen de información sobre la metodología y la evaluación de los datos procedentes del monitoreo de las emisiones. A menudo no existen estadísticas fiables sobre los residuos, y se desconocen los sistemas de documentación para la trazabilidad de los residuos. La falta de planes de gestión de residuos no permite un tratamiento de los mismos, optimizado desde el punto de vista financiero y ecológico. Así pues, se requiere la creación de instituciones y la creación de la capacidad de los órganos reguladores, los operadores de instalaciones de pre-procesamiento y las plantas de cemento para garantizar un pre- y co-procesamiento ambientalmente racional y eficiente.

El contenido de la presente directriz contribuirá a permitir a los interesados lograr los beneficios del pre- y el co-procesamiento. Pero estas Directrices no deben entenderse como una instrucción de “copiar y pegar” para la aplicación del pre- y co-procesamiento en un país, cada país tiene sus propios prerrequisitos y requisitos. La generación de la capacidad apoya la adaptación de las Directrices a las necesidades nacionales y su implementación.

Cuando los encargados de tomar decisiones a nivel nacional y local deciden integrar el pre- y el co-procesamiento en los sistemas de gestión de residuos, es preciso adaptar el marco jurídico e institucional, y los involucrados, tanto del gobierno como de las empresas, necesitan conocer a fondo las implicaciones de esa decisión. Se debería diseñar y acordar un programa integral de desarrollo de la capacidad con los interesados pertinentes. Dicho programa tendría que abarcar los aspectos jurídicos, técnicos, sociales, ambientales y financieros de la gestión de los residuos en general y el pre- y co-procesamiento en particular. Se necesitan auditores externos fiables y bien capacitados, personal de empresas de servicios y expertos de los sectores público y privado que trabajen en la esfera de la gestión de residuos y la fabricación de cemento para que el pre- y el co-procesamiento funcione. A fin de garantizar la calidad y simplificar la labor de los órganos administrativos, es de la mayor importancia la certificación de las empresas de transporte y los operadores de instalaciones de pre-procesamiento, de los laboratorios de control de calidad, así como de los expertos individuales.

Los generadores de residuos, los recolectores informales de residuos, las empresas de transporte y los operadores de instalaciones de pre-procesamiento participarán en la manipulación y el tratamiento de los residuos antes de su entrega a la planta de cemento. La eficiencia requiere la optimización del flujo de materiales, la separación de los residuos, la manipulación segura de los materiales desde la fuente hasta el tratamiento final y unas instalaciones adecuadas para el transporte y el almacenamiento. Es necesario capacitar a la administración y a los trabajadores en este sentido. Las autoridades encargadas de la concesión de permisos y la supervisión deben concentrarse en sus funciones de coordinación y aplicación de la ley, por lo que no es necesario que aporten todos los conocimientos y experiencias pertinentes, sino que pueden recurrir a expertos externos. Sin embargo, los funcionarios directamente responsables de los procedimientos de control de permisos y de aplicación de la ley deben tener un profundo conocimiento del pre- y co-procesamiento. Se podría requerir entrenamiento con respecto a:

- Formulación de políticas de gestión de residuos
- Recopilación, validación e interpretación de los datos y estadísticas sobre residuos disponibles
- Planificación de la gestión integrada de residuos, incluidos los aspectos financieros y económicos
- Autorización/permiso y control de plantas de pre- y co-procesamiento
- Evaluación de nuevas corrientes de residuos para el pre- y co-procesamiento y la calificación de la fuente
- Vigilancia de la operación y el transporte (análisis de las emisiones y evaluación de los datos)
- La salud y seguridad de los trabajadores durante el transporte, en las instalaciones de pre-procesamiento y en las plantas de cemento.
- Aplicación de los reglamentos y permisos nacionales
- Comunicación sistemática con los interesados y el público.

Es posible que los operadores de instalaciones de pre-procesamiento y de plantas de cemento en diversos niveles de organización necesiten capacitación en:

- Clasificación de residuos, control de residuos y calidad de los AFR
- Operación de las instalaciones para el pre- y co-procesamiento de acuerdo con las regulaciones externas y las normas internas
- H&S
- Comunicaciones
- Monitoreo de los aspectos ambientales (de las emisiones)
- Técnicas de auditoría y protocolos de auditoría
- Certificación periódica de empleados y subcontratistas.

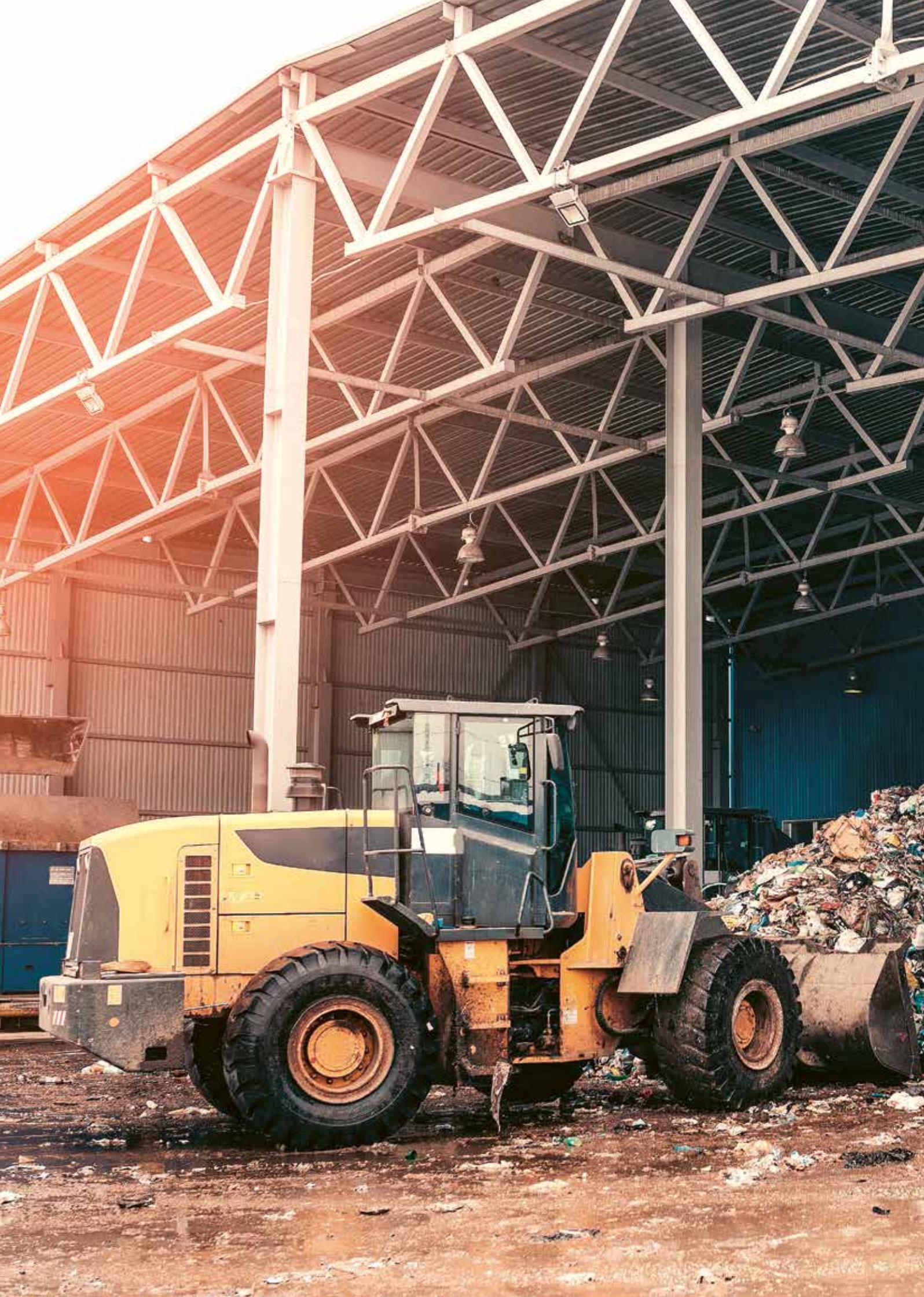
La capacitación podría realizarse a través de organizaciones bilaterales y multilaterales o en cooperación con ellas (es decir, los centros de coordinación nacionales de los convenios internacionales como Basilea o Estocolmo). Otros asociados para la capacitación podrían ser las asociaciones del cemento, los institutos de investigación especializados y las universidades (por ejemplo, la FHNW).

Una capacitación debe estar orientada al grupo objetivo. Mientras que los responsables de la toma de decisiones y de la opinión pública (por ejemplo, los políticos, los ministros, los municipios, las ONG) necesitan una comprensión general del pre- y el co-procesamiento, las autoridades ambientales y los operadores de las plantas necesitan una capacitación más profunda. Con un concepto didáctico adecuado, debería garantizarse un efecto a largo plazo de la creación de capacidad (p.ej. taller, formación en el trabajo, entrenamiento).

Antes de planificar las capacitaciones iniciales de pre- y co-procesamiento se deben responder las siguientes preguntas:

- ¿Cuán avanzado está el sistema de gestión de residuos existente (por ejemplo, sistema eficiente de separación y recolección de residuos, reciclado, vertederos controlados)?
- ¿Cuáles son las lagunas (por ejemplo, el marco ambiental apropiado para el pre- y co-procesamiento)?
- ¿Qué partes interesadas necesitan creación de capacidad (por ejemplo, el personal operativo de las autoridades, el sector informal, las instalaciones de pre-procesamiento o los operadores de plantas de cemento)?
- ¿Qué habilidades tendrán los participantes después de la creación de capacidad (por ejemplo, características de los residuos, monitoreo de emisiones, estadísticas de residuos, inspección de salud y seguridad)?







ANEXOS

PARTE 4: Anexos

Anexo 1	Bibliografía
Anexo 2	Ejemplos Lista de material de desecho adecuado para el pre- y co-procesamiento (incl. factores de emisión de CO ₂)
Anexo 3	Impacto de CO ₂ del pre- y co-procesamiento
Anexo 4	Ejemplo de caso de negocio pre- y co-procesamiento de RDF
Anexo 5	Ejemplo de un Tabla de Aceptación y Rechazo (co-procesamiento)
Anexo 6	Ejemplos de valores límite para residuos y AFR (pre- y co-procesamiento)
Anexo 7	Justificación de la exclusión de ciertos materiales de desecho del co-procesamiento
Anexo 8	Modelo de permiso
Anexo 9	Proceso de autorización
Anexo 10	Información sobre la quema de prueba
Anexo 11	Estructura de un plan de gestión de residuos
Anexo 12	Preguntas clave para la evaluación de la línea base centrada en la inclusividad
Anexo 13	Plantilla para el archivo de datos maestros de los residuos de uso común
Anexo 14	Esquema de control de calidad de los AFR
Anexo 15	Análisis de la situación – cómo hacerlo
Anexo 16	Enfoques de la integración del sector informal



Anexo 1 – Bibliografía

BREF. (2017). *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Treatment (working draft)*. Retrieved from <https://eippcb.jrc.ec.europa.eu>: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/BREF/WT/WT_Final_Draft1017.pdf

Brinkmann et al. (2018). JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED Installations. European Union. doi:doi:10.2760/344197

CIWM. (2016). CIWM and WasteAid UK to produce guidance on low-cost reuse and recycling technologies. Chartered Institution of Wastes Management (CIWM). Retrieved from <https://www.ciwm.co.uk/ciwm/news/2016/ciwm-and-wasteaid-uk-to-produce-guidance-on-low-cost-reuse-and-recycling-technologies.aspx>

CIWM. (2018). From the Land to the Sea: How better solid waste management can improve the lives of the world's poorest and halve the quantity of plastic entering the oceans.

CSI. (2014). Guidelines for Co-processing Fuels and Raw Materials in Cement Manufacturing Cement Sustainability Initiative. Cement Sustainability Initiative. *Cement Sustainability Initiative (CSI)*, WBCSD. Retrieved from <https://www.wbcسد.org/Sector-Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Guidelines-for-Co-Processing-Fuels-and-Raw-Materials-in-Cement-Manufacturing>

CSI. (2016). Getting the Numbers Right GNR Project Reporting CO₂. Cement Sustainability Initiative. Retrieved from <https://www.wbcسدcement.org/GNR-2016/>

CSI/ECRA. (2017). Development of State of the Art-Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead. European Cement Research Academy & Cement Sustainability Initiative. Retrieved from <http://www.wbcسدcement.org/technology>

De Wit et al. (2018). The Circularity Gap Report: An Analysis of the Circular State of the Global Economy. Circle Economy. Retrieved from Circle Economy: <http://www.greengrowthknowledge.org/resource/circularity-gap-report-analysis-circular-state-global-economy>

Directive 2010/75/EU. (n. d.). European Union *Industrial Emissions Directive (IED)*. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/ied/legislation.htm>

EC. (2008). Directive 2008/98/EC on Waste (Waste Framework Directive). European Commission. Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/waste/framework/>

ECRA. (2017). Evaluation of the energy performance of cement kilns in the context of co-processing. European Cement Research Academy.

EPA. (2006). National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Retrieved from <https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/national-emission-standards-hazardous-air-pollutants-neshap-9>

EPA. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. *Environmental Science and Technology*, 48(16), 9523-9530. doi: <https://doi.org/10.1021/es502250z>

EPA. (2016). Retrieved from <https://www.epa.gov/stationary-sources-air-pollution/commercial-and-industrial-solid-waste-incineration-units-ciswi-new>

E-PRTR. (2006). Guidance Document for the implementation of the European PRTR. Retrieved from http://ec.europa.eu/environment/industry/stationary/eper/pdf/en_prtr.pdf

European Commission. (2006). Reference Document on Best Available Techniques on Emissions from Storage. European Commission, Integrated Pollution Prevention and Control. Retrieved from https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2019-11/esb_bref_0706.pdf

- European Commission. (2013).** *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide.* Joint Research Centre of the European Commission. doi:10.2788/12850
- European Commission. (2014).** *Towards a Circular Economy: A Zero Waste Programme for Europe.* Retrieved from <http://ec.europa.eu/environment/circular-economy/pdf/circular-economy-communication.pdf>.
- GCCA. (2018).** *GCCA Sustainability Guidelines for co-processing fuels and raw materials in cement manufacturing.* Global Cement and Concrete Association.
- GIZ. (2017).** *Waste to Energy Options in Municipal Waste Management – A Guide for Decision Makers in Developing and Emerging Countries.* Retrieved from https://www.giz.de/en/downloads/GIZ_WasteToEnergy_Guidelines_2017.pdf
- GIZ. (2018).** *Inclusion of Informal Collectors into the Evolving Waste Management System in Serbia, A Roadmap for Integration.* German Technical Cooperation, Belgrade, Serbia, 2018.
- IEA/CSI. (2018).** *Technology Roadmap: Low-Carbon Transition in the Cement Industry.* World Business Council for Sustainable Development. International Energy Agency & Cement Sustainability Initiative. Retrieved from <https://www.wbcsd.org/Projects/Cement-Sustainability-Initiative/Resources/Technology-Roadmap-Low-Carbon-Transition-in-the-Cement-Industry>
- IFC. (2016).** *Unlocking Value: alternative Fuels For Egypt's cement industry.* Retrieved January 09, 2019, from https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/aaa24840-cb94-40c6-9ab1-bb0252a6d2fb/IFC+AFR+Report+_+Web_+1-11-2016.pdf?MOD=AJPERES
- IFC. (2017).** *Increasing the Use of Alternative Fuels at Cement Plants: International Best Practice.* International Finance Corporation, Washington D. C. Retrieved from https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/bb652356-1d43-4421-b7eb-e0034d8d6b8f/Alternative+Fuels_06+27.pdf?MOD=AJPERES
- IMPEL. (2015).** *Doing the Right Things for Environmental Permitting.* European Union Network for the Implementation and Enforcement of Environmental Law. Retrieved from <https://www.impel.eu/projects/doing-the-right-things-for-environmental-permitting/>
- IRP. (2017).** *Assessing Global Resource Use: A Systems Approach to Resource Efficiency and Pollution Reduction.* International Resource Panel. Retrieved from http://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/assessing_global_resource_use_amended_130318.pdf
- IRP. (2017).** *Resource Efficiency Potential and Economic Implications.* International Resource Panel. Retrieved from http://www.resourcepanel.org/sites/default/files/documents/document/media/resource_efficiency_report_march_2017_web_res.pdf
- ISWA. (2016).** *A Roadmap for Closing Waste Dumpsites, The World's Most Polluted Places.*
- Jambeck et al. (2015).** *Plastic Waste Inputs from Land into the Ocean.* Science. doi:10.1126/science.1260352
- Kaza et al. (2018).** *What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050.*
- McKinsey & Company. (2013).** *Pathways to a low-carbon economy: Version 2 of the global greenhouse gas abatement cost curve.* Retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/sustainability/our-insights/pathways-to-a-low-carbon-economy>
- Paul et al. (2010).** *Responding to Climate Change and Alleviating Poverty: Recovery of Alternative Fuels and Raw materials by Waste Pickers.* ISWA World Congress.

Paul et al. (2012). Solid Waste Management for Local Government Units in the Philippines. GIZ.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E., & Lenton, T. (2009). A Safe Operating Space for Humanity. *Nature*. doi: <https://doi.org/10.1038/461472a>

Scheinberg et al. (2010). Economic Aspects of the Informal Sector in Solid Waste Management. *German Technical Cooperation (GTZ)*. Eschborn: GIZ. Retrieved from <https://www.giz.de/en/downloads/giz2011-cwg-booklet-economics-pepts.pdf>

SNIC. (2019). Cement Technology Roadmap – Carbon Emissions Reduction Potential in the Brazilian Cement Industry.

UNEP. (2011). Basel Convention & Implementation & Technical Assistance & Co-processing. Retrieved July 16, 2018, from Basel Convention: <http://www.basel.int/Implementation/TechnicalAssistance/Coprocesing/tabid/2554/Default.aspx>

UNEP. (2015). Global Waste Management Outlook.

UNEP. (2016). Marine Litter Vital Graphics. Nairobi and Arendal: United Nations Environmental Programme & GRID-Arendal. Retrieved from https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9798/-Marine_litter_Vital_graphics-2016MarineLitterVG.pdf.pdf?sequence=3&isAllowed=y

UNEP. (2017a). Minamata Convention on Mercury. Retrieved from <http://www.mercuryconvention.org/>

UNEP. (2017b). Stockholm Convention on *Persistent Organic Pollutants* (POPs). Retrieved from <http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx>

USGS. (2013). Cement Statistics and Information. Retrieved from <https://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/cement/mcs-2018-cemen.pdf>

Vanderborght, B., Koch, F., Laurent, G., Stefan, W., Piet, H. H., & Degré, J.-P. (2016). Low-Carbon Roadmap for the Egyptian Cement Industry. *European Bank for Reconstruction and Development* (EBRD).

VDZ. (2017a). Environmental Data of the German Cement Industry. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Duesseldorf. Retrieved from https://mitglieder.vdz-online.de/fileadmin/gruppen/vdz/3LiteraturRecherche/Umweltdaten/VDZ_Umweltdaten_2017_DE_EN.pdf

VDZ. (2017b). VDZ calculation from AFR symposium.

Velis et al. (2009). Biodrying for mechanical-biological treatment of wastes: A review of process science and engineering. *Bioresource Technology*.

Velis et al. (2012). An analytical framework and tool ('InteRa') for integrating the informal recycling sector into waste and resource management systems in developing countries. *Waste Management & Research*, 39(9), 42-66. doi:10.1177/0734242X12454934

WBCSD. (2006). Formation and Release of POPs in the Cement Industry. Retrieved May 2019, from <https://www.wbcSD.org/content/wbc/download/2426/30097>

WBCSD. (2011). CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry.

WBCSD/IEA, 2012. (n.d.). Technology Roadmap: Low Carbon Technology for the Indian Cement Industry. International Energy Agency. Retrieved from http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/2012_cement_in_india_roadmap.pdf

Wiedinmyer C, Y. R. (2014). Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste, doi: 10.1021/es502250z. *Environ Sci Technol.* 19;48(16); 9523-30.

Wilson et al. (2012). Comparative analysis of solid waste management in 20 cities. *Waste Management & Research*, 30(3), 237-57. doi:10.1177/0734242X12437569

Wilson, D. V. (2013). Integrated sustainable waste management in developing countries. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Waste and Resource Management*, Open access: <https://doi.org/10.1680/warm.12.00005>



Anexo 2 – Lista de ejemplos de material de desecho adecuado para el pre- y el co-procesamiento

	Poder calorífico (GJ/t) ^{8 9}	Factor de emisión (kg CO ₂ /GJ) ¹⁰	Biomasa Compartida
aceite de desecho	25-36	74	0
llantas	25.1-31.4	85	27 %
plásticos	21.0-41.9	75	0
solventes	20-36	74	0
aserrín impregnado	14-28	75	20-75 %
lodos secos de drenaje	8-13	110	100 %
madera, aserrín no impregnado	Aprox. 16	110	100 %
papel, cartón	3-16	110	100 %
harina de origen animal	14-21.5	89	100 %
residuos agrícolas	12-16	110	100 %
RDF	11.6 ¹¹ 16.8 ¹²	45.9 61	50 % 40 %

Tabla 7

Lista de ejemplos de materiales de desecho adecuados como AF (incl. poder calorífico y factores de emisión de CO₂).

8 Antoine Pinasseau, Benoit Zerger, Joze Roth, Michele Canova, Serge Roudier; *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste treatment, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*; EUR 29362 EN; Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018; ISBN 978-92-79-94038-5, doi:10.2760/407967, JRC113018, <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

9 European Commission, Reference Document on Best Available Techniques in The Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries, May 2010, Table 1.20 <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

10 CSI, 2013, Protocol spreadsheet 3.1, <http://www.cement-co2-protocol.org/en/>

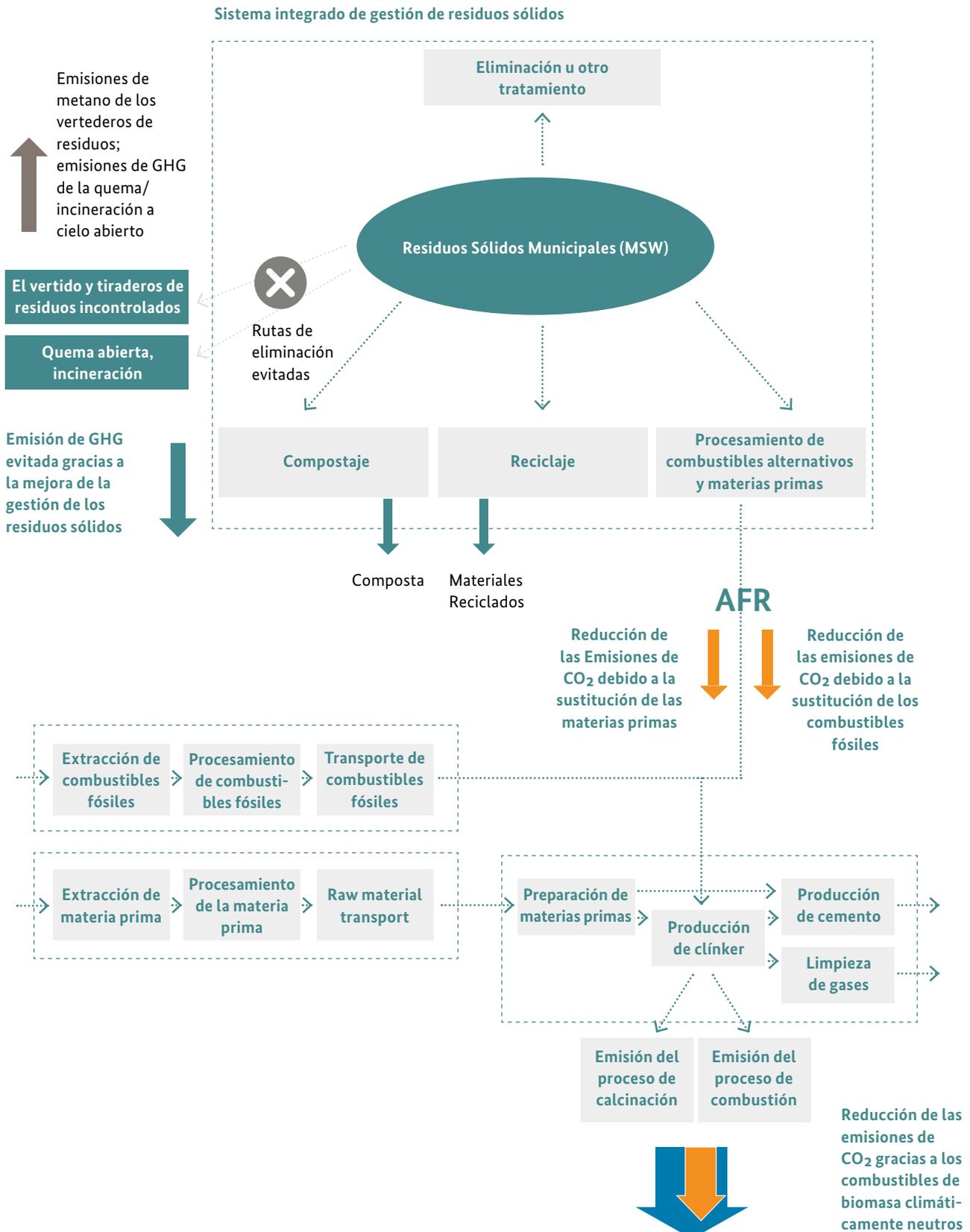
11 CDM-Executive Board, *Project design document from (CDM PDD) – Version 03, 05/07 2010, Alternative fuels and biomass project at Zapotiltic cement plant Version 10*

12 Therese Schwarzböck, Edi Munwar, Jakob Lederer, Johann Fellner *Refuse Derived Fuels in the Cement Industry – Potentials in Indonesia to Curb Greenhouse Gas Emissions, International Conference on Engineering and Science for Research and Development (ICESReD)* <http://www.icesred.unsyiah.ac.id/proceedings/34.%20Schwarzb%20et%20al..pdf>

Tabla 8
Ejemplos de residuos
adecuado como AR.

Desecho	Compuestos útiles
Cenizas volantes	Si-Al-Ca
Escoria de alto horno	Fe
Humo de sílice	Si
Escoria de hierro	Fe
Ceniza de pirita	Fe
Tierra que contiene petróleo	Si-Al-Ca
Yeso artificial (de la desulfuración de gases de combustión y la producción de ácido fosfórico)	S
CaF ₂ , Lodo de filtrado	Ca-F
Lodos rojos	Fe
Lodos del tratamiento de agua potable	Ca
Arena de fundición gastada	Fe

Anexo 3 – Impacto del pre- y el co-procesamiento en los GHG



- Reducción de CO₂ debido a la sustitución de combustibles fósiles y de materiales
- Reducción de los GHG debido a la mejora de la gestión de los residuos sólidos
- CO₂ de la producción de cemento
- Emisión de metano de los vertederos/basureros y las emisiones de GHG de la quema a cielo abierto

Anexo 4 – Ejemplo de caso de negocio pre- y co-procesamiento de RDF

Aquí se calcula un caso de negocio genérico para el pre- y co-procesamiento de RDF para ofrecer una mejor comprensión de los aspectos económicos y climáticos del uso de residuos como AFR en la producción de cemento. Se toma como ejemplo una planta de cemento de última generación que produce 1.2 millones de toneladas de clínker por año, con un consumo anual de coque de petróleo de 180,000 toneladas y emisiones de efecto invernadero por la quema de coque de petróleo de 390,000 toneladas de CO₂ (*Tabla 9 y Tabla 10*). El coque de petróleo se importa del extranjero y se transporta por ferrocarril a la planta de cemento. El aumento de los precios del coque de petróleo reduce los márgenes de beneficio y las reducciones de CO₂ requieren acciones (*Tabla 11*). En cooperación con una organización internacional, la dirección ha puesto en marcha un proyecto de co-procesamiento para el RDF con el fin de mantener la competitividad, mitigar las emisiones de GHG y mejorar la gestión de los residuos del municipio local.

El vertedero recibe 200,000 toneladas anuales de MSW mezclados. Una cooperativa de recicladores clasifica todos los materiales reciclables valiosos como metales, plásticos, vidrio PET, cartón, etc., lo cual es la fuente de sus ingresos. La organización internacional ha financiado una instalación básica de clasificación y reciclado, operada por la cooperativa de recicladores, que consiste en una criba de trommel para la eliminación de los productos orgánicos, una cinta transportadora para el trabajo de clasificación manual y una camioneta para el transporte de los productos reciclables. La cantidad anual de residuos para clasificación asciende a 120,000 toneladas. A una humedad del 50 %, el poder calorífico de 10 GJ/t es demasiado bajo para el co-procesamiento. La instalación de pre-procesamiento mecánico-biológico, operada por la planta de cemento, está situada a una distancia de 80 km por carretera. El operador de pre-procesamiento también es responsable del transporte de los residuos para clasificación desde la estación de clasificación hasta la instalación de pre-procesamiento y además recibe una tasa de entrada de la municipalidad. En la instalación de pre-procesamiento se calificarán, secarán y triturarán todos los residuos para clasificación para obtener 80,000 toneladas de RDF homogéneo a una humedad del 25 % y un poder calorífico de 16 GJ/t. El RDF sustituye el 32 % del coque de petróleo en la planta de cemento (*Tabla 12*). La inversión inicial asciende a 14 millones de dólares de los EE.UU. para la instalación de pre-procesamiento (incluida la planeación e ingeniería) y el sistema de alimentación del horno. Ya existe un bypass de cloro, si no, se requieren 5 millones de dólares adicionales (*Tabla 15 y Tabla 16*).

De acuerdo con las reglas de los inversionistas, cualquier proyecto requiere un reembolso de 5 años. La valoración financiera ha demostrado que el tiempo de amortización dinámica de 5 años se logra a los precios actuales del coque de petróleo (114 USD índice USGC) y una tasa de entrada de 20 dólares por tonelada, que también puede ser financiada a largo plazo por el municipio. Además, la tasa interna de rendimiento del 33.7 % es superior al promedio ponderado de los costos de capital del 8.5 % para este tipo de proyecto y país. (*Tabla 17*)

La reducción de las emisiones de CO₂ del proyecto (excluyendo el transporte de coque de petróleo) suma 67,500 t de CO₂/año, que es el 17 % de la línea base (*Tabla 13 y Tabla 14*).

Capacidad de producción del horno	1.46 millones	t/año
Eficiencia de Operación	82	%
Producción de Clínter	1.2 millones	t/año
Línea base de consumo de coque de petróleo	117,647	t/año

Tabla 9

Línea de base:
supuesto consumo
de energía térmica
de la planta de
cemento.

Coque de petróleo con factor de emisión de CO₂ del IPCC	97.5	kg CO ₂ / GJ
Energía térmica del CO₂	390,000	t CO ₂ /año
Emisión de CO₂ Línea Base	395,279	t CO ₂ /año

Tabla 10

Línea base:
Emisiones de CO₂
del transporte y la
quema de coque
de petróleo.

Costos coque de petróleo	114	US\$/t
Costos coque de petróleo en el quemador (cantidad)	174	US\$/t
Costos Línea Base	20.4 millones	US\$/año

Tabla 11

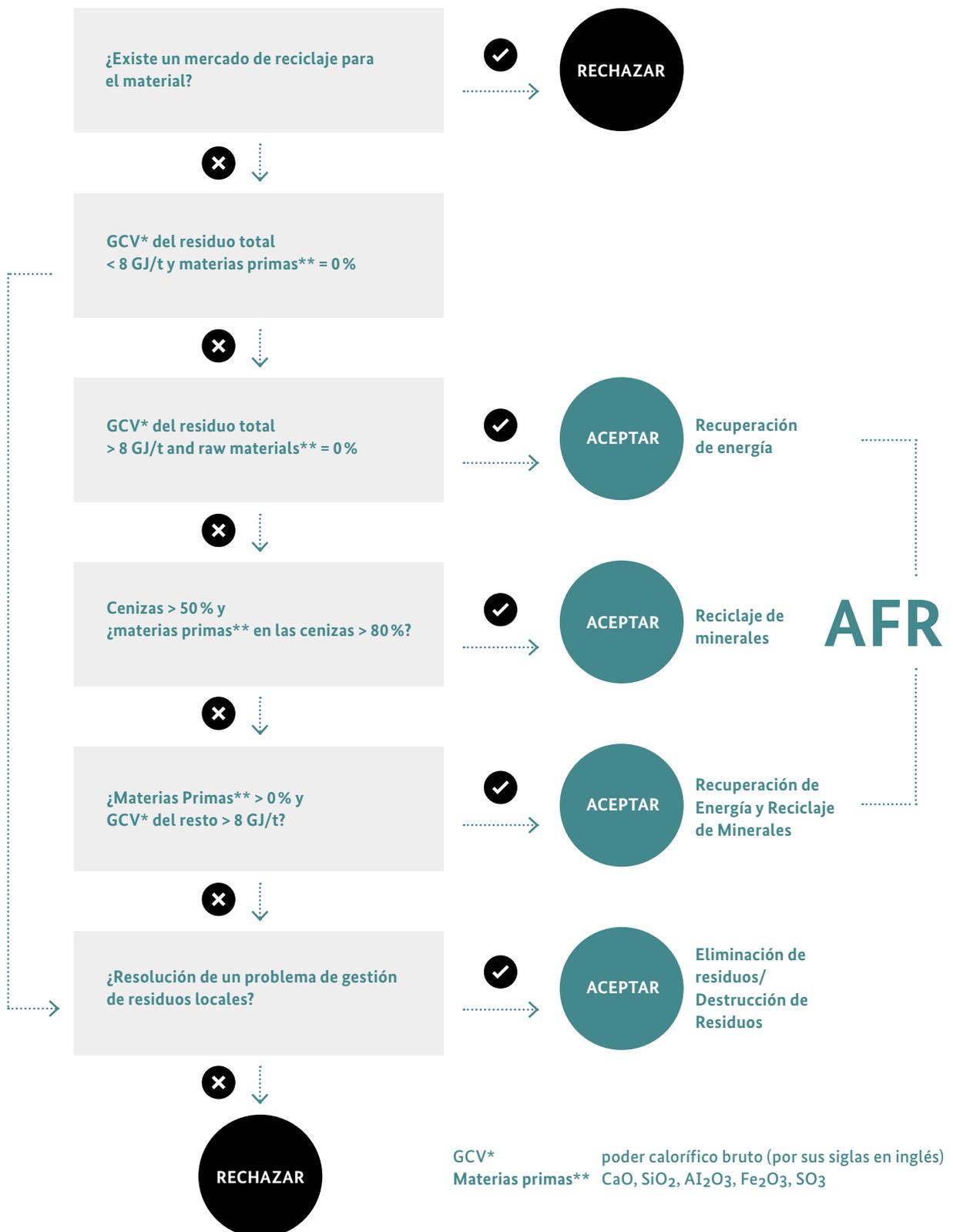
Línea base:
costos del coque
de petróleo de la
planta de cemento.

Tabla 12 Proyecto: Pre- y co-procesamiento de RDF a partir de MSW (clasificados por los recicladores en un vertedero).	Cantidad de MSW húmedo (poder calorífico neto 10 GJ/t, 50% de humedad)	120,000	t/año
	RDF Cantidad después del secado (poder calorífico neto 16 GJ/t)	80,000	t/año
	Energía térmica del RDF	1.28 millones	GJ/año
	Tasa de sustitución térmica	32%	
	Sustitución de coque por RDF	37,647	t/año coque de petróleo
Tabla 13 Proyecto: Emisiones de CO ₂ de pre- y co-procesamiento.	Emisiones CO₂ pre- y co-procesamiento	61,064	t CO ₂ /año
Tabla 14 Proyecto: Reducción de emisiones de CO ₂ .	Emisión de CO₂ Línea Base	390,000	t CO ₂ /año
	Consumo reducido de Coque de petróleo	32	%
	Reducción de la emisión de CO₂ del proyecto (cantidad)	65,736	t CO ₂ /año
	Reducción de la emisión de CO₂ del proyecto (porcentaje)	17	%
Tabla 15 Proyecto: Gastos de Operación (OPEX) de pre- y co- procesamiento.	Cuota de entrada al vertedero para residuos MSW (pagada por el municipio)	-20	t/MSW residuo
	Costo total del RDF después del transporte, pre-procesamiento y alimentación al horno, incluida la tasa de entrada (cantidad)	8	US\$/t RDF
	Total RDF (energía)	0.5	US\$/GJ RDF

Inversión total (incluido el bypass de cloro)	14 millones	US\$	Tabla 16 Proyecto: Gastos de Capital (CAPEX) del pre- y co-procesamiento.
Costo Promedio Ponderado del Capital (WACC por sus siglas e inglés)	8.5	%	Tabla 17 Proyecto: Parámetros financieros.
Periodo del proyecto	20	años	
Tasa Interna de Retorno (TIR)	33.7	%	Tabla 18 Proyecto: Resultados valoración financiera.
Valor Presente Neto Pesos	27.228 millones	US\$	

Anexo 5 – Ejemplo de una tabla de aceptación y rechazo (co-procesamiento)

Diagrama de Aceptación o Rechazo para un Operador de una Planta de Cemento



Anexo 6 – Ejemplos para valores límite para los residuos y AFR

Tabla 19
Valores límite para los residuos utilizados en hornos de cemento en la legislación austríaca, en las directrices de Nordrhein-Westfalen (Renania del Norte-Westfalia / Alemania) y con permisos franceses.

Sustancia	Austria ¹³				Renania del Norte-Westfalia ¹⁴	Francia ¹⁵
	AF en hornos de cemento con precalentamiento y calcinador		Residuos, que no son AF		Residuos como combustible para calefacción [▲]	Criterios de entrada de sustancias para combustibles de residuos adecuados en cementeras
	media	80 ^{vo} percentil	media	80 ^{vo} percentil		
Valores límite en mg/kg de materia seca (valores AT convertidos a partir de mg/kg suponiendo un poder calorífico medio de 18 GJ/t. FR convertido desde ppm y %)						
Arsénico	36	54	90	135	13	NA
Antimonio	126	180	630	900	120	NA
Plomo	360	648	1350	2430	200-400	6'000
Cadmio	4.14 ¹	8.28 ¹	15.3	30.6	9	NA
Cromo, total	450	666	1710	2520	120-250	1'000
Cobalto	27	48.6	81	144	12	1'000
Cobre	NA	NA	NA	NA	300-700 ^{▲▲}	2'000
Níquel	180	324	630	1'080	100	1'000
Mercurio	1.4	2.7	6.8	13.5	1.2	10
Talio	NA	NA	NA	NA	2	NA
Zinc	NA	NA	NA	NA	NA	150'000
Estaño	NA	NA	NA	NA	70	NA
Manganeso	NA	NA	NA	NA	100-500	1'000
Vanadio	NA	NA	NA	NA	25	NA
PCB/PCB+PCT*	NA	NA	NA	NA	NA	50
PCP (Pentaclorofenol)	NA	NA	NA	NA	NA	50

13 German Ordinance: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung – AVV) <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002239>

14 German Ordinance: Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, September 2005, Leitfaden zur energetischen Verwertung von Abfällen in Zement-, Kalk- und Kraftwerken in Nordrhein-Westfalen https://www.th-owl.de/fb8/fileadmin/download_autoren/immissionsschutz/Interpretation/NRW0509yyLeitfEnergVerw02.pdf

15 European Commission, Reference Document on Best Available Techniques in The Cement, Lime and Magnesium Oxide Manufacturing Industries, May 2010, Table 4.18 <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/>

Cloro total	NA	NA	NA	NA	NA	4
∑ As+Ni+Co+Se+ Te+Cr+Pb+S- b+Sn+V	NA	NA	NA	NA	NA	10'000
Azufre	NA	NA	NA	NA	NA	120'000
Otros halógenos (bromuro+ yoduro+flúor)	NA	NA	NA	NA	NA	5'000
Álcalis (Na ₂ O+K ₂ O)	NA	NA	NA	NA	NA	150'000
Fosfatos (P ₂ O ₅)	NA	NA	NA	NA	NA	150'000
*PCB: bifenilo policlorado; PCT: terfenilo policlorado	¹ Para AF de calidad asegurada (número clave 91108 según la Ordenanza Alemana sobre la lista de residuos, BGBl. II No. 570/2003, en la versión actual) se aplica un límite de 8.1 mg/kg (mediana) y 12.6 mg/kg (80vo percentil). (Suponiendo un poder calorífico medio de 18 GJ/t)				[▲] referido a un poder calorífico de materia seca de al menos 20 GJ/t (± 2,000 MJ/t), respectivamente para la fracción de alto poder calorífico de los residuos municipales el poder calorífico asciende a 16 GJ/t. [▲] Violación del límite debido a la no homogeneidad válida en casos individuales	

Anexo 7 – Justificación para la exclusión de ciertos materiales de desecho del co-procesamiento

1. Residuos radiactivos

Los residuos radiactivos normalmente están excluidos de la gestión de residuos “clásicos” y, por lo tanto, deben aplicarse reglamentos específicos de conformidad con los acuerdos internacionales. Esto significa que los residuos radiactivos no pueden ser tratados bajo los reglamentos de los residuos municipales e industriales y se requieren permisos especiales para su tratamiento. El procedimiento se estipula normalmente en las leyes nucleares nacionales. Las plantas de cemento no son adecuadas para manejar residuos radiactivos.

Sin embargo, hay un caso límite para los residuos que tienen una baja dosis de radiactividad (por ejemplo, los residuos de investigaciones, los dispositivos de limpieza o en entidades médicas). Siguiendo las recomendaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica y otras organizaciones, muchos países definen ciertos residuos como de baja radiactividad si la radiación del material a los seres humanos no excede de 10 μSv por año. En este caso se podría dar una autorización restringida o incluso no restringida para la manipulación de estos residuos dentro de un plan de gestión integrada de residuos. En el plano internacional, sigue habiendo una gran discrepancia en los procedimientos de autorización, y no se dan niveles uniformes. Como es muy difícil para la mayoría de las empresas y/o autoridades aportar pruebas de que el valor límite de umbral de 10 μSv pueda asegurarse en cualquier momento, se recomienda no utilizar ningún tipo de residuo radiactivo para el pre- y co-procesamiento.

2. Residuos que contienen asbesto

El asbesto es el nombre que se da a un grupo de minerales que se presentan de forma natural como masas de fibras largas y sedosas. El asbesto es conocido por sus propiedades únicas de ser resistente a la abrasión, inerte a las soluciones ácidas y alcalinas, y estable a altas temperaturas. Debido a estos atributos, el asbesto fue ampliamente utilizado en la construcción y la industria. Las fibras de asbesto se tejen juntas o se incorporan a otros materiales para crear muchos productos.

Las fibras de asbesto en el aire son pequeñas, inodoras e insípidas. Su tamaño oscila entre 0.1 y 10 micras de longitud (un cabello humano tiene unas 50 micras de diámetro). Debido a que las fibras de asbesto son pequeñas y ligeras, pueden estar suspendidas en el aire por largos períodos. Las personas que entran en contacto con el asbesto pueden inhalar fibras. Una vez inhaladas, las pequeñas fibras inertes de asbesto pueden penetrar fácilmente en las defensas del cuerpo. Se depositan y retienen en las vías respiratorias y los tejidos de los pulmones y pueden causar cáncer. Debido a sus efectos negativos sobre la salud, el uso del asbesto está prohibido en la mayoría de los países desde hace unos 25 años.

Los materiales que contienen asbesto pueden clasificarse en uno de los tres tipos siguientes: material pulverizado o aplicado con llana (por ejemplo, en techos o paredes), aislamiento de sistemas térmicos (por ejemplo, envoltura de cemento-yeso alrededor de calentadores, en los codos de las tuberías de agua y vapor, en las tes, en accesorios y en los tramos de tuberías), o materiales diversos (por ejemplo, losetas para pisos, láminas de roca, baldosas para techos, productos de fricción para automóviles). En el futuro se transferirán millones de toneladas de productos de asbesto a material de desecho, especialmente en los países en desarrollo, y no todos los países cuentan con una reglamentación nacional sobre la manipulación y la eliminación final de esta importante corriente de residuos.

Los residuos que contienen asbesto podrían ser tratados en hornos rotativos especialmente equipados a una temperatura superior a 800 °C durante cierto tiempo. Los minerales de amianto se transformarían en otros minerales como el olivino o la forsterita. Por lo tanto, el co-procesamiento podría ser, desde un punto de vista técnico, una opción para el tratamiento de los residuos de asbesto. Sin embargo, los rellenos sanitarios deben considerarse la forma más adecuada de eliminación final, ya que el material puede ser eliminado sin ser molestado y no provoca la liberación de fibras no deseadas en el aire. Una vez vertidos de forma segura, los residuos de asbesto no tienen más impactos ambientales negativos. A medida que la disponibilidad y la nueva instalación de rellenos sanitarios se conviertan en un problema cada vez mayor, podrían surgir en el futuro solicitudes de co-procesamiento del asbesto. Sin embargo, antes de eliminar el amianto de la lista de sustancias prohibidas, es necesario realizar investigaciones detalladas, en particular sobre la salud y la seguridad en el trabajo en toda la cadena de suministro. Además, las autoridades nacionales deben introducir y hacer cumplir reglamentos específicos para el asbesto.

3. Explosivos y Municiones

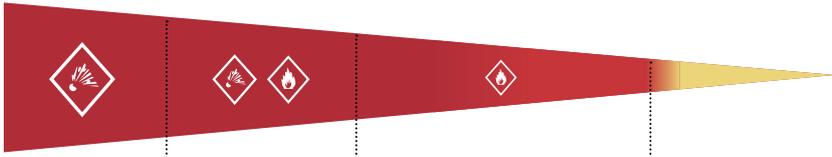
Los explosivos son cualquier compuesto químico, mezcla o dispositivo capaz de producir un efecto explosivo y pirotécnico, con una liberación sustancial e instantánea de calor y gas. Ejemplos de ello son la nitroglicerina, los fuegos artificiales, los detonadores, las mechas, las bengalas, las municiones, etc. Las razones para excluirlos del co-procesamiento son la seguridad debido al riesgo de explosiones incontroladas durante las actividades de pre-procesamiento, el transporte o la manipulación, las reacciones explosivas en el horno de cemento tendrían un impacto negativo en la estabilidad del proceso.

4. Compuestos térmicamente inestables autorreactivos

Estos compuestos suelen excluirse del pre-procesamiento, ya que los materiales conllevan riesgos específicos que, en condiciones normales de funcionamiento, es probable que den lugar a una fuerte descomposición exotérmica, incluso sin la participación del oxígeno (aire). Parte del material detonará o se deflagrará rápidamente o es capaz de sufrir una explosión térmica, por lo que debe ser visto con la misma luz que un material explosivo.

Un material de esta categoría es, por ejemplo, el peróxido de benzoilo. Como producto químico puro se considera un fuerte oxidante que puede reaccionar violentamente con los combustibles (clasificación GHS tipo A/B). Sin embargo, cuando se mezcla en la crema (típicamente 5-20 %) para su uso como tratamiento del acné, se considera que no es inflamable según los criterios de la OSHA.

Tabla 20
Clasificación de las sustancias autorreactivas.¹⁶

Clases de peligro	Sustancias y mezclas autorreactivas/Peróxidos orgánicos (dos clases de peligro distintas que tienen las mismas categorías y, por lo tanto, están agrupadas)				
Etiquetado GHS					
Clasificación GHS	tipo A	tipo B	tipo C+D	tipo E+F	tipo G
Palabra señalización	Peligro		Advertencia		
Declaraciones H	H240: el calentamiento puede causar una explosión.	H241: el calentamiento puede causar un incendio o una explosión.	H241: el calentamiento puede causar un incendio.		

5. Residuos anatómicos, infecciosos y de atención médica

Los residuos infecciosos y sanitarios se generan en la atención médica de los seres humanos, veterinaria y en la investigación. Ejemplos de ello son las bolsas de transfusión de sangre usadas, las vendas contaminadas con sangre, los filtros de diálisis, las agujas de inyección y también partes del cuerpo y órganos. La eliminación requiere requisitos especiales de higiene y seguridad laboral en la manipulación, el envasado y el transporte.

Las condiciones del horno de cemento serían apropiadas para tratar los residuos infecciosos y sanitarios, pero requerirían precauciones especiales en materia de salud y seguridad en la cadena de suministro de esos residuos. Como no se pueden asegurar completamente las condiciones de salud y seguridad requeridas, no se recomienda actualmente el co-procesamiento. Sin embargo, el problema de la manipulación inadecuada de los residuos de la atención de la salud ha persistido durante años, especialmente en los países en desarrollo. Aunque es bien sabido que la segregación de los residuos en la fuente es el paso más importante en la gestión de los residuos sanitarios, este principio no siempre se aplica. Se presta aún menos atención al almacenamiento seguro y al tratamiento final (esterilización o microondas) de los residuos infecciosos.

6. Residuos de equipos eléctricos y electrónicos

Los residuos de aparatos eléctricos y electrónicos (WEEE por sus siglas en inglés) se componen de ordenadores y accesorios, aparatos electrónicos de entretenimiento, aparatos electrónicos de comunicación, juguetes, pero también de electrodomésticos como aparatos de cocina o aparatos médicos. Los WEEE contienen, por un lado, sustancias nocivas para la salud y el medio ambiente como Cl, Br, P, Cd, Ni, Hg, PCB y retardantes de llama bromados en alta concentración, a menudo superiores a los valores límite de los permisos. Por otra parte, la chatarra contiene tantos metales preciosos escasos que hay que hacer todo lo posible por reciclarla. El co-procesamiento de las partes plásticas de los residuos electrónicos sería una opción interesante pero requiere primero el desmontaje y la segregación.

7. Baterías Enteras

Las baterías pueden clasificarse como baterías para automóviles, baterías industriales y baterías portátiles (de consumo). Las baterías para automóviles son principalmente baterías de plomo y ácido; las baterías industriales comprenden tanto baterías de plomo y ácido como baterías de Ni-Cd. La batería portátil consta de pilas de uso general (principalmente de carbono Zn y pilas alcalinas de manganeso), pilas de botón (principalmente de Hg, Zn aire, Ag₂O, MnO y Li) y baterías recargables (principalmente de Ni-Cd, hidruro metálico de Ni, Li-ion y baterías selladas de plomo-ácido). La mayoría de estas sustancias son perjudiciales para la salud y el medio ambiente. El co-procesamiento de las baterías conduciría a una concentración indeseable de contaminantes en el cemento y las emisiones atmosféricas. Además, algunos contenidos de las baterías, como el Hg, el Ni o el Cd, exceden los valores límite para el AFR. Además, se han introducido con éxito plantas de reciclaje de baterías comercialmente viables.

Anexo 8 – Modelo del permiso

Remitente: Autoridad otorgante

Destinatario: Empresa

I.

Por el presente, y de conformidad con los artículos... de la Ley... se le concederá el permiso para construir y operar una planta para la producción de cemento con co-procesamiento de combustible de desecho con una producción de... t/d de cemento en... (lugar)... (calle, dirección correcta)

II. Componentes de la Planta

- horno rotativo con canales de gas de combustión, chimenea
- almacenamiento de materias primas
- almacenamiento de combustible (combustible primario, combustible secundario)
- trituradoras, molinos, enfriadores
- instalaciones transportadoras
- filtro electrostático
- procesamiento de residuos, estación de suministro
- ...

III. Documentos para la Solicitud

1. Mapa topográfico
2. Documentos de Construcción:
 - plano principal
 - planos
 - especificaciones de la construcción
3. Sección esquemática de la planta
4. Plano del sitio para las máquinas
5. Descripción de la planta y su funcionamiento, los términos de las condiciones normales de trabajo
6. Descripción de la situación de las emisiones
 - la tecnología para la prevención de la contaminación
 - contenido de las cantidades de emisiones
7. Descripción de los combustibles secundarios: generación, procesamiento, utilización de la instalación, suministro, sistema de aseguramiento de calidad
8. Evaluaciones Ambientales
 - Pronóstico de las emisiones de contaminación atmosférica (por ejemplo, polvo, NOX, SO₂, metales pesados, PCDD/PCDF)
 - Pronóstico de emisión de ruido
 - Emisiones de olores
9. Mantenimiento de las normas de salud y seguridad industrial y ocupacional
10. Descripción de las técnicas y/o medidas de ahorro de energía
11. Descripción para información pública

IV. Datos de la Planta

Producción: ... t/d cemento
 Combustible primario: polvo de carbón, aceite de calentamiento,...
 combustible Secundario: combustibles sólidos, combustibles líquidos,...

V. Regulaciones Colaterales

1 Control de la contaminación del aire

- 1.1 Todos los gases de desecho deben ser recolectados y deben ser descargados de manera controlada a través de la chimenea.
- 1.2 Las mediciones de las emisiones deben cumplir los siguientes requisitos. Éstas deben ser
 - representativas y comparables entre sí
 - permitir una evaluación uniforme
 - permitir el monitoreo y verificación del cumplimiento de los límites de emisión mediante las prácticas de medición más modernas

1.3 De acuerdo con la directiva de la UE 2010/75 sobre emisiones industriales, la emisión en el aire de escape de las plantas de purificación de gases residuales no superará las siguientes concentraciones en masa, siempre referidas a condiciones normalizadas (273 K; 1013 hPa) después de la deducción de la humedad. Contenido de oxígeno de referencia 10%

Contaminante (valor diario promedio en mg/m ³)	Límite de emisión total*
Emisiones de partículas (Polvo total)	30
HCL	10
HF	1
NO _x	500
SO ₂	50**
TOC	10**
Los componentes del polvo y los metales que se deslizan por el filtro, el metaloide y sus compuestos:	
Cd + Tl	0,05
Hg	0,05
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	0,5
PCDDs y PCDFs	0,1 ng I-TE/m ³

* Los límites de emisión se fijan sobre la base de la “Directiva de la UE 2010/75 sobre emisiones industriales”, pero las autoridades locales pueden establecer límites especiales en cada caso

** La autoridad competente puede autorizar una exención en los casos en que el TOC y el SO₂ no resulten de la co-incineración de residuos

1.4 Monitoreo de las emisiones:

- Sustancias contenidas en el polvo, HCL, PCDDs/PCDFs
Para el monitoreo de las emisiones, se realizarán mediciones únicas. Los valores límite de emisión se observan si los resultados de una sola medición no superan el valor límite de emisión fijado. Las mediciones deben repetirse por lo menos una vez al año y ser realizadas por expertos independientes.
- Polvo, NO_x, SO₂
Para controlar las emisiones, se instalarán dispositivos de medición continua con evaluación automática. El resultado de las mediciones continuas debe ser registrado. Los instrumentos de medición tienen que ser probados en cuanto a su funcionamiento una vez al año por expertos independientes.
- CO (el valor límite puede ser establecido por la autoridad competente)

1.5 Laboratorios calificados

Para garantizar una práctica de medición uniforme, resultados de medición representativos y procedimientos de calidad comparables, se encargarán a laboratorios calificados actividades de muestreo y análisis y procedimientos de calibración.

La ubicación y configuración del punto de muestreo se coordinará con las autoridades competentes (y el laboratorio encargado, cuando proceda).

2 Control del combustible de desecho

2.1 Monitoreo del aseguramiento de calidad para co-procesamiento de los combustibles de desecho

- punto de generación (productor)
 - enumerando los residuos según el tipo
 - acuerdo contractual sobre la calidad y composición permitida de los residuos
 - documentación de las cantidades eliminadas

- **instalación de procesamiento (entrante)**
 - muestreo y análisis de rutina, muestras de retención
 - documentación de las cantidades recibidas y procesadas
 - muestreo y análisis de rutina por un experto independiente
- **instalación de procesamiento (saliente)**
 - muestreo y análisis de rutina, muestras de retención
 - documentación de las cantidades salientes
- **uso de la instalación (horno de cemento, entrante)**
 - muestreo y análisis de rutina, muestras de retención
 - documentación de las cantidades entrantes
- **parámetros investigados**
 - poder calorífico, humedad, cloro, azufre, ceniza y componentes de la ceniza
 - metales pesados (Cd, Tl, Hg, Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)
 - PCBs, PAH, etc.
 - valor máximo, valor medio del nivel de contaminantes en la mezcla de residuos.

Límites de contaminantes en los combustibles de desecho para el co-procesamiento¹⁷

	valor medio (ppm)	valor máximo (ppm)
Cadmio		
Talio		
Mercurio		
Antimonio		
Arsénico		
Cobalto		
Níquel		
Selenio		
Telurio		
Plomo		
Cromo		
Cobre		
Vanadio		
Manganeso		
Estaño		
Berilio		
Cloro		
PAH		
Azufre		
PCBs		

¹⁷ Debe ser definido por las autoridades locales

2.2 Catálogo de combustibles de desecho para el co-procesamiento en el horno de cemento

Clave/grupo de Residuo	descripción del combustible de co-procesamiento

3 Monitoreo de la seguridad de la combustión

- El proceso de combustión debe ser monitoreado continuamente usando tecnología moderna de control de procesos,
- Los principales parámetros para el análisis de los materiales de desecho (poder calorífico, composición química, etc.) deben introducirse en el sistema de control del proceso de forma continua,
- Las regulaciones de la energía primaria tienen que seguir en dependencia de los datos del combustible secundario,
- Los combustibles de desecho sólo pueden suministrarse durante el funcionamiento continuo normal dentro del rango de salida nominal.

3.1 Normas de seguridad

Para supervisar los parámetros que se enumeran a continuación, deben estar vinculados entre sí por un sistema lógico controlado por computadora, por ejemplo:

- Temperatura del gas menor a 900 °C en la entrada del horno
- Temperatura del material a la salida del horno inferior a 1250 °C
- Nivel de CO por encima de un valor que se establecerá por ensayo (Vol.%)
- Desviaciones de control inadmisibles en la comparación del punto de ajuste/valor real para la alimentación de combustible primario y secundario
- Alimentación con harina cruda de menos del 75 % de la cantidad máxima posible
- Presión negativa ante el ventilador de gases de escape por debajo del valor requerido en la salida nominal
- Nivel de O₂ permisible inferior al que requieren las mediciones de inspección
- Nivel de NO_x permitido por encima de 500 mg/m³
- Fallo del quemador
- Nivel de polvo por encima del límite permitido.

(Esto debería garantizar la rápida detección de cualquier interrupción del funcionamiento normal y el uso de sistemas de respuesta adecuados para evitar la combustión incontrolada de residuos)

VI. Ruido

En lo que respecta al ruido, los valores límite de emisión de ruido se determinarán en función de la urbanización existente en el entorno.

VII.

Aguas residuales (si procede)

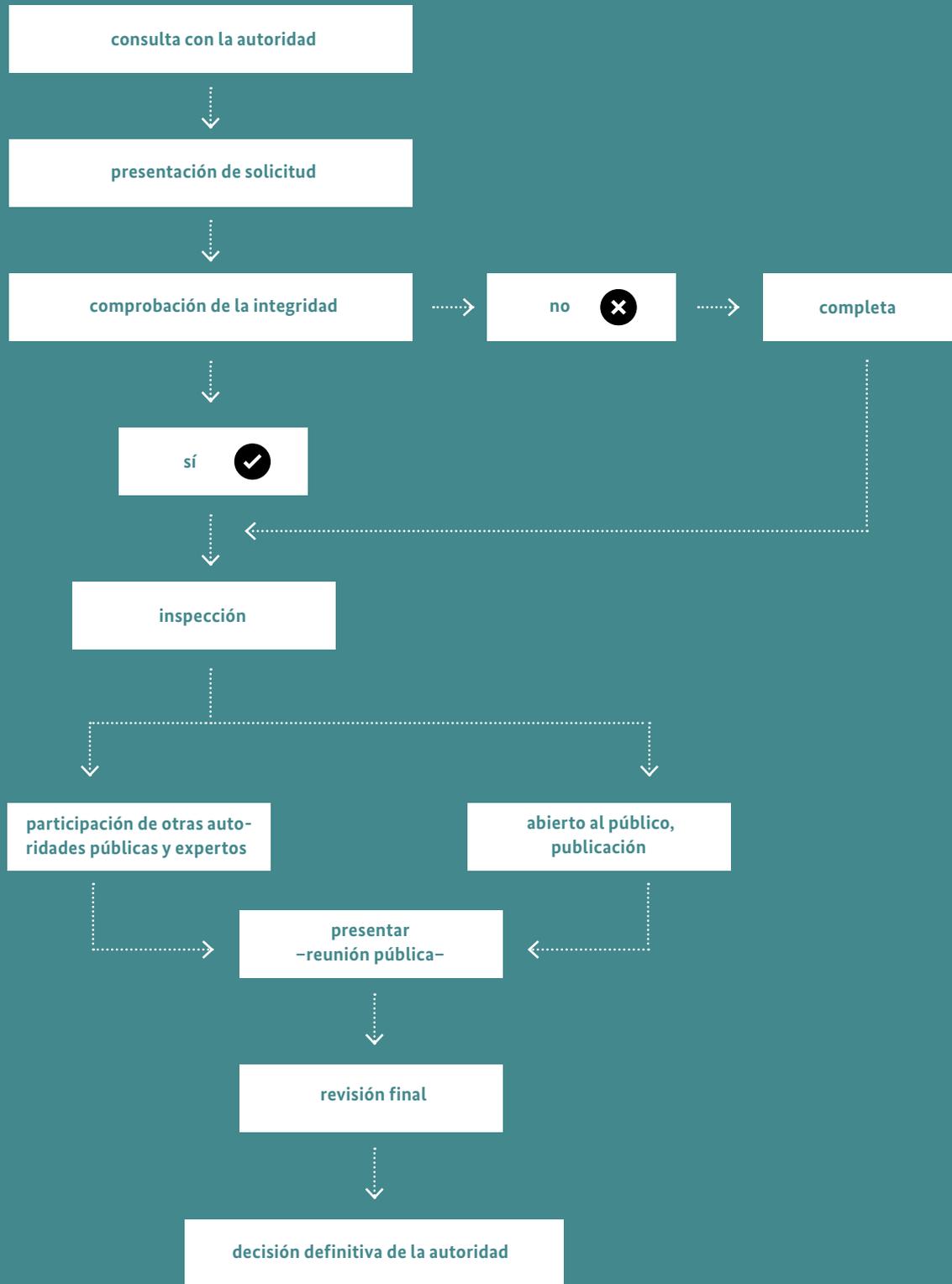
VIII. Razones

(Razones para un permiso de co-procesamiento de residuos)

- Evaluaciones Ambientales
- Control de la contaminación del aire
- Jerarquía de residuos, gestión de residuos
- Público involucrado.

Anexo 9 – Proceso de Autorización

Figura 23:
Diagrama de flujo
de un proceso de
autorización.



Anexo 10 – Información sobre quemas de prueba

En algunos reglamentos y convenciones se exigen quemas de prueba para verificar la *eficiencia de destrucción y eliminación* (DRE por sus siglas en inglés) o la *eficiencia de destrucción* (DE por sus siglas en inglés) de ciertos compuestos orgánicos peligrosos principales (POHC por sus siglas en inglés) en un horno de cemento.

La DRE se calcula sobre la base de la masa del contenido de POHC alimentado al horno, menos la masa del contenido de POHC restante en las emisiones de la chimenea, dividida por la masa del contenido de POHC dentro de la alimentación. La DRE considera sólo las emisiones al aire. La DE considera todos los flujos de salida (líquidos y sólidos) además de las emisiones atmosféricas y es la forma más completa de verificar el rendimiento.

Las quemas de prueba con AFR no peligrosos no son un requisito reglamentario, pero a veces se hacen para evaluar el comportamiento del proceso y la influencia en las principales emisiones gaseosas y la calidad del clínker de cemento cuando se alimenta el AFR al horno. Esos ensayos simplificados suelen ser realizados por ingenieros de proceso en la planta de cemento utilizando el equipo de monitoreo en línea ya instalado y los datos del proceso operacional. Sin embargo, las quemas de prueba con compuestos peligrosos requieren una supervisión profesional y una verificación independiente.

Los hornos de cemento que co-procesan residuos peligrosos en la UE no están obligados a realizar una quema de prueba, pero deben cumplir con los valores límite de emisión de la Directiva sobre Emisiones Industriales. En los EE.UU., los hornos de cemento que co-procesan residuos peligrosos deben realizar una quema de prueba para demostrar el rendimiento de la combustión en residuos peligrosos seleccionados para demostrar la DRE para los POHC en la corriente de residuos. La quema de prueba debe cumplir tres requisitos principales en cuanto al rendimiento de la combustión, mientras que la DRE es el más importante: los POHC deben ser destruidos y/o eliminados con una eficiencia del 99.99% o mejor; los residuos de POP deben alcanzar una DRE del 99.9999%. Los dos requisitos restantes se refieren a las emisiones de partículas y de cloruro de hidrógeno gaseoso.

No será posible establecer una eficiencia de destrucción y eliminación del 100% debido a las limitaciones de los instrumentos analíticos. Los Convenios de Estocolmo y Basilea exigen una prueba de para los hornos destinados a tratar los POP o los residuos de POP. Teniendo en cuenta las características inherentes a un horno de cemento –las altas temperaturas, los largos tiempos de residencia, el exceso de oxígeno, etc.– una prueba de quemado parece ser redundante. Sin embargo, una quema de prueba es en realidad la única manera de probar el rendimiento de destrucción de un horno y su capacidad para destruir residuos peligrosos de manera irreversible y adecuada. Sin embargo, el diseño y las condiciones de la prueba son cruciales. Los datos anteriores que indicaban resultados de DRE del horno de cemento por debajo del 99.99% procedían de fuentes anticuadas o de pruebas mal diseñadas, o de ambas.

En los primeros años de desarrollo de esta tecnología y de las técnicas de muestreo y análisis para evaluar su comportamiento ambiental, hubo varios casos en los que se seleccionaron POHC que no cumplían los criterios necesarios. Por ejemplo, un problema importante de muchas de las primeras pruebas fue que los POHC seleccionados para la evaluación de DRE eran compuestos orgánicos que normalmente también se encuentran a niveles traza en las emisiones de las chimeneas de los hornos de cemento que queman combustible fósil tradicional. Si bien estos productos de combustión incompleta (PIC por sus siglas en inglés) se emitían a niveles muy bajos, interferían sin embargo en gran medida en la medición de la destrucción de los POHC, es decir, la DRE no podía medirse adecuadamente si los POHC utilizados en los ensayos eran químicamente iguales o estaban estrechamente relacionados con el tipo de PIC que se emitían habitualmente de las materias primas. En algunos casos, los factores operativos durante las pruebas o el muestreo y las técnicas analíticas contribuyeron a que los resultados de la DRE fueran bajos.

Sin embargo, el proceso de autorización de quemas de prueba en los Estados Unidos, originalmente diseñado para determinar la eficacia con que un incinerador puede funcionar en los “peores casos” especificables, se considera innecesariamente complejo y costoso, y ha desalentado a los propietarios de plantas de cemento a adoptar el concepto de quemas de prueba. Un enfoque alternativo proporcionará en la mayoría de los casos la misma información

cualitativa: una quema de prueba “de una sola vez” en la que se investiga el rendimiento de la destrucción cuando se alimenta un desecho peligroso adecuado, combinada con un estudio de referencia en el que se miden las emisiones “en blanco” cuando no se introduce ningún desecho peligroso, ambas pruebas realizadas en condiciones normales de funcionamiento del proceso. Una planta de cemento funciona de manera continua, es decir, por lo general más de 330 días al año, y ese plan de pruebas, junto con un estudio de viabilidad y una evaluación del impacto ambiental, proporcionará información suficiente sobre el rendimiento del horno de cemento en cuestión. Las siguientes condiciones deben cumplirse en la prueba de quema de “una sola vez”:

- La eficiencia de destrucción y eliminación del compuesto peligroso debe ser de al menos el 99.99%. Los compuestos aromáticos clorados deben elegirse como compuesto de prueba, si se dispone de ellos, porque en general son difíciles de destruir. Para POP, debería alcanzarse una DRE of 99.9999% .
- El horno de cemento debería cumplir con un límite de emisiones de PCDD/PCDF de 0.1 ng de EQT/Nm³ tanto en condiciones de línea de referencia como de quema de prueba.
- El horno de cemento debe cumplir con los valores límite de emisión nacionales existentes.

Tal enfoque de verificación del rendimiento, junto con las disposiciones de seguridad adecuadas, control de los insumos y procedimientos operativos, asegurará el mismo nivel de protección ambiental que la actual reglamentación de la Unión Europea y los Estados Unidos.

Anexo 11 – Estructura de un plan de gestión de residuos

Tabla 21
Elementos de un plan de gestión de residuos en la Unión Europea.¹⁹

Antecedentes	
1	Situación o problema general de los residuos en un territorio
2	Legislación marco regional (por ejemplo, de la UE)
3	Legislación nacional
4	Descripción de la política nacional de residuos y de los principios vigentes para abordar el Punto 1 anterior, de acuerdo con la jerarquía de residuos
5	Descripción de los objetivos establecidos en áreas específicas
6	Aportes del proceso de consulta
Descripción de los objetivos establecidos en áreas específicas	
1	Cantidades de residuos, por ejemplo: a) corrientes de residuos b) fuentes de residuos c) opciones de gestión de residuos
2	Opciones de recolección y tratamiento de residuos para lo anterior
3	Transporte de residuos
4	Organización y financiamiento
5	Evaluación de los objetivos anteriores
Planeación	
1	Supuestos para la planificación
2	Pronósticos en términos de generación de residuos, total y por corriente de residuos
3	Determinación de los objetivos para los pronósticos de: a) corrientes de residuos b) fuentes de residuos c) opciones de gestión de residuos
4	Plan de acción, incluidas las medidas para alcanzar los objetivos: a) sistemas de recolección b) instalaciones de gestión de residuos c) responsabilidades d) economía y financiamiento

¹⁹ European Commission Directorate-General Environment, 2012, Preparing a Waste Management Plan, A methodological guidance note http://ec.europa.eu/environment/waste/plans/pdf/2012_guidance_note.pdf

Anexo 12 – Preguntas clave para la evaluación de la línea de base centrada en la inclusividad

- ¿Qué es lo que funciona y lo que no funciona en la comunidad anfitriona del productor de cemento, en cuanto a la gestión de los residuos?
- ¿A cuál de los problemas clave el pre- y co-procesamiento proporcionan potencialmente una solución? ¿Sienten los propietarios de esos problemas que el pre- y co-procesamiento es de hecho una estrategia útil para resolverlos?
- ¿Qué cantidades y tipos de materiales no están siendo capturados por el sistema de residuos sólidos o las cadenas de valor en el momento de la línea base, y hacia dónde se dirigen? ¿Cuáles son los inconvenientes y beneficios de esta falta de cobertura del sistema de residuos sólidos?
- ¿Qué entidades han colocado estos productos (por ejemplo, los materiales de embalaje) en el mercado?
- ¿Por qué se escapan estos materiales del sistema de residuos sólidos?
- ¿Cuánto de esta corriente de materiales está terminando en el medio ambiente marino a corto, medio y largo plazo? ¿Se quedan en su país de origen o emigran a otras jurisdicciones?
- ¿En qué medida los materiales que serían adecuados para su pre-procesamiento como AFR para su co-procesamiento en un horno de cemento, ya están siendo valorizados o demandados por los actores públicos o privados de las cadenas de valor?
- ¿Quién se encarga de limpiar estos materiales y de retirarlos del medio marino, y quién corre con los gastos, en la medida en que se retiren? ¿En qué medida y en qué condiciones la disponibilidad de opciones de co-procesamiento ampliaría la capacidad de todo el sistema de gestión de residuos para impedir el movimiento de corrientes y fracciones de residuos al medio marino?
- ¿Existe ya una infraestructura de clasificación o procesamiento presente en la jurisdicción, que podría desplegarse para pre-procesar los residuos y producir AFR?
- ¿Cuáles son los riesgos y beneficios para el productor de cemento de tener acceso a AFR procesados para co-procesamiento en el horno de cemento, y ¿pueden estos riesgos y beneficios ser cuantificados y monetizados?
- ¿Cuáles son los riesgos y beneficios para el sistema de residuos sólidos y sus instituciones anfitrionas de tener acceso a co-procesamiento de fracciones específicas en el horno de cemento, y ¿pueden estos riesgos y beneficios ser cuantificados y monetizados?
- ¿Cuáles son los riesgos y beneficios para las empresas privadas de la cadena de valor del reciclado y sus proveedores medianos, pequeños, semiformales e informales del co-procesamiento de fracciones específicas en el horno de cemento, y pueden cuantificarse y monetizarse esos riesgos y beneficios?
- ¿Quién debe pagar a quién por el co-procesamiento o la provisión de AFR, y cómo cambia esto debido a las circunstancias económicas, la comerciabilidad de ciertas fracciones a las cadenas de valor, las obligaciones de los productores de gestionar el fin del ciclo de vida de sus productos y los empaques, o el futuro desarrollo de instalaciones formales de eliminación como los rellenos sanitarios o los incineradores de quema masiva de WtE?

Anexo 13 – Plantilla para el archivo de datos maestros de residuos de uso común

PERFIL DE AFR/RESIDUOS									
Designación					Industria de Origen				
Codificación de Residuos (nacional)				Codificación de acuerdo a Holcim					
Potencial (y/o) <input type="checkbox"/> AR <input checked="" type="checkbox"/> AF				Fecha					
Fuente					Usuario				
Generador de Residuos <input type="radio"/> plataforma <input type="radio"/>		planta <input type="radio"/>			plataforma <input type="radio"/>				
Compañía					Compañía				
Dirección					Dirección				
Contacto					Contacto				
Teléfono					Teléfono				
Fax					Fax				
E-mail					E-mail				
Proceso de generación de AFR /Residuos									
Principales constituyentes		Chemical formula		Mínimo		Promedio		Máximo	
				%		%		%	
				%		%		%	
				%		%		%	
				%		%		%	
				%		%		%	
Disponibilidad de AFR / Residuos									
Del proceso <input type="radio"/>		t/ año		Duración esperada					
Cap. almacenaje		lugar		<input type="radio"/> > 1 año		<input type="radio"/> < 1 año		<input type="radio"/>	
Del inventario <input type="radio"/>		Invent.		t cost/t					
Entrega de AFR/Residuos									
Tiempo de las entregas				Transporte					
Continuo a lo largo del año <input type="radio"/>		Tren <input type="radio"/>		Tambor <input type="radio"/>		Súper Sacos <input type="radio"/>			
Irregular/estacional <input type="radio"/>		Pipa <input type="radio"/>		IBC <input type="radio"/>		Camión a granel <input type="radio"/>			
Propiedades Microscópicas									
solido <input type="radio"/>		Tamaño máx. partícula/mm			Generación de polvo		alta <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		baja
		>100 <input type="radio"/>		10-1 <input type="radio"/>		Pegajosidad frecuente		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	
		100-10 <input type="radio"/>		< 1 <input type="radio"/>		Fluidez alta		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	
		homogéneo <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		Pegajosidad alta		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		baja	
lodo <input type="radio"/>		homogéneo <input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		Pegajosidad alta		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		baja	
				Cuerpos extraños frecuente		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		ninguna	
liquido <input type="radio"/>		acuoso <input type="radio"/>		orgánico <input type="radio"/>		Viscosidad alta		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>	
		Fases diferidas <input type="radio"/>		Partículas muchas		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		ninguna	
				Sedimentación fuerte		<input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		débil	
Otras características									
Color		oscuro <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		claro <input type="radio"/>		Olor fuerte <input type="radio"/> <input type="radio"/> <input type="radio"/>		no <input type="radio"/>	
Residuos prohibidos - no permitidos según la política de AFR									
No para ser procesado					No para ser co-procesados				
Residuos radioactivos		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		Fracción electrónica de residuos eléctricos y electrónicos (e-waste)		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no			
Residuos que contienen asbestos		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		Baterías enteras como flujo de material dirigido		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no			
Explosivos y municiones/armas		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no		Residuos de composición desconocida o impredecible, incluidos los residuos municipales no clasificados		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no			
Residuos médicos anatómicos		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no				<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no			
		<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no				<input type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no			

PERFIL DE AFR/RESIDUOS

PROPIEDADES
FISICOQUÍMICAS

2 de 4

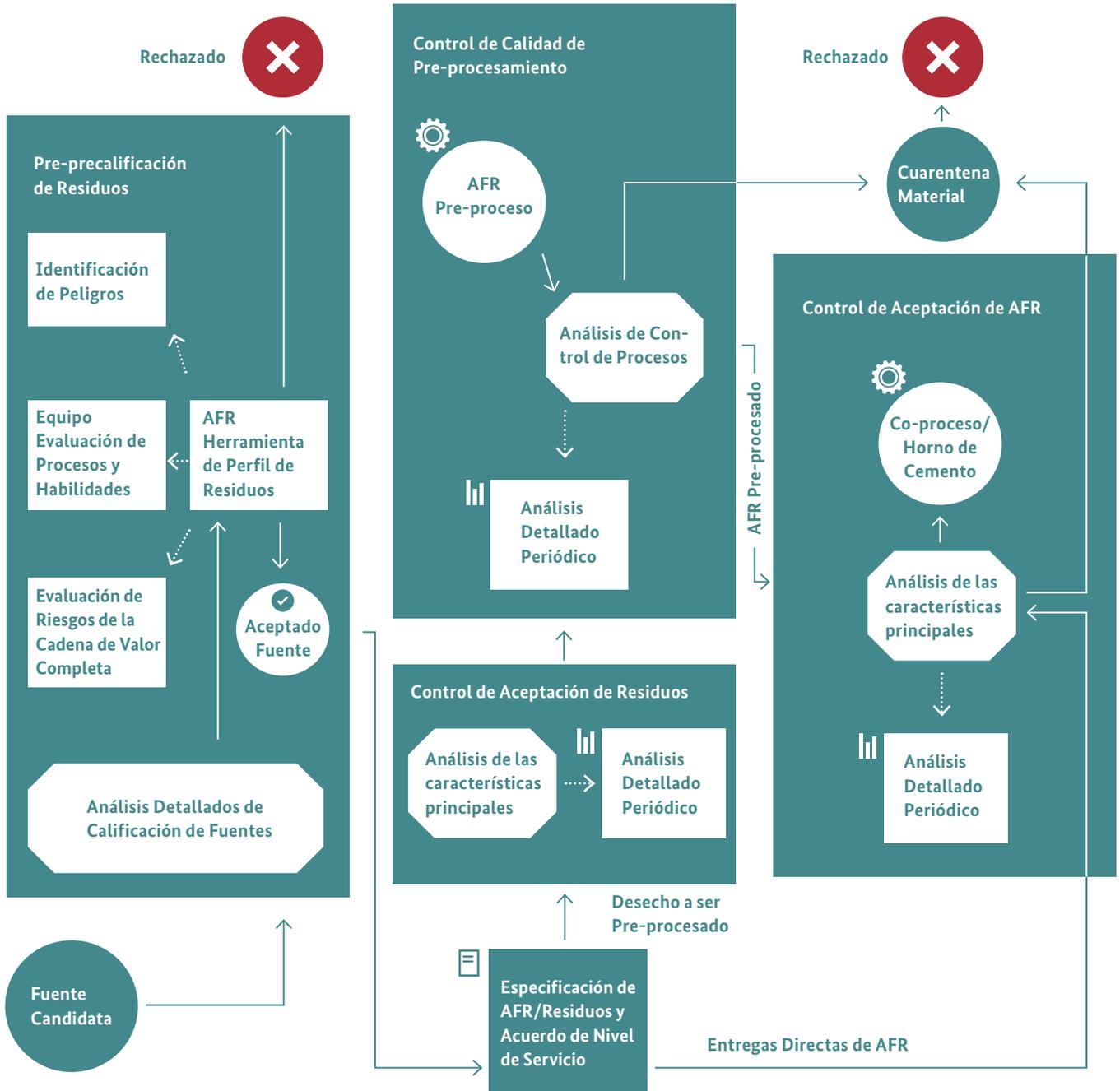
Designación	0			Industria de Origen	0			
Laboratorio de análisis				Fuente de información				
Compañía				Fecha	00.01.00			
Dirección				Información de la muestra				
				Muestra de un lugar	<input type="radio"/>	Muestra compuesta	<input type="radio"/>	
Contacto				Tomada por				
Teléfono		Fax		Comentarios				
E-mail								
Propiedades fisicoquímicas								
		Mín.	Promedio	Máx.		Mín.	Promedio	Máx.
Contenido de H ₂ O como entregado %					Punto de ebullición °C			
Viscosidad					Punto de fusión °C			
Densidad kg/m ³					Residuos en ...mm %			
Densidad granel kg/m ³					Residuos en ...mm %			
pH					Residuos en ...mm %			
Compuestos solubles en agua								
Propiedades orgánicas								
Preparación de la muestra	secada al aire	<input type="radio"/>	secada	<input type="radio"/>	otro	<input type="radio"/>		
	Muestra promedio		Estimado Mín.	Máx.		Muestra promedio	Estimado Mín.	Máx.
Contenido de cenizas %					S %			
Contenido de volátiles %					C %			
CV bruto MJ/kg					H %			
CV neto MJ/kg					PCB ppm			
Punto de ignición °C					PCT ppm			
TOC %					Fenoles ppm			
Propiedades inorgánicas								
Preparación de la muestra	secada al aire	<input type="radio"/>	secada	<input type="radio"/>	otro	<input type="radio"/>		
Componentes minerales	Mín.	Promedio	Máx.			Mín.	Promedio	Máx.
Cuarzo %				Otro				
Óxidos principales	L. o. i. %				Elementos traza	Cd ppm		
	SiO ₂ %					Hg ppm		
	Al ₂ O ₃ %					Tl ppm		
	Fe ₂ O ₃ %					As ppm		
	CaO %					Ni ppm		
	MgO %					Co ppm		
	SO ₃ %					Se ppm		
	K ₂ O %					Te ppm		
	Na ₂ O %					Cu ppm		
	TiO ₂ %					Pb ppm		
	Mn ₂ O ₃ %					Sb ppm		
	P ₂ O ₅ %					Sn ppm		
Halógenos, otros	F %				V ppm			
	Cl %				Be ppm			
	Br %				Ba ppm			
	I %				Mn ppm			
	CN %				Zn ppm			
	NH ₃ %				Cr ppm			

PERFIL DE AFR/RESIDUOS				SALUD Y SEGURIDAD	
3 de 4					
Designación	0		Industria de Origen	0	
Hoja de Datos de Seguridad del Material					
Disponibles	<input type="checkbox"/>		No disponibles	<input type="checkbox"/>	
Identificación de peligros					
Inflamable	<input type="checkbox"/>	Irritante	<input type="checkbox"/>	Por contacto con ojos	<input type="checkbox"/>
Corrosivo	<input type="checkbox"/>	Dañino	<input type="checkbox"/>	Por contacto con la piel	<input type="checkbox"/>
Reactivo	<input type="checkbox"/>	Tóxico	<input type="checkbox"/>	Por inhalación	<input type="checkbox"/>
Respirable	<input type="checkbox"/>	Carcinógeno	<input type="checkbox"/>	Por ingesta	<input type="checkbox"/>
Riesgo de reacciones peligrosas					
con ↓ \ a →	Vapor tóxico	Ignición	Explosión	Polimerización	Solidificación
Alta temperatura	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Alta presión	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Agua	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Ácidos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Bases	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Oxidantes	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Reductores	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Otros	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Comentarios					
Protección Personal					
Ropa resistente a los ácidos	<input type="checkbox"/>	Casco de Seguridad	<input type="checkbox"/>	Guantes de Seguridad	<input type="checkbox"/>
Máscara de protección completa	<input type="checkbox"/>	Lentes de Seguridad	<input type="checkbox"/>	Máscara de semi-protección	<input type="checkbox"/>
Primeros Auxilios					
Medidas apropiadas					
Medidas inapropiadas					
Instrucción sobre fuego					
Medidas apropiadas					
Medidas inapropiadas					
Riesgos específicos/Instrucciones					
Instrucciones para derrames					
Procedimientos de limpieza					
Procedimiento de recuperación					
Procedimientos de eliminación					
Contacto en caso de urgencia					
Transporte					
Código de peligro		Código de Transporte		Código del desperdicio	
Comentarios					

PERFIL DE AFR/RESIDUOS						4 de 4	MANEJO Y APLICACIÓN EN PLANTA	
Designación	0		Industria de Origen	0				
Clasificación (ver ATR)			HARP-Código (ver ATR)					
Cantidad real consumida	t/año		t/h (promedio)		t/h (máx.)			
Pretratamiento								
secado	<input type="checkbox"/>	molido	<input type="checkbox"/>	tamizado	<input type="checkbox"/>	trituration	<input type="checkbox"/>	
mezclado	<input type="checkbox"/>	otro:						
Comentarios								
Almacenamiento								
Almacenaje abierto	<input type="checkbox"/>	Almacenaje cubierto	<input type="checkbox"/>	Piso sellado	<input type="checkbox"/>	Piso no sellado	<input type="checkbox"/>	
Búnker	<input type="checkbox"/>	Silo	<input type="checkbox"/>	Tanque	<input type="checkbox"/>	PH	<input type="checkbox"/>	
Tambores	<input type="checkbox"/>	Súper saco	<input type="checkbox"/>	IBC	<input type="checkbox"/>	Cont. Piso móvil	<input type="checkbox"/>	
otro				Capacidad almacén:				
Comentarios								
Extracción de almacenamiento								
Cargador frontal	<input type="checkbox"/>	Alimentador de fondo vivo	<input type="checkbox"/>	Aeración	<input type="checkbox"/>	Activación de salida mecánica	<input type="checkbox"/>	
Grúa	<input type="checkbox"/>	Recuperador	<input type="checkbox"/>	otro:				
Comentarios								
Transporte del almacenamiento al proceso								
Cargador frontal	<input type="checkbox"/>	Grúa	<input type="checkbox"/>	Transportador de cadena	<input type="checkbox"/>	Elevador de cangilones	<input type="checkbox"/>	
Hidráulica	<input type="checkbox"/>	Tipo de bomba:		Transportador de tornillo	<input type="checkbox"/>	Transportador de banda	<input type="checkbox"/>	
Neumática	<input type="checkbox"/>			otro:				
Comentarios								
Dosificación								
gravimétrica	<input type="checkbox"/>			volumétrica	<input type="checkbox"/>			
Báscula de banda	<input type="checkbox"/>	Medidor de flujo por impacto	<input type="checkbox"/>	Válvula giratoria	<input type="checkbox"/>	Alimentador de banda	<input type="checkbox"/>	
Alimentador por pérdida de peso	<input type="checkbox"/>	Medidor de flujo Coriolis	<input type="checkbox"/>	Bomba de desplazamiento positivo	<input type="checkbox"/>	Alimentador de tornillo	<input type="checkbox"/>	
Alimentador de peso por rotor	<input type="checkbox"/>	otro:						
Comentarios								
Alimentación al proceso								
Triturador de materia prima	<input type="checkbox"/>	Molino de crudo	<input type="checkbox"/>	Precalentador	<input type="checkbox"/>	Entrada del horno	<input type="checkbox"/>	
Cama de premezclado	<input type="checkbox"/>	Molino de lodo	<input type="checkbox"/>	Rejilla Lepol	<input type="checkbox"/>	Medio horno	<input type="checkbox"/>	
Estanque de lodos	<input type="checkbox"/>	Molino de carbón	<input type="checkbox"/>	Calcínador	<input type="checkbox"/>	Junto a la flama principal	<input type="checkbox"/>	
otro:							Quemador principal	<input type="checkbox"/>
Comentarios								
Control de Calidad								
Comentarios								
Factores limitantes para el uso								
Disponibilidad en el mercado	<input type="checkbox"/>	Problemas de manejo	<input type="checkbox"/>	Capacidad de alimentación	<input type="checkbox"/>	Costo	<input type="checkbox"/>	
Oxidos principales	<input type="checkbox"/>	Cloruros	<input type="checkbox"/>	Oligoelementos.	<input type="checkbox"/>	Toxicidad	<input type="checkbox"/>	
Contenido de agua	<input type="checkbox"/>	Permisos	<input type="checkbox"/>	otro:				

Anexo 14 – Esquema de control de calidad AFR

Figura 24:
Esquema de control de calidad del AFR.



Anexo 15 – Análisis de la Situación – cómo hacerlo

Los siguientes instrumentos de investigación son ejemplos de cómo hacer un análisis de la situación. Lo mejor será elegir herramientas de investigación que se ajusten a sus necesidades y a las de sus interesados:

- **Tocar a la puerta** – probablemente la forma menos formal y más efectiva de generar espíritu comunitario sobre su empresa en el vecindario.
- **Entrevistas** – las entrevistas uno-a-uno le proporcionan información concentrada sobre un tema en particular y la oportunidad de indagar más sobre puntos específicos según sea necesario.
- **Cuestionarios** – estos incluyen encuestas en persona, por teléfono o por correo. La selección aleatoria de los encuestados es clave para obtener resultados objetivos de la encuesta.
- **Evaluación de las necesidades** – la realización de una evaluación de las necesidades con un pequeño grupo de enfoque de las partes interesadas es un método formal para obtener información valiosa sobre las necesidades y expectativas de los interesados. Los grupos de enfoque pueden ser internos o externos. Se recomiendan los cuatro pasos siguientes para realizar una evaluación de las necesidades.
- **Monitoreo de los medios de comunicación** – esta técnica se utiliza para medir la reputación de la empresa. Esto incluye el análisis de las historias positivas, negativas o neutras en los medios, el número de menciones, la duración de las historias, el contenido y el enfoque, etc. Luego puede entrevistar a periodistas seleccionados para obtener información más detallada.

Paso I: Identificar los usuarios y usos de la evaluación de necesidades

- Identificar a las personas que actuarán en la evaluación.
- Identificar el uso de la evaluación, por ejemplo, proporcionar una base para el plan estratégico.



Paso II: Describir el contexto

- ¿Cuál es el entorno físico y social de sus actividades?
- ¿Cuándo empezó, o está apenas empezando?
- ¿Se trata de una evaluación inicial o está tratando de verificar la idoneidad de sus actividades?



Paso III: Identificar las necesidades

- Describir las circunstancias/problemas de las partes interesadas.
- Sugerir posibles soluciones a sus necesidades y analizar la probable eficacia, viabilidad y sostenibilidad.



Paso IV: Satisfacer las necesidades y comunicar los resultados

- Recomendar acciones basadas en las necesidades, problemas y soluciones identificadas.
- Comunicar los resultados de la evaluación a sus interesados.

Anexo 16 – Enfoques de la integración del sector informal

La formulación de medidas para integrar el sector del reciclaje informal debería seguir un enfoque holístico basado en el beneficio y la confianza mutuos, y se dirige principalmente a los encargados de tomar las decisiones a nivel municipal y a los operadores de pre-procesamiento.

- Las asociaciones mundiales y las medidas nacionales y locales deberían tener en cuenta las experiencias existentes y elaborar enfoques adaptados a nivel local. Las normas para los sistemas de manejo de residuos a nivel nacional, local y de distrito deberían contener disposiciones para la inclusión del sector informal.
- Diseñar planes de gestión de residuos y estudios de viabilidad que permitan la integración del sector no estructurado.
- Habilitar reuniones y procesos que hagan visibles el papel y las contribuciones del sector informal a la gestión de los residuos.
- Investigar y hacer un seguimiento del rendimiento y el impacto de los sectores informales de valorización y servicios existentes.
- Si no está roto, no lo arregles: mejor construir sobre lo que funciona, que abandonarlo o destruirlo a favor de algo desconocido que podría o no funcionar.
- Arregla lo que no funciona: No todos los aspectos del sector informal son positivos, y los problemas deben ser reconocidos y enfrentados.
- Permitir el acceso a los residuos: es una cuestión fundamental y conlleva derechos legales para recoger y reciclar y el papel físico del sector de reciclaje informal (IRS por sus siglas en inglés), como la prestación de servicios de recolección primaria o la clasificación secundaria en centros de recuperación de materiales.
- Considerar una regulación e integración ligeras: Crear una cartera de medidas de formalización de bajo umbral, que combine la reglamentación con la facilitación de mejoras.
- Apoyar la autoorganización del IRS: la transición del trabajo autónomo al trabajo en grupo es siempre un desafío importante, y puede venir con resistencia hacia la organización colectiva, pero tener socios de contacto fiables en alguna forma de estructura organizativa es esencial para participar en sociedades comerciales formalizadas.
- Prestar apoyo para el fomento de la capacidad de las organizaciones del IRS, por ejemplo: capacitación en técnicas de clasificación, procesamiento y reciclado y servicios de valor añadido; elaboración de estrategias empresariales viables y sostenibles; mejora de las habilidades administrativas (gestión empresarial, contabilidad, comercialización, aptitudes de negociación); mantenimiento de la ética laboral y el trabajo como organización/equipo.
- Construir estructuras que vinculen lo formal y lo informal a lo largo de la cadena de valor: Es esencial que las autoridades locales creen relaciones estructurales entre el sistema de residuos sólidos y el sector de valorización formal e informal.
- Promover la participación de empresas e industrias generadoras de residuos: Alentar a las empresas a que inviertan en las empresas sociales de los recicladores y los trabajadores informales de la industria de los residuos, proporcionando recursos financieros así como apoyo no financiero.
- Las tecnologías asequibles son las más prácticas y sostenibles – Por lo tanto, es esencial moderar las ambiciones técnicas de nuevas tecnologías de eliminación y procesamiento, para mantenerlas asequibles a corto y medio plazo.
- Proporcionar medidas de salud y seguridad en el trabajo, tales como ropa de protección y disponibilidad de servicios de atención para la salud. Podría considerarse la posibilidad de adoptar medidas especiales en las estaciones de pre-procesamiento: la prestación de un seguro médico básico, la capacitación y los pagos digitales pueden ser incentivos útiles para interesar a los trabajadores del sector informal en una cooperación a largo plazo.

Abreviaturas

Abreviaturas generales provenientes de siglas en inglés

AF	Alternative Fuels (Combustibles Alternativos)
AFR	Alternative Fuels and Raw Materials (Combustibles Alternativos y Materias Primas)
AR	Alternative Raw Materials (Materias Primas Alternativas)
ASR	Automotive Shredder Residues (Residuos de Trituradoras de Automóviles)
BAT	Best Available Technology (Mejor Tecnología Disponible)
BPD	Bypass Dust (Polvo Desviado)
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo)
BREFs	Best Available Techniques Reference Document (Documentos de Referencia sobre las Mejores Técnicas Disponibles)
CAPEX	Capital Expenditures (Gastos de Capital)
CeMAP	Cement Manufacturers Association (Asociación de Fabricantes de Cemento)
CIS	Commonwealth of Independent States (Comunidad de Estados Independientes: Armenia, Azerbaiyán, Bielorrusia, Kazajstán, Kirguistán, Moldavia, Rusia, Tayikistán, Turkmenistán [miembro asociado], Ucrania y Uzbekistán)
CKD	Cement Kiln Dust (Polvo de Horno de Cemento)
COD	Chemical Oxygen Demand (Demanda de Oxígeno Químico)
CSI	Cement Sustainability Initiative (Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento)
DENR	Department of Environment and Natural Resources (Departamento de Medio Ambiente y Recursos Naturales)
DOST	Department of Science and Technology (Departamento de Ciencia y Tecnología)
DRE	Destruction and Removal Efficiency (Eficiencia de Destrucción y Eliminación)
EIA	Environmental Impact Assessments (Evaluaciones de Impactos Ambientales)
EMS	Environmental Management System (Sistema de Gestión Ambiental)
ESIA	Environmental and Social Impact Assessment (Evaluación del Impacto Ambiental y Social)
E-PRTR	European Pollutant Release and Transfer Register (Registro Europeo de Emisiones y Transferencias de Contaminantes)
EU-ETS	EU Emission Trading Scheme (Régimen de Comercio de Derechos de Emisión de la UE)
FAQ	Frequently Asked Questions (Preguntas Frecuentes)
FHNW	Fachhochschule Nordwestschweiz (Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes del Noroeste de Suiza)
GHG	Greenhouse Gas (Gases de Efecto Invernadero)
GIZ	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit
GWMO	Global Waste Management Outlook (Perspectivas de la Gestión Mundial de Residuos)
GTZ	Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
H&S	Health & Safety (Salud Y Seguridad)
IEA	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
IED	Industrial Emissions Directive (Directiva de Emisiones Industriales)
IMPEL	Implementation and Enforcement of Environmental Law (Implementación y el Cumplimiento del Derecho Ambiental)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IRRC	Integrated Resource Recovery Centre (Centro Integrado de Recuperación de Recursos)
IRS	Informal Recycling Sector (Sector de Reciclaje Informal)
ITDI	Industrial Technology Development Institute (Instituto de Desarrollo de Tecnología Industrial)
LCA	Life-Cycle Analysis (Análisis del Ciclo de Vida)
MBT	Mechanical Biological Treatment (Tratamiento Biológico Mecánico)
MFA	Material Flow Analysis (Análisis del Flujo de Materiales)
MIC	Mineral Components (Componentes Minerales)
MSW	Municipal Solid Waste (Residuos Sólidos Municipales)
NAMA	Nationally Appropriate Mitigation Action (Acción de Mitigación Nacionalmente Apropriada)
NESHAP	National Emission Standard for Hazardous Air Pollutants (Normas Nacionales de Emisión para Contaminantes Atmosféricos Peligrosos)
NGO	Non-Governmental Organization (Organización No Gubernamental)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible

OELs	Occupational Exposure Limits (Límites de Exposición Ocupacional)
OPEX	Operation and Maintenance Costs (Costos de Operación y Mantenimiento)
POP	Persistent Organic Pollutants (Contaminantes Orgánicos Persistentes)
PPE	Personal Protective Equipment (Equipo de Protección Personal)
PRTR	Pollutants Release and Transfer Register (Registro de Emisiones y Transferencias de Contaminantes)
PTE	Potentially Toxic Elements (Elementos Potencialmente Tóxicos)
RDF	Refuse Derived Fuel (Combustible Derivado de Residuos)
SRF	Solid Recovered Fuel (Combustible Recuperado Sólido)
SWM	Solid Waste Management (Gestión de Residuos Sólidos)
TEQ	Toxicity Equivalent Quotient (Cociente de Toxicidad Equivalente)
TOC	Total Organic Compound (Compuesto Orgánico Total)
TRI	Toxics Release Inventory (Inventario de Liberación de Tóxicos)
WtE	Waste to Energy (De Residuos a Energía)
WEEE	Waste Electrical and Electronic Equipment (Residuos de Equipos Eléctricos y Electrónicos)

Abreviaturas químicas

Al	Aluminio
Al₂O₃	Óxido de Aluminio
Ag	Plata
Ag₂O	Óxido de Plata
AHC	Hidrocarburo alifático
As	Arsénico
Br	Bromo
BTEX	Benceno, tolueno, etil benceno, o-xileno, m-xileno, p-xileno
Ca	Calcio
CaO	Óxido de calcio
CaCO₃	Carbonato de calcio
Cd	Cadmio
CH₄	Metano
CHC	Hidrocarburos clorados volátiles
Cl	Cloro
Co	Cobalto
CO	Monóxido de Carbono
CO₂	Dióxido de carbono
Cr	Cromo
Cu	Cobre
Fe₂O₃	Óxido de hierro
H₂S	Sulfuro de hidrógeno
HCB	Hexaclorobenceno
HCl	Cloruro de hidrógeno
HF	Fluoruro de hidrógeno
Hg	Mercurio
K₂O	Óxido de potasio
Na₂O	Óxido de sodio
Mn	Manganeso
MnO	Óxido de manganeso
NH₃	Amoniaco
Ni	Níquel
NO_x	Óxido de nitrógeno
O₂	Oxígeno
P	Fósforo
PAH	Hidrocarburo Aromático Policíclico
PCB	Bifenilos policlorados

PCDF	Dibenzofurano policlorado
PCDD	Dibenzodioxina policlorada
Pb	Plomo
Sb	Antimonio
SiO₂	Dióxido de silicio
SO₂	Dióxido de azufre
SO₃²⁻	Sulfitos
SO_x	Óxidos de azufre
Tl	Talio
TCM	Tetraclorometano
TCE	Tricloroetileno
TCDD	2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina
TiO₂	Óxido de titanio
TOC	Carbono orgánico total
V	Vanadio
VOC	Compuesto orgánico volátil
Zn	Zinc

Unidades

Gt	Giga tonelada, 1,000,000,000 toneladas
KJ/GJ	Kilo joule, Giga joule
Mt	Megatonelada, 1,000,000 toneladas
t	tonelada métrica. A lo largo de este documento, “toneladas” se refiere a toneladas métricas (1000 kg).

Glosario

Combustibles alternativos y materias primas (AFR)

Insumos para la producción de clínker derivados de corrientes de residuos que aportan energía y materia prima.

ATEX

Directiva europea sobre equipos y sistemas de protección para uso en atmósferas potencialmente explosivas.

Desarrollo de la Capacidad

El desarrollo de la capacidad es el proceso de fortalecimiento de la capacidad de las personas, organizaciones, empresas y sociedades para hacer un uso efectivo y eficiente de los recursos. En el contexto de estas Directrices, el desarrollo de la capacidad comprende, en primer lugar, la transferencia de conocimientos, experiencia, aptitudes y valores. Incluye la mejora de los sistemas de gestión y la ampliación de las redes. La gestión del cambio y la mediación en situaciones de conflicto son partes esenciales del desarrollo institucional.

Gastos de Capital (CAPEX)

Las compras de CAPEX contienen la infraestructura, la maquinaria, los vehículos y las instalaciones necesarias para manejar los flujos de residuos.

Gastos de operación (OPEX)

Los gastos de operación y mantenimiento (OPEX) se derivan del funcionamiento de la infraestructura, la maquinaria, los vehículos y las instalaciones a una cierta capacidad. Incluyen salarios, facturas de electricidad, materiales auxiliares, combustible, mantenimiento, costos medioambientales, costos de salud y seguridad operativa, análisis de laboratorio para controlar la composición y calidad de los AFR, costos de seguros, impuestos y otros. Por razones de comparación, estos costos se expresan sobre una base anual o por tonelada teniendo en cuenta las capacidades, la tasa de utilización y el costo del capital, es decir, las tasas de interés.

Clínker

Un producto intermedio en la fabricación de cemento producido por descarbonización, sinterización y enfriamiento rápido de la piedra caliza molida.

Concreto

Un material producido por la mezcla de cemento, agua y agregados. El cemento actúa como aglutinante, y el contenido medio de cemento en el hormigón es de alrededor del 15 %.

Responsabilidad Social Empresarial (RSE)

El compromiso de las empresas de contribuir al desarrollo sostenible, trabajando con los empleados, sus familias, la comunidad local y la sociedad en general para mejorar su calidad de vida.

Polvo

Polvo de gas limpio total después de desempolvar el equipo. (En el caso de las chimeneas principales de los hornos de cemento, más del 95 % del polvo de gas limpio tiene calidad de PM10, es decir, es *materia particulada* (PM) menor de 10 micrones).

Ecoeficiencia

Reducción de la intensidad de recursos para producción, es decir, el aporte de materiales, recursos naturales y energía en comparación con la producción: esencialmente, hacer más con menos.

Residuos electrónicos

Se trata de residuos de equipos eléctricos y electrónicos, incluidos todos los componentes, subconjuntos y consumibles que forman parte del producto en el momento de su desecho (def. según la Directiva 2002/96/CE de la UE de enero de 2003).

Aplicación al final de la vida útil

Escombros de concreto que no se reutilizan sino que se eliminan en un vertedero (“fin de vida”).

Responsabilidad ampliada del productor (EPR por sus siglas en inglés)

Un enfoque de política ambiental por el que los productores asumen la responsabilidad financiera y/u organizativa de la recolección o recuperación de los productos usados, así como la clasificación y el tratamiento para su reciclaje.

Combustibles fósiles

Combustibles no renovables basados en el carbono que tradicionalmente se utilizan en la industria del cemento, incluidos el carbón y el petróleo.

Ecología industrial

Marco para mejorar la eficiencia de los sistemas industriales imitando aspectos de los ecosistemas naturales, incluida la transformación de los residuos en materiales de entrada; los residuos de una industria se convierten en el insumo de otra industria.

Horno

Horno industrial de gran tamaño para la producción de clínker utilizado en la fabricación de cemento. En este informe, "horno" siempre se refiere a un horno rotativo.

Lixiviación

La extracción, mediante un lixiviante (agua desmineralizada u otros) de componentes inorgánicos y/u orgánicos de un material sólido, en un lixiviado por uno o más mecanismos de transporte.

Lesión con tiempo perdido

Una lesión relacionada con el trabajo después de la cual la persona lesionada no puede trabajar por lo menos durante un turno completo o un día de trabajo completo.

Salud y Seguridad Ocupacional (OH&S)

Políticas y actividades para promover y asegurar la salud y la seguridad de todos los empleados, subcontratistas, terceros y visitantes.

Calidad

La calidad se define como el grado en que un conjunto de características inherentes cumple con los requisitos (def. según ISO 9000).

SEVESO – Directiva

Directiva europea sobre la reducción del riesgo de desastres tecnológicos.

Parte Interesada

Un grupo o un individuo que puede afectar o es afectado por una organización o sus actividades.

Diálogos con Partes Interesadas

La participación de los interesados en un proceso de consulta formal y/o informal para explorar las necesidades y percepciones específicas de las partes interesadas.

Desecho o Residuo

Cualquier sustancia u objeto que el poseedor descarte o tenga la intención o la obligación de descartar.

IMPRESIÓN

Publicado por

Deutsche Gesellschaft für
Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH
Friedrich-Ebert-Allee 36 + 40
53113 Bonn
Alemania
T +49 228 4460 – 0
E info@giz.de
I www.giz.de

En cooperación con

LafargeHolcim
Im Schachen
5113 Holderbank
Suiza
T +41 58 858 52 82
E groupsd@lafargeholcim.com
I www.lafargeholcim.com

Universidad de Ciencias Aplicadas y
Artes del Noroeste de Suiza

Escuela de Ciencias de la Vida
Instituto de Ecoemprendimiento
D. Mutz, D. Hengevoss
Hofackerstrasse 30
4132 Muttenz
Suiza
T +41 61 228 55 77
E info.lifesciences@fhnw.ch
I www.fhnw.ch

La parte pública está siendo financiada por:



Ministerio Federal de
Cooperación Económica
y Desarrollo

Autores

Michael Hinkel (LH), Steffen Blume y
Daniel Hinchliffe (ambos GIZ).
Dieter Mutz y Dirk Hengevoss
(ambos FHNW)

Diseño, gráficos y disposición

creative republic, Frankfurt/Alemania

Fotos

© Shutterstock
© 2020, Deutsche Gesellschaft für Internationale
Zusammenarbeit GmbH (GIZ), Eschborn, Alemania
© 2020, Holcim Technology Ltd, Zúrich, Suiza
© Universidad de Ciencias Aplicadas y Artes del
Noroeste de Suiza, Escuela de Ciencias de la Vida
Instituto de Ecoemprendimiento
© 2020, Andreas Lindau (geocycle): pagina 23

Impresión

Druckerei Lokay e.K., Reinheim /Alemania

Como en

Noviembre 2020

GIZ y LafargeHolcim desean expresar su sincera
gratitud a todos los expertos que contribuyeron a las
Directrices, ya sea como autores, como revisores o
proporcionando otras aportaciones valiosas. También
damos las gracias a BMZ por financiar la parte pública
del proyecto.

giz Deutsche Gesellschaft
für Internationale
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

LH
LafargeHolcim

geocycle

n|w University of Applied Sciences and Arts
Northwestern Switzerland