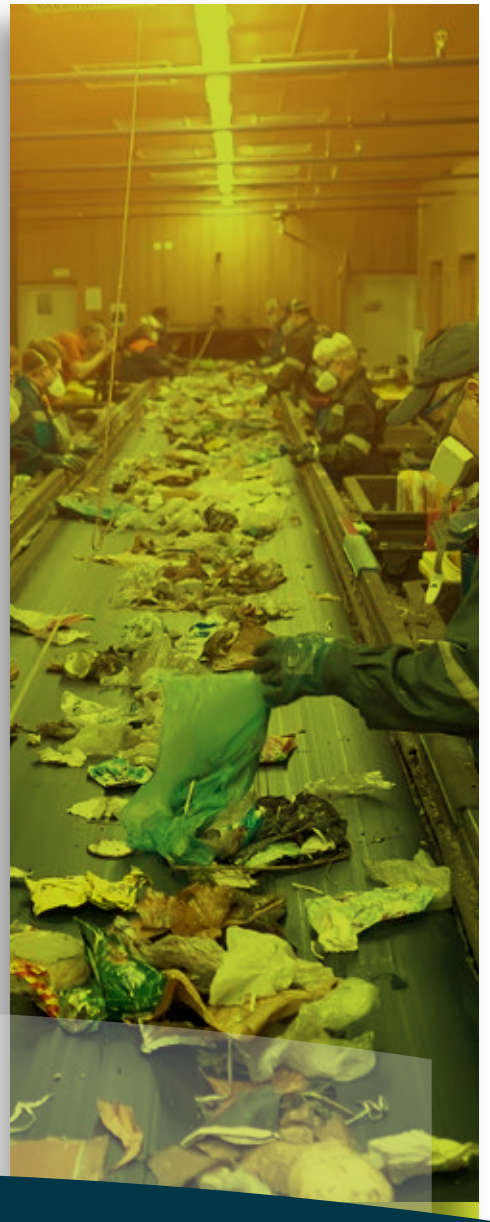




Potencial de **Valorización de Residuos** en la Industria del Cemento en América Latina y El Caribe al año 2030



FICEM
FEDERACIÓN INTERAMERICANA
DEL CEMENTO

Autor principal y Director del documento:

Carlos Pinilla Matamala

Investigador en OMNISCIENT Analítica Ambiental

Autora:

Francisca Mieres Soto

Socióloga (c)

Autor:

Patricio Flores Rivas

Abogado

Copyright © Abril 2021 Federación Interamericana del Cemento - FICEM. Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción total o parcial de esta obra, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio (electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otros) sin autorización previa y por escrito de los titulares del copyright. La infracción de dichos derechos puede constituir un delito contra la propiedad intelectual.

Limitación de responsabilidad

Este es un documento de trabajo y, por lo tanto, es resultado de una investigación en progreso. Este informe presenta las opiniones de los autores y es producto de una investigación profesional. No está destinado a representar la posición u opiniones de FICEM. Las proyecciones se han construido sobre la base de la información disponible, desde las fuentes señaladas, que en esta materia siempre pueden ser más precisas.

Capítulo 1

**DIAGNÓSTICO GLOBAL Y REGIONAL
DE LA GENERACIÓN DE RESIDUOS**

1.1 Definición y clasificación	9
1.1.1. Los residuos según su origen	10
1.1.2. Los residuos según su biodegradabilidad	12
1.1.3. Los residuos según su composición	12
1.1.4. Residuos según su peligrosidad	14
1.2 Gestión y eliminación de residuos	15
1.2.1. Prevención	17
1.2.2. Minimización	17
1.2.3. Reutilización	17
1.2.4. Reciclaje	18
1.2.5. Otras formas de recuperación (incluye valorización energética)	18
1.2.6. Rellenos sanitarios	23
1.2.7. Vertedero controlado	25
1.2.8. Basurales	27
1.2.9. Otras formas de eliminación	29
1.3 Residuos Sólidos Urbanos (RSU)	31
1.3.1. Generación de RSU	31
1.3.2. Composición de los RSU	40
1.3.3 Cobertura recolección RSU	42
1.3.4 Destinos RSU	45
1.3.5 Costos de gestión de RSU	48
1.4 Residuos sólidos industriales	50
1.4.1. Industria embalaje	52
1.4.2. Industria de envases	52
1.4.3. Industria del neumático	52
1.4.4. Industria reciclaje de aceites	52
1.4.5. Industria alimentaria	52
1.4.6. Industria forestal	52
1.4.7. Industria agropecuaria	53
1.4.8. Plantas de tratamiento	53
1.4.9. Minería	53
1.4.10. Industria petroquímica	53
1.4.11. Transporte	53
1.4.12. Industria hotelera	53
1.4.13. Industria farmacéutica	54
1.4.14. Industria del vestuario o textil	54
1.4.15. Industria química	54
1.4.16. Industria siderúrgica y fundiciones	54
1.4.17. Industria de la construcción	54
1.4.18. Industria termoeléctrica	55

Capítulo 2

IMPACTOS ASOCIADOS AL TRATAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS 56

2.1 Impactos asociados a la eliminación de residuos	57
2.1.1. Disposición en suelo	58
2.1.2. Disposición no controlada en cuerpos de agua: Basura marina	69
2.1.3. Incineración	73
2.2 Impactos asociados a la generación de residuos por eventos naturales y emergencias sanitarias	77
2.2.1. Impactos asociados a la generación de residuos por eventos naturales	77
2.2.2. Impactos asociados a la generación de residuos por contingencias sanitarias	80

Capítulo 3

LA VALORIZACIÓN DE RESIDUOS POR LA INDUSTRIA DEL CEMENTO 82

3.1 Antecedentes	84
3.2 Estrategia global de la industria del cemento	85
3.2.1. Directrices técnicas Convenio de Basilea	85
3.2.2. Technology Roadmap de CSI y cambio climático	86
3.2.3. Hoja de ruta FICEM hacia una economía baja en carbono 2017	88
3.2.4. Guías GCCA de sostenibilidad para coprocesar combustibles y materias primas en la fabricación de cemento	89
3.3 Estadísticas de Uso de Combustibles Alternativos	92
3.3.1. Combustibles alternativos con contenido fósil	97
3.3.2. Combustibles de biomasa	103
3.3.3. Poder calorífico de combustibles alternativos	109

Capítulo 4

MARCO REGULATORIO 110

4.1 Normativas Internacionales de referencia sobre residuos	112
4.1.1. Convenio de Basilea 1989	112
4.1.2. Directiva 1999/31/CE sobre Vertederos	113
4.1.3. Directiva Marco 2008/98/CE sobre residuos incluye la jerarquía de residuos y Ley REP	114
4.1.4. Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)	115
4.2 Legislación de residuos sólidos en América Latina y El Caribe	115
4.2.1. Tipos de Normativas que regulan los residuos	116
4.2.2. Ejemplos de normas en América Latina y El Caribe asociadas a combustibles alternativos por composición	118
4.2.3. Comparativo normas coprocesamiento en América Latina y El Caribe	123
4.2.4. Comparativo Normas Técnicas de Cemento en América Latina y El Caribe	125

Capítulo 5

POTENCIAL DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS AL AÑO 2030 127

5.1 Información disponible	128
5.1.1. Población	128
5.1.2. Plantas cementeras	131
5.1.3. Producción de cemento	134
5.1.4. Residuos	135
5.1.5. Área de influencia plantas cementeras	148
5.2 Estimaciones de potencial de valorización al año 2030	155
5.2.1. RSU	155
5.2.2. Neumáticos fuera de uso (NFU)	172
5.2.3. Cenizas de termoeléctricas	173

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

175

6.1 Conclusiones

176

6.2 Recomendaciones

178

Capítulo 7

REFERENCIAS

179

7.1 Capítulo 1

180

7.2 Capítulo 2

180

7.3 Capítulo 3

181

7.4 Capítulo 4

181

7.5 Capítulo 5

182

Capítulo 8

ANEXOS

183

8.1 Normativas asociadas a la gestión de residuos por país

184

8.1.1. Argentina

184

8.1.2. Brasil

186

8.1.3. Chile

187

8.1.4. Colombia

188

8.1.5. Costa Rica

189

8.1.6. Ecuador

191

8.1.7. Guatemala

192

8.1.8. Honduras

192

8.1.9. México

193

8.1.10. Perú

195

8.1.11. República Dominicana

196

8.1.12. El Salvador

197

PREFACIO

América Latina y El Caribe producían al año 2015 una cantidad de 541.000 toneladas/día de residuos sólidos urbanos y se espera que para el 2050, esta cantidad se eleve a 670.000 toneladas/día. Entre aquellos residuos que luego de la recolección van a dar a botaderos a cielo abierto y aquellos que no son recolectados, suman un 33% del total de residuos generados, lo que significa que casi 180.000 toneladas/día de residuos tienen un destino sin ningún tipo de control ambiental y sanitario.

La gestión de residuos es además, responsable del 5% de los gases de efecto invernadero GEI que se producen en la región, considerando principalmente la generación de CO₂ y metano por los procesos de descomposición, como por los consumos energéticos necesarios para su manejo y eliminación.

Por otra parte, la industria del cemento consume grandes cantidades de energía en sus hornos de clinkerización, para lo cual ha recurrido históricamente a combustibles fósiles. Estos combustibles fósiles son importantes generadores de gases de efecto invernadero, producto de su combustión, pero además con una importante carga en sus etapas de producción y transporte.

El presente documento describe una investigación sobre la problemática de los residuos en América Latina y El Caribe; sobre cómo la industria del cemento puede ser parte de la solución a este problema y cómo, en el mejor de los escenarios, esto podría implicar una reducción neta de emisiones de gases de efecto invernadero. Se abordan aquellas formas en que la industria del cemento es una solución al problema de los residuos, haciendo uso de ellos como materias primas alternativas o como combustibles alternativos.

Se recopila una gran cantidad de información que permite cuantificar la cantidad de residuos que se generan y la porción de éstos que pueden ser valorizados por la industria del cemento, haciendo una proyección hacia el año 2030. Los escenarios de proyección buscan la máxima valorización posible bajo óptimas condiciones regulatorias, tecnológicas y de mercado, y como complemento a las tasas de reciclaje y reutilización, eliminando por completo otras formas de eliminación sin recuperación.

Se desarrollan metodologías basadas en el conocimiento científico actual, en protocolos validados a nivel internacional y en las fuentes de información oficial disponible. Las estimaciones cuantitativas se aplican a tres tipos de residuos, los residuos sólidos urbanos (RSU), los neumáticos fuera de uso (NFU) y las cenizas generadas en plantas termoeléctricas a carbón, pero el marco conceptual se desarrolla para todos aquellos tipos de residuos contemplados en las fuentes de información citadas.

El trabajo se ordena en 5 capítulos con los siguientes contenidos:

- **Capítulo 1- Diagnóstico global y regional de la generación de residuos:** Es una revisión de las distintas clasificaciones de residuos, sus características, fuentes y tasas de generación, composición y destinos, todo a nivel global y con una bajada detallada para América Latina y El Caribe.

- **Capítulo 2 - Impactos socioambientales de los residuos en la región:** Síntesis de los principales impactos de los residuos sobre la población y el medio ambiente. Se aborda no solo los destinos no controlados, sino también aquellos bajo condiciones controladas sanitariamente. Incluye un apartado sobre la generación de residuos por catástrofes naturales, dada la permanente presencia de estas circunstancias en la región.
- **Capítulo 3 - Visión global y regional en la industria del cemento para la valorización de residuos:** Breve revisión de la forma en que la industria del cemento a nivel global ha decidido enfrentar los desafíos de la sostenibilidad, a través de diversos instrumentos técnicos y políticos. Presenta además un conjunto de estadísticas que dan cuenta del uso histórico y actual de residuos como fuentes de energía alternativa a nivel global y particularmente comparando Europa con Latinoamérica y El Caribe.
- **Capítulo 4 - Marco regulatorio:** Recopilación de los contextos normativos tanto en la gestión de residuos, como en las normas técnicas de producto para el cemento, a nivel global y en específico para la mayor parte de los países de la región.
- **Capítulo 5 - Proyección de valorización de residuos al año 2030:** Presentación de la metodología y los casos prácticos de estimación del potencial de valorización de residuos en la industria del cemento en Latinoamérica y El Caribe al año 2030 por países, indicando las fuentes de información consultadas, los procedimientos de transformación de los datos y la presentación de los resultados finales por escenarios.



Diagnóstico global y regional
**de la generación
de residuos**

CAPÍTULO

01



Diagnóstico global y regional de la generación de residuos

El presente capítulo tiene por objetivo sistematizar la información relativa a la definición, generación, composición y recolección de residuos. Además, se investiga la relación entre la generación de residuos y los niveles de ingreso de los países, así como también con las tasas de urbanización de estos.

1.1 Definición y clasificación

Existen múltiples definiciones y criterios para clasificar los residuos. Por un lado, ONU Medio Ambiente, en su documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe” (2018), define residuo como aquellas *“cosas o materiales provenientes de la actividad humana que han sido descartados voluntaria o involuntariamente por su pérdida de valor de uso, su eficiencia, efectividad, excesivo uso y su destrucción o descomposición por causas humanas o de la naturaleza”*. Por otro lado, el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Residuos Peligrosos y su Eliminación, considera que *“por desechos se entienden las sustancias u objetos a cuya eliminación se procede, se propone proceder o se está obligado a proceder en virtud de la legislación nacional”*. Otras definiciones corresponden a las enunciadas por la Directiva 75/442 de la Comunidad Económica Europea (CEE), la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), y la Environment Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos, entidad que se refiere específicamente a los residuos sólidos. En cuanto a la definición de la Directiva 75/442, se especifica que residuo corresponde a *“cualquier sustancia u objeto del cual su poseedor tenga la obligación de desprenderse en virtud de las disposiciones nacionales vigentes”*. Por su parte, la OCDE define a los residuos como aquellas materias generadas en la actividad de producción y consumo que no alcanzan, en el contexto en que son producidos, ningún valor económico, lo que puede deberse tanto a la falta de una tecnología adecuada para su aprovechamiento como a la inexistencia de un mercado para los productos recuperados. Finalmente, la EPA (1989) entiende por residuo sólido *“cualquier basura, desperdicio, lodo y otros materiales sólidos de desechos resultantes de las actividades industriales, comerciales y de la comunidad. No incluye sólidos o materiales disueltos en las aguas de los canales de descarga de la irrigación, ni otros contaminantes comunes en el agua”*. Es posible notar que en esta definición se encuentra implícita una clasificación de los residuos de acuerdo con su origen o fuente generadora, tema que será retomado más adelante.

Con el objetivo de enmarcar este estudio en una visión internacional y normativa, se ha optado por la definición de residuos expuesta en el Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Residuos Peligrosos y su Eliminación, el cual cuenta con la ratificación de 183 países en agosto de 2015. Si bien en la traducción oficial al español del Convenio de Basilea se ocupa el término “desecho”, se decide utilizar el término “residuos” en su reemplazo, puesto que el término desecho tiende a asociarse con aquello que se considera basura.

Se puede notar que, las definiciones expuestas hacen un fuerte énfasis en la pérdida de valor y en la acción de eliminación de los residuos. En este sentido, se considera que a medida que la noción de economía circular sea aprehendida genéricamente, y los productos sean diseñados adecuadamente a fin de generar una mayor eficiencia en el uso de los materiales y la energía, -como también una comprobada efectividad para ser considerados como recursos-, deberían resignificarse los términos residuo y desecho, a fin de rescatar su potencial como materia prima secundaria o fuente de energía. En ese momento, probablemente, un residuo será considerado como tal cuando se termine la vida útil de un recurso.

En relación con la clasificación de los residuos, existe una variedad de éstas según origen, composición, peligrosidad, reactividad química, biológica, entre otras. A su vez, varían en función de las legislaciones nacionales e internacionales aplicables, y las distintas formas de tratamiento y disposición. A continuación, se presentan algunas clasificaciones de residuos:

- Según su fuente de origen (por ejemplo domiciliarios, industriales, hospitalarios, de construcción).
- Según su biodegradabilidad.
- Según su composición (por ejemplo para efectos de manejo: papeles y cartones, vidrios)
- Según su peligrosidad.

1.1.1 Los residuos según su fuente origen

Residuos Sólidos Urbanos (RSU): se definen como aquellos residuos sólidos o semisólidos provenientes de las actividades propias de los núcleos poblacionales en general, que incluyen los residuos domiciliarios, municipales, comerciales, de servicios, institucionales, de mercados, hospitalarios y los generados en las oficinas de las industrias, en tanto sean asimilables por composición a los residuos domiciliarios y no peligrosos.

Los residuos domiciliarios son aquellos resultantes de las actividades diarias de un hogar, denominándose comúnmente como “basura”. Estos incluyen diversos materiales como: papeles y cartones, vidrios, plásticos, restos de alimentos, telas, entre otros. Se consideran también como tales, aquellos generados en las oficinas

y establecimientos educacionales, así como de los locales comerciales y restaurantes, que se asimilan, por su composición a los generados en los hogares.

Existen también algunos productos de uso cotidiano en el hogar que contienen componentes peligrosos, como pinturas, limpiadores, barnices, baterías para automóviles, aceites de motor, pesticidas, entre otros. Según la definición de la EPA, los sobrantes de tales productos o el contenido ya usado de estos es lo que se conoce como “residuos domésticos peligrosos”.

Por otra parte, los residuos municipales están compuestos, principalmente, por los materiales resultantes de la limpieza de calles, del retiro de basuras provenientes de las ferias libres y de las podas con fines de mantención de parques y jardines. Esta categorización no incluye los residuos recolectados desde las viviendas (domiciliarios), aunque en algunas clasificaciones se utiliza el término residuos municipales (municipal waste) como sinónimo de residuos sólidos urbanos, no es la acepción utilizada en el presente trabajo.

Los residuos de construcción son los residuos resultantes de las actividades de construcción, demolición o reparación, que por lo general representan un problema menor desde el punto de vista sanitario, ya que son principalmente inertes, aun cuando en un porcentaje bajo contienen residuos peligrosos. Sin embargo, estos se generan en grandes volúmenes, dificultando su manejo y disposición final.

Los residuos sólidos industriales corresponden al derivado de un proceso de fabricación, transformación, utilización y consumo o limpieza, cuyo poseedor lo destina al abandono o del cual el productor tenga necesidad de desprenderse por no ser objeto directo de sus procesos productivos. No incluye, por ejemplo, los residuos que resultan de las actividades administrativas o de la preparación de alimentos de un casino de una planta industrial, los cuales corresponden a residuos domésticos o asimilables a urbanos.

Los residuos generados en establecimientos de atención de salud son de diversa naturaleza también, pero pueden ser clasificados en peligrosos, radiactivos de baja intensidad, especiales y asimilables a domiciliarios:



Tabla 1. Clasificación de residuos de establecimientos de salud

Categoría 1:

Residuos Peligrosos;

- a) Residuos que contienen o están contaminados por drogas citotóxicas, tales como: clorambucil, ciclosporina, ciclofosfamida, melfalan, semustina, tamoxifeno, tiotepa y treosulfan;
- b) Residuos que contienen o están contaminados por solventes orgánicos halogenados, tales como cloruro de metileno, cloroformo y tricloroetileno;
- c) Residuos que contienen o están contaminados por solventes orgánicos no halogenados, tales como xileno, metanol, acetona, isopropanol, tolueno, acetato de etilo y acetonitrilo;
- d) Residuos que contienen o están contaminados por sustancias orgánicas peligrosas, tales como: formaldehído, percloroetileno y soluciones desinfectantes y de limpieza en base a fenol;
- e) Residuos que contienen o están contaminados por metales pesados, tales como equipos que contienen mercurio y baterías que contienen cadmio o plomo.
- f) Residuos que contienen o están contaminados por sustancias químicas inorgánicas peligrosas tales como: ácido sulfúrico, clorhídrico, nítrico y crómico; soluciones alcalinas de hidróxido de sodio y amoníaco; sustancias oxidantes tales como permanganato de potasio y dicromato de potasio y, además, agentes reductores tales como bisulfato de sodio.

Categoría 2:

Residuos Radioactivos de Baja Intensidad;

son aquellos que contienen o están contaminados por sustancias radiactivas cuya actividad específica, luego de su almacenamiento, ha alcanzado un nivel inferior a 74 becquerels por gramo o a dos milésimas de microcurio por gramo.

Categoría 3:

Residuos Especiales;

- a) Cultivos y muestras almacenadas: Residuos de la producción de material biológico; vacunas de virus vivo, placas de cultivo y mecanismos para transferir, inocular o mezclar cultivos; residuos de cultivos; muestras almacenadas de agentes infecciosos y productos biológicos asociados, incluyendo cultivos de laboratorios médicos y patológicos; y cultivos y cepas de agentes infecciosos de laboratorios.
- b) Residuos patológicos: Restos biológicos, incluyendo tejidos, órganos, partes del cuerpo que hayan sido removidos de seres o restos humanos, incluidos aquellos fluidos corporales que presenten riesgo sanitario.
- c) Sangre y productos derivados incluyendo el plasma, el suero y demás componentes sanguíneos y elementos tales como gasas y algodones, saturados con éstos. Se excluyen de esta categoría la sangre, productos derivados y materiales provenientes de bancos de sangre que luego de ser analizados se haya demostrado la ausencia de riesgos para la salud. Además, se excluye el material contaminado que haya sido sometido a desinfección.
- d) Cortopunzantes: Residuos resultantes del diagnóstico, tratamiento, investigación o producción, capaces de provocar cortes o punciones. Se incluye en esta categoría residuos tales como agujas, pipetas Pasteur, bisturís, placas de cultivos y demás cristalería, entre otros.
- e) Residuos de animales: Cadáveres o partes de animales, así como sus camas, que estuvieron expuestos a agentes infecciosos durante un proceso de investigación, producción de material biológico o en la evaluación de fármacos.

Categoría 4:

Residuos Sólidos Asimilables a Domiciliarios.

Aquellos residuos generados en establecimientos de atención de salud que, por sus características físicas, químicas o microbiológicas, pueden ser entregados a la recolección municipal y dispuestos en un relleno sanitario tales como los residuos de preparación y servicio de alimentos, material de limpieza de pasillo, salas y dependencias de enfermos, papeles y materiales de oficina y demás similares y los materiales absorbentes, tales como gasas y algodones no saturados con sangre y sus derivados.

1.1.2 Los residuos según su biodegradabilidad

Residuos que en condiciones de vertido puede descomponerse de forma aerobia o anaerobia, como los residuos de alimentos y de Jardín, el papel, el cartón.

- **Residuos orgánicos:** están compuestos por materias derivadas de vegetales, animales y comestibles, los cuales se descomponen con facilidad y vuelven a la tierra. Por ejemplo: frutas y verduras, restos de comidas, papeles. Son biodegradables, es decir, tienen la capacidad de fermentar y ocasionar procesos de descomposición. Aunque la naturaleza los puede aprovechar como parte del ciclo natural de la vida, cuando se acumulan, posibilitan la multiplicación de microbios y plagas, convirtiéndose en potenciales fuentes de contaminación de aire, agua y suelo.
- **Residuos inorgánicos:** son aquellos residuos que no están compuestos por elementos orgánicos. Se componen de desechos como latas, botellas, metales, plásticos y otros productos de uso cotidiano de origen industrial, los cuales tardan mucho tiempo en desintegrarse o nunca se descomponen, y por ello se les llama no biodegradables. Estos desechos no siempre resultan inservibles, pues existen diferentes formas de aprovecharlos o reutilizarlos.

1.1.3 Los residuos según su composición

La composición de los residuos se refiere a los distintos grupos o clases de residuos que forman una determinada clasificación o unidad de análisis. De esta forma, una clasificación particular agrupa residuos que comparten características físicas y químicas similares, tales como vidrios, papeles, aceites, lodos, solventes, telas, maderas, tejuelas, entre otros. La composición de residuos puede variar también por aspectos geográficos, económicos, normativos e incluso culturales.

A continuación, se revisa la composición general de los RSU y los Residuos sólidos industriales.

1.1.3.1 Composición de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Los RSU están formados por residuos sólidos orgánicos (combustibles) e inorgánicos (incombustibles) provenientes, principalmente, de zonas residenciales y de establecimientos comerciales. Generalmente, la fracción orgánica de los residuos sólidos domésticos y comerciales está conformada por materiales como residuos de comida, papel, cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, madera, y residuos de jardín. Mientras que la fracción inorgánica está conformada por artículos como vidrio, cerámica, latas, aluminio, metales férreos, polvo y suciedad.

La variedad de la composición de los residuos urbanos está directamente relacionada con los ingresos de una sociedad (bruto y per cápita), tema que será retomado en la sección 1.2.1.

Cuanto más desarrollado sea un país, mayor es la tendencia a consumir bienes elaborados diversos (tanto en su materialidad como en su sofisticación), reduciendo así la fracción biodegradable generada, e incrementando las materialidades como el vidrio, papel, cartón y plásticos. Esta misma tendencia se observa cuando se analizan las diferencias entre las grandes urbes en relación con las localidades y pueblos que las rodean. Esto permite afirmar que la generación de residuos está directamente relacionada con cuestiones económicas, sociales y culturales. En este sentido, el análisis de la composición de los residuos nos permite observar la realidad social de los países, las ciudades y sus habitantes.

En cuanto a la materialidad de los residuos, esta define, en general, su destino (disposición), por lo que una adecuada clasificación, segregación o selección, puede ayudar a que estos residuos puedan ser valorizados o reutilizados y no terminen siendo dispuestos en rellenos sanitarios.

A continuación, se indican las composiciones específicas de las categorías más relevantes los RSU (papeles y cartones, plástico, madera, caucho, chatarra y metal, vidrios, alimentarios, restos de poda, y otros).

- **Papeles y cartones:** Incluye periódicos, revistas, hojas, facturas, formularios, carpetas, folletos, envases de cartón, entre otros artículos similares. En relación con su valorización post consumo, los siguientes tipos de papeles no son reciclables: Papel de fax y carbónico, papeles plastificados, celofán, envases de comida, servilletas y papel de cocina, vasos usados, papel de fotos y etiquetas. No obstante, estos materiales si pueden ser valorizados energéticamente.

- **Plástico:** Existen más de cien tipos de plásticos derivados del petróleo, los cuales están presentes en muchos de los productos que utilizamos diariamente. En el hogar, por ejemplo, los podemos encontrar en envases de productos de limpieza, bolsas de plástico, juguetes, entre otros productos.
- **Madera:** Incluye envases de madera de diversos tamaños, desde cajas de fruta hasta grandes cajones para el transporte de equipamiento para el hogar. También se incluyen muebles, puertas y otros productos similares generados por las personas al deshacerse del mobiliario.
- **Caucho:** El caucho o goma es una sustancia natural (látex desecado) o sintética caracterizada por su elasticidad, repelencia al agua y resistencia eléctrica. Es ampliamente utilizado en la fabricación de neumáticos, llantas, y artículos impermeables y aislantes (pueden ser usados en el hogar).
- **Chatarra y metal:** En los hogares, estos materiales se encuentran en las tuberías, en el cobre de los cables eléctricos, en el estaño de las soldaduras, en el aluminio de las ventanas, y en los utensilios que se emplean en la cocina. Generalmente, las latas de aluminio y de acero pueden ser recicladas para elaborar nuevas latas, sin perder la calidad del material. Algunos de estos residuos pueden ser peligrosos, como son las latas con sustancias tóxicas (pinturas).
- **Vidrios:** Sílice y estabilizantes como la cal, son algunos de los materiales que componen los vidrios. En el caso de los hogares, la mayor parte de los vidrios se desecha en forma de botellas de bebidas, envases de alimentos, cristales de ventanas, entre otros productos.
- **Alimentarios:** Incluyen, tanto alimentos no consumidos, como los no comercializados.
- **Restos de poda:** Incluyen restos vegetales, domésticos o municipales (provenientes de hojas, césped o restos de poda de jardines).

1.1.3.2 Composición de los residuos sólidos industriales

Los residuos sólidos industriales están conformados por residuos provenientes de procesos productivos de las industrias, además de la mantención de equipos e

instalaciones. Están formados, principalmente, por materiales como residuos de papel, cartón, plásticos, textiles, goma, cuero, madera, solventes, aceites, químicos, entre otros.

A continuación, se indican las composiciones específicas de las categorías macro de los residuos sólidos industriales (papeles y cartones, plástico, madera, caucho, metal y arenas usadas, vidrios, alimentarios, aceites y lubricantes, solventes y químicos, lodos y pulpas).

- **Papeles y cartones:** Incluye restos de envases y embalajes que son descartados en los procesos productivos de las industrias donde son producidos estos productos, o en el resto de las empresas, al ser parte de embalajes de materias primas o insumos.
- **Plástico:** Incluye restos de envases y embalajes que son descartados en los procesos productivos de las industrias donde son producidos estos productos, descartes en procesos productivos de fabricación de accesorios de plástico, o residuos de plásticos de las industrias químicas y petroquímicas, entre otros.
- **Madera:** Incluye envases y embalajes de madera descartados o defectuosos en los procesos productivos, restos de madera de las industrias de la madera y de muebles, restos de madera de la construcción y demolición, entre otros.
- **Caucho:** Incluye restos de caucho y neumáticos descartados de los procesos productivos de neumáticos, de las empresas de fabricación de cables, de empresas textiles y de calzado, entre otras.
- **Metal y arenas usadas:** Incluye metales y arenas derivadas de procesos productivos siderúrgicos y de fundiciones.
- **Vidrios:** La mayor parte de los vidrios desechados proviene de los procesos productivos del vidrio y de industrias de envases, ventanales y accesorios de vidrio, pero también provienen de industrias más recientes como lo son la construcción de paneles solares, entre otras.
- **Alimentarios:** Incluye restos orgánicos o procesados de alimentos o de materias primas de estos, desechados en los procesos productivos de la industria alimenticia.
- **Aceites y lubricantes:** Estos residuos se encuentran en la industria del transporte, de procesamiento de aceites usados, en procesos industriales de químicas y

petroquímicas y, en general, en aquellas industrias con uso intensivos de maquinarias y motores.

- **Solventes y químicos:** Estos residuos se encuentran en los procesos industriales de químicas y petroquímicas, industria de pinturas, procesos de elaboración de diluyentes y similares, entre otras.
- **Lodos y pulpas:** Los lodos son propios del tratamiento de aguas residuales. Otro residuo similar son los derivados de la pulpa de la industria papelera.

1.1.4 Residuos según su peligrosidad

La definición de residuo peligroso varía de legislación en legislación, tema que excede al presente estudio. No obstante, a continuación, se señalan criterios generales de determinación de un residuo como peligroso.

Para efectos de este estudio se ha optado por las clasificaciones y criterios definidos en el Convenio de Basilea respecto a los Residuos Peligrosos, ya que, como se mencionó antes, este tratado internacional está suscrito por la mayoría de los estados del mundo. A su vez, en el marco de este tratado internacional se dictan “*Las Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento*”, las cuales son un referente para la industria del cemento.

El Convenio de Basilea define algunos tipos de residuos peligrosos, pero entrega a las legislaciones locales la potestad de incluir otros residuos en la categoría de peligrosos. En este sentido, la tipología de los residuos peligrosos no es homogénea y, como señalamos, cada legislación nacional o local puede definirlos según necesidades particulares. No obstante, el propio Convenio de Basilea señala las características generales para definir un residuo como peligroso en su Anexo III. Es importante mencionar que esta clasificación se realiza en concordancia con las clasificaciones establecidas por Naciones Unidas para sustancias peligrosas. De esta manera, se puede considerar la siguiente tipología de los residuos peligrosos:

1.1.4.1 Residuos peligrosos

Explosivos: Incluye residuos sólidos, líquidos, o una mezcla de ambos, que por sí misma es capaz, mediante

reacción química, de emitir un gas a una temperatura, presión y velocidad específicas, que puedan ocasionar daño a la zona circundante, como por ejemplo los cloratos percloratos, los residuos de fuegos artificiales y de municiones, entre otros.

Líquidos inflamables: Incluye residuos líquidos, mezclas de líquidos, o líquidos con sólidos en solución o suspensión (por ejemplo, pinturas, barnices, lacas, entre otros, sin incluir sustancias o residuos clasificados de otra manera debido a sus características peligrosas), que emiten vapores inflamables a temperaturas inferiores a 60.5°C (en ensayos con cubeta cerrada), o inferiores a 65.6°C (en ensayos con cubeta abierta), como por ejemplo los solventes usados, alcoholes, acetona usada (disolventes), entre otros.

Sólidos inflamables: Incluye residuos sólidos distintos a los clasificados como explosivos, que en condiciones prevalecientes durante el transporte son fácilmente combustibles, pueden causar un incendio, o contribuir al mismo, debido a la fricción, como por ejemplo los residuos de nitrocelulosa, residuos de caucho, entre otros.

Residuos susceptibles de combustión espontánea: Incluye residuos susceptibles de calentamiento espontáneo en condiciones normales del transporte, o de calentamiento en contacto con el aire, y que, en consecuencia, pueden encenderse, como por ejemplo el fósforo blanco, sintéticos impregnados de aceite, residuos de celuloide, residuos de algodón conteniendo aceite y carbón mineral.

Residuos que, en contacto con el agua, emiten gases inflamables: Residuos que, por reacción con el agua, son susceptibles de inflamación espontánea o de emisión de gases inflamables en cantidades peligrosas, como por ejemplo el sodio en barras y carburo de calcio. radionucleidos

Oxidantes: Residuos que, sin ser necesariamente combustibles, pueden, al ceder oxígeno, causar o favorecer la combustión de otros materiales, como por ejemplo las bases cáusticas empleadas en la industria papelera.

Peróxidos orgánicos: Residuos orgánicos que contienen la estructura bivalente -o-o-. Son sustancias inestables térmicamente que pueden sufrir una descomposición auto acelerada exotérmica, como por ejemplo el ácido peroxiacético.

Tóxicos (venenos) agudos: Residuos que pueden causar la muerte, lesiones graves o daños a la salud de

las personas, si se ingieren, inhalan o entran en contacto con la piel, como por ejemplo los solventes usados, lodos, plomo y plaguicidas.

Infecciosos: Son aquellos residuos que se generan durante las actividades asistenciales a la salud de humanos o animales en los centros de salud, laboratorios clínicos o de investigación, bioterios, centros de enseñanza e investigación, principalmente; que por el contenido de sus componentes pueden representar un riesgo para la salud y el ambiente.

Corrosivos: Residuos que, por acción química, causan daños graves en los tejidos vivos que tocan, o que, en caso de fuga, pueden dañar gravemente, o hasta destruir, mercaderías o los medios de transporte, como por ejemplo el ácido nítrico usado y el ácido sulfúrico usado.

Que liberan gases tóxicos en contacto con el aire o el agua: Residuos que, por reacción con el aire o el agua, pueden emitir gases tóxicos en cantidades peligrosas, como por ejemplo los residuos de carburo cálcico y los metales alcalinos.

Tóxicos (con efectos retardados o crónicos): Residuos que, de ser aspirados o ingeridos, o de penetrar en la piel, pueden generar efectos retardados o crónicos, incluso la carcinogénica, como por ejemplo recipientes vacíos de pesticida sin limpiar, o ciertos productos químicos.

Eco tóxicos: Residuos que, si se liberan, pueden tener efectos adversos inmediatos o retardados en el medio ambiente, debido a la bioacumulación, o producir efectos tóxicos en los sistemas bióticos.

Residuos radiactivos: Si bien estos residuos no son regulados por el Convenio de Basilea por tener normativas especiales, el listado ONU si los considera, y los define como cualquier material que contenga radionucleidos donde, tanto la concentración de actividad como la actividad total, excedan los valores especificados como máximos de radiación. Ejemplos de residuos radioactivos son el tritio utilizado en investigaciones biológicas.

Otros: Residuos que después de su eliminación pueden dar origen a otra sustancia, como por ejemplo un producto de lixiviación, el cual posee alguna de las características ya expuestas, como el amianto, entre otras sustancias contaminantes del agua.

1.1.4.2 Residuos no peligrosos

Los residuos no peligrosos se definen por exclusión, es decir, agrupa a todos aquellos residuos que no son peligrosos, es decir, que no cumplen con alguna de las características mencionadas en el apartado inmediatamente anterior.

Una categoría especial de los residuos no peligrosos son los residuos inertes (salvo que presenten alguna de las características previamente señaladas para los residuos peligrosos). Estos son residuos que no experimentan transformaciones físicas, químicas o biológicas significativas. No son solubles, ni combustibles, ni reaccionan física ni químicamente de ninguna otra manera, no son biodegradables, ni afectan negativamente a otras materias con las cuales entran en contacto. Ejemplos de residuos inertes son los residuos de la construcción.

1.2 Gestión y eliminación de residuos

La sociedad a la vez que genera cada vez mayores cantidades de residuos ha ido encontrando distintas formas de deshacerse de estos residuos, con mayores o menores impactos sobre el medio ambiente y la población. Así, formas superiores de gestión de residuos serán las que generen menores impactos ambientales, menos consumo de energía y menores impactos sociales y debieran prevalecer frente a formas inferiores de gestión de residuos.

En 1975 la Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea (1975/442/CEE) introdujo por primera vez el concepto de jerarquía de residuos en la política europea de residuos, haciendo hincapié en la importancia de la minimización de los residuos y la protección del medio ambiente y la salud humana. De este modo, la jerarquía de residuos indica un orden de preferencia de acciones con el fin de reducir y gestionar los residuos. Se suele representar de forma esquemática como una pirámide invertida, en la cual los escalones más cercanos a la parte superior corresponden a las acciones más prioritarias (formas superiores) y los más cercanos a la parte inferior corresponden a las acciones menos prioritarias (formas inferiores). En este sentido, las acciones, de mayor a menor preferencia, son: la prevención, la minimización, la reutilización, el reciclaje, la recuperación (que incluye la recuperación energética), la disposición en rellenos sanitarios, y, por último, los residuos gestionados como desechos dispuestos de manera controlada y no controlada.

A continuación, un extracto, apartados 1 y 2 de la DIRECTIVA 2008/98/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de noviembre de 2008 sobre los residuos.

1. La siguiente jerarquía de residuos servirá de orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos:

- a)** Prevención;
- b)** Preparación para la reutilización
- c)** Reciclado
- d)** Otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética
- e)** Eliminación

2. Cuando se aplique la jerarquía de residuos contemplada en apartado 1, los Estados miembros adoptarán medidas para estimular las opciones que proporcionen el mejor resultado medioambiental global. Ello puede requerir que determinados flujos de residuos se aparten de la jerarquía, cuando esté justificado por un enfoque de ciclo de vida sobre los impactos globales de la generación y gestión de dichos residuos.

En el presente informe se adoptará, la jerarquía de Global Waste Management Outlook, 2015 de UNEP-ISWA, similar a la jerarquía de la Unión Europea pero que desagrega los últimos niveles de eliminación de residuos, como se muestra en su versión gráfica del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe” (ONU, 2018).

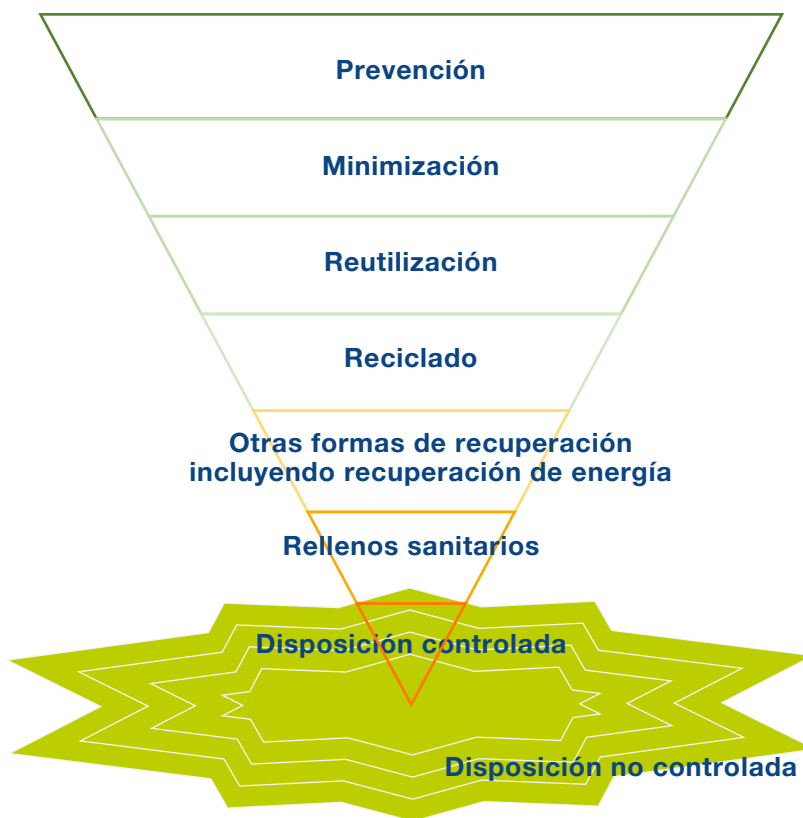


Figura 1: Escala jerárquica para la gestión integral de residuos. Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe” (ONU, 2018).

En las estadísticas disponibles de gestión y tratamiento de RSU, existe un nivel mayor de desagregación en las categorías de “otras formas de recuperación” y “rellenos sanitarios” y por esta razón, se presentan en la **Tabla 2**. Nótese que el nivel de “Rellenos sanitarios” fue generalizado a “Eliminación sanitaria”, para ubicar a su mismo nivel la incineración sanitaria, como método de eliminación segura sin recuperación o valorización.



Tabla 2. Formas de gestionar los residuos sólidos extendida que detalla algunas formas de recuperación y complementa la eliminación sanitaria y la disposición no controlada

Prevención			
Minimización			
Reutilización			
Reciclaje			
Otras formas de recuperación o valorización de residuos	Recuperación por tratamiento térmico	Coprocesamiento en hornos cementeros	
		Waste to energy	
	Recuperación por tratamiento biológico	Compost	
		Digestión anaeróbica	
Eliminación sanitaria	Rellenos sanitarios		
	Incineración sanitaria		
Vertederos Controlados			
Disposición no controlada	Basurales		
	Disposición en cuerpos o cursos de agua		

1.2.1. Prevención

El alcance de la prevención de residuos y la eficiencia de los recursos cubre toda la economía: todos los flujos de materiales y todos los productos utilizados por una nación, desde sus respectivas "cunas" hasta sus "tumbas" definitivas. Por lo tanto, un programa integral de prevención de desechos debe abarcar el sector minero y las industrias productivas, diseñadores y proveedores de servicios, consumidores públicos y privados, además del sector de gestión de desechos. En consecuencia, todos los sectores económicos deben participar en la prevención de residuos, y un enfoque sistemático para la prevención de residuos también puede producir reducciones sustanciales de gases de efecto invernadero, no solo en el sector de residuos sino en toda la economía.

1.2.2. Minimización

La minimización de residuos es un enfoque de gestión de residuos que se centra en reducir la cantidad y la toxicidad de los residuos peligrosos generados. Las técnicas de minimización de residuos se centran en evitar que se creen residuos, se pueden practicar en varias etapas en la mayoría de los procesos de

generación de residuos, pero requieren una planificación cuidadosa, resolución creativa de problemas, cambios de actitud, a veces inversión de capital y un compromiso genuino.

1.2.3. Reutilización

Un componente importante de la gestión de recursos es la reutilización, incluida la reparación y reacondicionamiento de productos, que ha sido tradicional durante milenios y sigue siendo un sector económico activo en muchos países de ingresos bajos y medianos. La reactivación de la "reutilización" en los países de ingresos más altos también ha ido acompañada de un nuevo enfoque en la refabricación.

La reutilización es la acción o práctica de usar un artículo, ya sea para su propósito original (reutilización convencional) o para cumplir una función diferente (reutilización creativa o reutilización). Debe distinguirse del reciclaje, que es la descomposición de los elementos usados para elaborar materias primas para la fabricación de nuevos productos. La reutilización, al tomar, pero no reprocesar, elementos usados anteriormente, ayuda a ahorrar tiempo, dinero, energía y recursos. En términos económicos más amplios,

puede poner productos de calidad a disposición de personas y organizaciones con recursos limitados, al tiempo que genera empleos y actividad empresarial que contribuyen a la economía.

1.2.4. Reciclaje

El reciclaje es un proceso cuyo objetivo es convertir residuos en nuevos productos o en materia prima para su posterior utilización. Gracias al reciclaje se previene el desuso de materiales potencialmente útiles, se reduce el consumo de nueva materia prima, además de reducir el uso de energía, la contaminación del aire y del agua.

1.2.5. Otras formas de recuperación o valorización de residuos

1.2.5.1. Recuperación por tratamiento térmico

La valorización energética consiste en recuperar el contenido energético existente en los residuos. Entre las tecnologías más aplicadas a nivel mundial se encuentran: waste to energy y el coprocesamiento. En el caso de este último, además del aprovechamiento energético, se genera un aprovechamiento de los minerales presentes en los residuos, como por ejemplo el hierro contenido en los neumáticos.

La incineración puede ser considerada una forma de recuperación como valorización energética cuando tiene por fin producir parcial o totalmente energía. Por ejemplo, la incineración en la legislación europea es considerada valorización sólo cuando cumple con las exigencias de eficiencia energética determinadas por la Directiva 2008/98/CE, de otro modo corresponde solo a una forma de eliminación sanitaria.



1.2.5.1.1. Coprocesamiento

El coprocesamiento de los residuos peligrosos y no peligrosos en los hornos de cemento permite la recuperación de su valor energético y mineral, a la vez que se fabrica el cemento.

El coprocesamiento es un concepto de desarrollo sostenible basado en los principios de la ecología industrial que se centra en el papel potencial de la industria para reducir las cargas ambientales a lo largo de todo el ciclo vital del producto (Mutz y otros, 2007; Karstensen, 2009a). Uno de los objetivos principales de la ecología industrial es convertir los residuos de una industria en la materia prima de otra (OCDE, 2000).

Las características esenciales del proceso para el uso de residuos en el horno, se pueden resumir en las siguientes [2010/75/EU]:

- a)** Temperaturas máximas de aproximadamente 2.000°C (quemador principal, temperatura de llama) en hornos rotatorios;
- b)** Tiempos de retención del gas de aproximadamente ocho segundos a temperaturas superiores a los 1.200°C en hornos rotatorios;
- c)** Temperatura de los materiales de aproximadamente 1.450°C en la zona de clinkerización de los hornos rotatorios;
- d)** Atmósfera de gas oxidante en hornos rotatorios;
- e)** Tiempo de retención del gas en los quemadores secundarios de más de dos segundos a temperaturas superiores a 850°C; en el precalcinador los tiempos de retención son convenientemente más largos y las temperaturas más elevadas;
- f)** La temperatura de los sólidos es de 850°C en el quemador secundario y en el calcinador;
- g)** Condiciones uniformes de combustión para fluctuaciones de carga debidas a las altas temperaturas a tiempos de retención suficientemente largos;
- h)** Destrucción de contaminantes orgánicos a causa de las altas temperaturas a tiempos de retención suficientemente largos;
- i)** Sorción de componentes gaseosos como el HF, el HCl y el SO₂ en reactivos alcalinos;
- j)** Alta capacidad de retención para metales pesados unidos a partículas;
- k)** Tiempos de retención cortos de gases de escape en el rango de temperatura en el que se da la formación de PCDD/PCDF;
- l)** Reciclado de material y recuperación de energía simultáneamente mediante el uso completo de cenizas de combustible como componentes del clinker;
- m)** Los residuos específicos de producto no se generan debido al uso completo del material en la matriz del clinker
- n)** Incorporación químico-mineralógica de metales pesados no volátiles a la matriz del clinker.

Los numerosos beneficios potenciales que ofrece el uso de residuos y residuos peligrosos en los procesos de fabricación de cemento incluyen: la recuperación del contenido energético de los residuos, la conservación de combustibles fósiles no renovables y recursos naturales, la reducción de las emisiones de CO₂, la reducción de los costes de producción, y el uso de una tecnología existente para tratar residuos peligrosos [UNEP 2011].

Ventajas

- **Impacto en cambio climático.** El coprocesamiento reduce las emisiones de gases de efecto invernadero al desviar los residuos de los vertederos y la quema al aire libre y evitar las emisiones de producción y transporte de combustibles fósiles.
- **Uso de suelo.** El coprocesamiento reduce el volumen y masa de los residuos en un 100%, dado que la ceniza de la combustión queda incorporada al producto evitando el uso de suelo para la disposición de residuos.
- **Generación de energía.** El valor energético de los residuos se utiliza en reemplazo de combustibles fósiles, para generar energía térmica en los hornos de clinker.
- **Salud y Ambiente.** El coprocesamiento térmico podría mejorar las condiciones ambientales y de higiene, debido a la destrucción de contaminantes orgánicos a causa de las altas temperaturas a tiempos de retención suficientemente largos, Sorción de componentes gaseosos como el HF, el HCl y el SO₂ en reactivos alcalinos y la alta capacidad de retención para metales pesados unidos a partículas;

- **No se requiere de inversiones importantes,** salvo para la preparación de los residuos. La infraestructura de procesamiento térmico (horno) ya está disponible.
- **Infraestructura ya operativa,** autorizada y monitoreada ambientalmente de acuerdo a los estándares de cada país.
- **Poder calorífico de los residuos:** Mezclando residuos de distinto tipo y poder calorífico se pueden coprocesar residuos de bajo poder calorífico sin el uso de combustible extra, sino incluso desplazando el uso de combustibles fósiles.

Desventajas

- **El coprocesamiento** puede desviar potencialmente los desechos de formas superiores de gestión de residuos, ya que las plantas requieren mínimos de materia prima y, debido a esto, a menudo se utilizan desechos que podrían ser reciclables.
- **La transición de basurales o vertederos a coprocesamiento.** Si bien esta estrategia implica una mejora en el manejo de residuos, puede afectar la generación de empleos, debiendo ser considerado en la implementación de proyectos de revalorización energética.

1.2.5.1.2. Waste to energy

La conversión de residuos térmicos en energía (WtE), también conocida como incineración con recuperación de energía, es un método de tratamiento de residuos importante en algunos países desarrollados. Sin embargo, la Unión Europea, que se ha basado en la incineración de residuos durante las últimas décadas, ahora se está alejando del WtE térmico y otras formas de incineración y se está centrando en soluciones más ecológicamente aceptables, como la prevención, la reutilización y el reciclaje de residuos, a medida que avanza hacia una economía circular. (UNEP 2019)

Los residuos sólidos urbanos, clasificados o sin clasificar, se utilizan a menudo como materia prima de origen residual para la planta térmica de WtE. Durante el proceso de incineración, el volumen de esta materia prima se puede reducir considerablemente hasta en un 90%.

Las emisiones de gases de combustión contienen los gases de efecto invernadero y los contaminantes de los

residuos, que requieren un tratamiento adicional antes de su emisión a la atmósfera. Las emisiones pueden incluir dióxido de carbono, óxido nitroso, óxidos de nitrógeno, amoníaco, monóxido de carbono, compuestos orgánicos volátiles, contaminantes orgánicos persistentes (por ejemplo, furanos y dioxinas) y algunos metales pesados.

Las cenizas de fondo son el material residual de la incineración. Contiene la fracción no combustible de la materia prima residual, que incluye piedras, vidrio, cerámica y metales. Las cenizas de fondo se pueden utilizar con fines de construcción después de que los metales se clasifiquen para su reciclaje. Las cenizas volantes son las partículas finas de ceniza de la incineración, que se consideran desechos peligrosos y deben tratarse en consecuencia.

Ventajas

- **Impacto en cambio climático.** Las plantas térmicas de WtE reducen las emisiones de gases de efecto invernadero al desviar los desechos de los vertederos y la quema al aire libre.
- **Restricciones de uso de suelo.** WtE puede reducir el volumen y la masa de residuos entre un 75% y un 90%.
- **Generación de energía.** El valor energético de los residuos se puede utilizar para generar electricidad y calor durante el proceso térmico WtE.
- **Salud y Ambiente.** Un cambio a WtE térmico podría mejorar las condiciones ambientales y de higiene.

Desventajas

- **Características de los residuos:** Los residuos orgánicos representan del 53% al 56% de los RSU en los países de ingresos bajos y medianos bajos, lo que produce un bajo valor calorífico. La incineración requiere un combustible con un valor calorífico promedio mínimo de 7 MJ / kg, y nunca debe caer por debajo de 6 MJ / kg para la combustión sin combustible auxiliar.

- **Aspectos económicos:** Thermal WtE requiere una inversión significativa para la puesta en marcha, operación y mantenimiento. Los ingresos por la eliminación de residuos y la venta de energía suelen ser insuficientes para cubrir la inversión total y el costo operativo de una planta térmica WtE.
- **Aspectos legales:** Los países en desarrollo pueden carecer de legislación sobre normas de emisión, monitoreo y aplicación internacionalmente reconocidas.
- **Aspectos ambientales:** Los incineradores de desechos son una de las principales fuentes de dioxinas y furanos a nivel mundial. Las plantas de WtE térmicas mal administradas pueden producir emisiones peligrosas.
- **Impacto social:** La oposición pública es a menudo un obstáculo importante para la construcción y operación de centrales térmicas de WtE.

El WtE térmico puede desviar potencialmente los desechos de las 3R, ya que las plantas requieren mínimos de materia prima y, debido a esto, a menudo se utilizan desechos reciclables.

La transición a WtE puede afectar al sector de reciclaje informal.

1.2.5.2. Tratamientos biológicos o mecánico-biológicos

Los tratamientos mecánico-biológicos, TMB, (o biológico-mecánicos, TBM) son la combinación de procesos físicos y biológicos para el tratamiento de los residuos o fracciones de residuos con contenido significativo de materia orgánica.

1.2.5.2.1 Digestión anaeróbica

La digestión anaerobia, también denominada biometanización o producción de biogás, es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo", conocida como digestato, que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Acosta & Abreu, 2005).

La materia prima preferentemente utilizada para ser sometida a este tratamiento es cualquier biomasa residual que posea

un alto contenido en humedad, como restos de comida, restos de hojas y hierbas al limpiar un jardín o un huerto, residuos ganaderos, lodos de plantas depuradoras de aguas residuales urbanas y aguas residuales domésticas e industriales.

Como se mencionó anteriormente, el producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50% a 70%) y dióxido de carbono (30% a 50%), con pequeñas proporciones de otros componentes (nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, sulfuro de hidrógeno), cuya composición depende tanto de la materia prima como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 l/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%. Aunque su potencia calorífica no es muy grande, puede sustituir con ventaja al gas de ciudad, utilizándose en aplicaciones tan diversas como: fuente de calor (cocina, alumbrado), combustión en calderas de vapor para calefacción y combustible de motores acoplados a generadores eléctricos.

Por otro lado, el digestato puede utilizarse como abono para la fertilización de suelos.

A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de la digestión anaerobia (Seghezzo, Zeeman, Van Lier, Hamelers & Lettinga, 1998):

Ventajas

- Alta eficiencia en la eliminación de carga orgánica.
- La construcción y operación de estos reactores es simple.
- El tratamiento anaerobio puede ser fácilmente aplicado a escala muy pequeña o escala mayor.
- Bajos requerimientos de espacio.
- El consumo de energía del reactor es casi nulo.
- Bajos requerimientos de químicos y nutrientes. Especialmente en el caso de residuos, un adecuado y estable pH puede ser mantenido sin la adición de químicos. Macronutrientes (nitrógeno y fósforo) y micronutrientes también están disponibles en los residuos, mientras que los compuestos tóxicos están ausentes.

Desventajas

- **Bajo nivel de eliminación de nutrientes y patógenos.** Estos son parcialmente eliminados, excepto huevos de helminto, los cuales son eficientemente capturados en la cama de lodos. La eliminación de nutrientes no es completa.
- **Periodo de inicio largo.** Debido a la baja velocidad de crecimiento de microorganismos metanogénicos, el periodo de inicio es largo, comparado con los procesos aerobios, cuando un buen inóculo¹ no está disponible.
- **Posibles malos olores.** El sulfuro de hidrógeno es producido durante los procesos anaerobios, especialmente cuando hay altas concentraciones de sulfato en la influente.
- **Necesidad de un post-tratamiento.** El post-tratamiento de efluente anaerobia es generalmente requerido para cumplir descargas estándares de materia orgánica.

1.2.5.2.2 Compostaje

El compostaje es un proceso de descomposición biológica aerobia, bajo condiciones controladas, de la materia orgánica que se encuentra en los RSU y rurales y, en menor medida, en los industriales. Técnicamente, el compostaje es la transformación biológica controlada y de forma industrial de la fracción orgánica de los residuos, a partir de la cual se obtiene como resultado un humus o compost.

Este proceso lo llevan a cabo bacterias termofílicas que hacen que el compost adquiera temperaturas entre los 50 y los 70 grados centígrados, lo que provoca la eliminación de los gérmenes patógenos. El compostaje se puede llevar a cabo de forma natural al aire libre o de forma forzada mediante la utilización de digestores. En el primer caso, este proceso tiene una duración de tres meses, mientras que en el segundo caso tarda tan solo 15 días.

Como ya se mencionó, el material obtenido de este proceso es denominado compost. Este no puede ser definido como un abono orgánico, a pesar de que contiene nutrientes y oligoelementos, sino más bien como un regenerador orgánico del terreno. Los compuestos orgánicos del compost contraen estrechas uniones fisicoquímicas con los compuestos minerales del suelo, y constituyen entre ambos a lo que se denomina complejos organominerales, los que mejoran las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, así como la nutrición de las plantas. Por lo tanto, se puede concluir que el compost tiene un doble carácter: el de enmienda y el de abono orgánico.

¹ Término para referirse a los microorganismos o sus partes (esporas, fragmentos miceliales, etc.) capaces de provocar infección o simbiosis cuando se transfieren a un huésped.

A continuación, se mencionan alguna de las ventajas y desventajas del compostaje

Ventajas

- El compost tiene una gran cantidad de nutrientes y es adecuado para una amplia variedad de usos finales, como paisajismo, mezcla de tierra vegetal y medios de crecimiento.
- El compost tiene menos nitrógeno que los biosólidos de otros procesos de estabilización, debido a la pérdida de amoníaco durante el compostaje. Sin embargo, el nitrógeno en el compost se libera más lentamente y está disponible para las plantas durante un largo período de tiempo, lo que es más consistente con las necesidades de absorción de la planta.
- Los lodos bien compostados pueden cumplir los requisitos para los biosólidos de clase A y pueden venderse a distribuidores y al público.
- El compost aumenta el contenido de agua y la retención de suelos arenosos.
- El compost aumenta la aireación y la infiltración de agua en suelos arcillosos.
- Los procesos de hileras y pilas estáticas aireadas tienen la flexibilidad de manejar características cambiantes de alimentación y cargas máximas, requieren equipos mecánicos relativamente simples y son fáciles de operar.

- Los procesos en el recipiente requieren áreas relativamente pequeñas y tienen la capacidad de controlar los olores.
- El proceso de compostaje representa una recuperación de la materia orgánica de los residuos para su empleo en la agricultura, lo que implica una vuelta a la naturaleza de las sustancias extraídas anteriormente.

Desventajas

- El compostaje de pilas estáticas en hileras y aireadas requiere áreas relativamente grandes, y el control de olores es un problema común.
- Las temperaturas ambientales y las condiciones climáticas influyen en la hilera y el compostaje de pilas estáticas aireadas.
- Los reactores en el recipiente tienen una flexibilidad limitada para manejar las condiciones cambiantes y requieren mucho mantenimiento.

1.2.6. Rellenos sanitarios



Un relleno sanitario es una técnica de disposición de residuos sólidos que consiste en la disposición de capas de residuos compactados sobre un suelo previamente impermeabilizado para evitar la contaminación del acuífero, y recubiertas (por lo menos diariamente) por capas de tierra u otro material inerte. Este recubrimiento permite el control de la proliferación de vectores y el manejo adecuado de gases y lixiviados (Ullca, 2005).

En relación con la utilización de los rellenos sanitarios en América Latina y El Caribe, más de la mitad de la población urbana dispone sus residuos en estos lugares, siendo el relleno sanitario el principal sistema usado para disponer los residuos sólidos en la región.



Tabla 3. Criterios para determinar si un sitio de disposición de residuos sólidos puede ser denominado relleno sanitario. Fuente [ONU 2018].

Criterio	Nivel de cumplimiento
Instalación del sitio	La elección del sitio se basa en factores ambientales, de la comunidad y de costos.
Capacidad	Capacidad prevista.
Planificación de celdas	• Desarrollo de diseño celda por celda.
	• La zona/área de trabajo se delinea en base al espacio práctico más pequeño.
	• La disposición se realiza únicamente en las celdas designadas.
Preparación del sitio	Amplia preparación del sitio.
Gestión del lixiviado	Plena gestión del lixiviado.
Gestión del gas	Plena gestión del gas.
Aplicación de la cobertura de suelo	Se aplica cobertura de suelo intermedia y final diariamente.
Compactación intermedia y final diariamente	Compactación de residuos.
Criterios	Relleno sanitario.
Mantenimiento de la calle de acceso	Desarrollo pleno y mantenimiento de la calle de acceso.
Vallado	Vallado seguro con portón.
Ingreso de residuos	• Control pleno sobre la cantidad y la composición de los residuos que ingresan al sitio.
	• Disposiciones especiales para ciertos tipos de residuos.
Historial de registros	Historial de registro completo sobre el volumen, tipo y fuente del residuo recibido, además de un detalle de las actividades y eventos llevados a cabo en el sitio.
Recolección en el sitio	Sin recolección y comercio de residuos en el sitio.
Clausura	Gestión de clausura y posclausura completa.
Costo	Costos iniciales de operación y mantenimiento en aumento, costo a largo plazo moderado.
Impactos ambientales y sanitarios	Riesgos mínimos de impacto y de salud.

A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de los rellenos sanitarios:

Ventajas

- La posibilidad de recuperación de áreas ambientalmente degradadas por la minería o explotación de canteras, así como de terrenos considerados improductivos o marginales.
- Baja inversión de capital comparada con otros métodos de tratamiento.
- Generación de empleo de mano de obra no calificada.
- Flexibilidad, en cuanto a la capacidad; para recibir cantidades adicionales de desechos y la posibilidad de utilizar el gas metano producido como fuente alternativa de energía.

Desventajas

- Uso de extensiones importantes de suelo que podría estar disponible para otros usos.
- Afectación de valor de propiedades colindantes.
- Bajo o nulo aprovechamiento.
- Pasivos ambientales que se debe monitorear y que tienen una duración de 30 años.

1.2.7. Vertedero controlado

Un vertedero controlado es una instalación sanitaria de destino final de residuos sólidos, que no cumple con todos los requisitos de un relleno sanitario, en orden a mitigar sus impactos ambientales y sanitarios, pero que sin embargo

representa una solución de mejor desempeño que un botadero o basural abierto, que no tiene ningún tipo de control.





Tabla 4. Criterios para determinar si un sitio de disposición de residuos sólidos puede ser denominado Vertedero controlado. Fuente ONU 2018.

Criterio	Nivel de cumplimiento
Instalación del sitio	Condiciones hidrogeológicas consideradas.
Capacidad	Capacidad prevista.
Planificación de celdas	No existe planificación de celdas, pero se minimiza la zona/área de trabajo.
	La disposición solamente se realiza en determinadas zonas.
Preparación del sitio	Pétreo de base del sitio de disposición.
	Control de drenaje y aguas superficiales sobre la periferia del sitio.
Gestión del lixiviado	Gestión parcial de lixiviado.
Gestión del gas	Gestión parcial de gas o no hay gestión de gas.
Aplicación de la cobertura de suelo	Se implementa cobertura de suelo de manera regular, no necesariamente diaria.
Compactación intermedia y final diariamente	Compactación en algunos casos.
Criterios	Basurales controlados.
Mantenimiento de la calle de acceso	Mantenimiento limitado de la calle de acceso.
Vallado	Con vallado.
Ingreso de residuos	Control parcial o sin control sobre la cantidad de residuos, pero los residuos que se aceptan para disposición se limitan a residuos sólidos municipales.
Historial de registros	Historial de registro básico.
Recolección en el sitio	Recolección y comercio de residuos controlado.
Clausura	Las actividades de clausura se limitan a la cobertura con suelo sin compactar y suelo compactado y a la colocación de plantación vegetal.
Costo	Inversión inicial de baja a moderada, costo a largo plazo alto.
Impactos ambientales y sanitarios	Riesgo mínimo de impacto desfavorable para el ambiente y la salud si se compara con un basural a cielo abierto.

1.2.8. Basurales

De acuerdo con la International Solid Waste Association (ISWA, por sus siglas en inglés)², la disposición no controlada de residuos en basurales a cielo abierto se refiere al lugar en el que, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública, es elegido por algún grupo humano para depositar sus residuos. A esta situación se añade la absoluta falta de control en cuanto a los tipos de residuos recibidos en estos sitios, donde se acumulan inclusive residuos originados por los servicios de salud y las industrias.

En relación con su ubicación, los basurales son establecidos generalmente en cualquier explanada retirada, barranco, sumidero, margen de río, donde se descargan de cualquier forma los residuos. Este tipo de disposición puede ser realizado tanto por particulares que desean deshacerse de residuos de la forma menos costosa posible, como por algunas microempresas que realizan estas malas prácticas.



² 10ISWA, Sanitary Landfill Working Group, Key-Issue Paper on Closing of Open Dumps, 2006, disponible en <http://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base/>



Tabla 5. Criterios para determinar si un sitio de disposición de residuos sólidos solo puede ser denominado basural. Fuente ONU 2018.

Criterio	Nivel de cumplimiento
Instalación del sitio	Sin planificación y con frecuencia mal ubicados.
Capacidad	La capacidad del sitio no se conoce.
Planificación de celdas	No existe la planificación de celdas.
	Los residuos son arrojados de forma indiscriminada.
	No se controla la zona/área de trabajo.
Preparación del sitio	Muy poca o no existe preparación del terreno.
Gestión del lixiviado	No hay gestión de lixiviado.
Gestión del gas	No hay gestión de gas.
Aplicación de la cobertura de suelo	Cobertura de residuos ocasional o inexistente.
Compactación intermedia y final diariamente	No hay compactación.
Criterios	Basurales a cielo abierto
Mantenimiento de la calle de acceso	Mantenimiento inadecuado de la calle de acceso.
Vallado	Sin vallado.
Ingreso de residuos	No hay control sobre la cantidad y/o la composición de los residuos que ingresan al sitio.
Historial de registros	Sin historial de registros.
Recolección en el sitio	Recolección de residuos por recolectores informales.
Clausura	Sin clausura adecuada del sitio luego del cierre de las operaciones.
Costo	Inversión inicial baja, costo a largo plazo alto.
Impactos ambientales y sanitarios	Altas posibilidades de incendios y de impactos desfavorables para el ambiente y la salud.

1.2.9. Otras formas de eliminación

1.2.9.1. Nivel global

La incineración es un tratamiento térmico definido como el proceso de combustión controlada que transforma la fracción orgánica de los residuos sólidos en sólidos inorgánicos (cenizas), vapor de agua, y dióxido de carbono gaseoso, principalmente. Una de las condiciones que se requiere para que esta tecnología resulte viable es la consideración del aprovechamiento energético (térmico y eléctrico).

En relación con las temperaturas del proceso, este se realiza a altas temperaturas (generalmente superior a 900°C), donde los residuos sólidos son mezclados con una cantidad específica de aire durante un tiempo predeterminado. En este sentido, es indispensable operar con un exceso de aire para asegurar la combustión completa y para evitar que la temperatura sea demasiado elevada (temperatura mayor a 1100°C) y pueda ablandar y fundir las cenizas y escorias.

A continuación, se mencionan algunas de las ventajas y desventajas de la incineración:

Ventajas

- En comparación con el relleno sanitario, la incineración minimiza la preocupación a largo plazo relacionada con el monitoreo de la capa freática³, ya que el residuo tóxico es destruido y no guardado.
- La incineración destruye bacterias, virus y compuestos orgánicos, como el tetracloruro de carbono, aceites, e inclusive, dioxinas. En la incineración, la dificultad de destrucción no depende de la peligrosidad del residuo, sino de su resistencia al calor. En este sentido, la incineración de los residuos sólidos hospitalarios⁴ (clasificados como peligrosos) es considerada la mejor alternativa para su tratamiento.
- La incineración también se puede usar para descontaminar el suelo que contiene residuos tóxicos. Este, después de incinerado, es devuelto a su lugar de origen.
- Posibilidad de tratamiento de numerosos tipos de residuos.
- Posibilidad de instalarse cerca de núcleos urbanos.
- Es necesaria poca superficie de terreno.
- Reduce el volumen de los residuos sólidos en un 80% - 85%.

³ Una capa freática es una acumulación de agua subterránea que se encuentra a una profundidad relativamente pequeña bajo el nivel del suelo.

⁴ El contenido energético de los residuos sólidos hospitalarios es mucho mayor que el de los residuos sólidos municipales, de modo que se vuelve atractiva la posibilidad de recuperar energía. El valor medio del poder calorífico de los residuos sólidos hospitalarios es de 21,8 MJ/kg. Sin embargo, este poder calorífico puede variar dado que los residuos sólidos hospitalarios varían siempre de composición, en especial por estar constituidos de sobras y por tener procedencia heterogénea. Por esto es importante que la construcción de incineradores considere la composición de los residuos a incinerar, de otra forma el proceso de incineración podrá verse seriamente afectado por la variabilidad del residuo y sus envases.

Desventajas

- No elimina totalmente los residuos, por lo que se necesita un vertedero especial para el depósito de cenizas procedentes de la incineración, parte de las cuales son muy tóxicas.
- Producen gases tóxicos que no deberían generarse o que deben ser tratados, que llevan gases de efecto invernadero y de contaminación atmosférica, encontrándose compuestos, como los furanos y las dioxinas, que son cancerígenas, gases ácidos (como el ácido sulfhídrico y el dióxido de carbono) y metales pesados.
- Necesitan un aporte de energía exterior para su funcionamiento.
- La inversión económica y los costes del tratamiento son elevados (250 millones de euros para una planta de tratamiento de unas 450.000 t/año).
- Posibilidad de averías, por lo que se necesita un sistema alternativo de tratamiento.
- Anula la puesta en marcha de políticas encaminadas a la valorización por reducción y reutilización de residuos, por la necesidad de rentabilizar la inversión hecha o simplemente por la generación de externalidades.

Respecto a su utilización, este método de tratamiento de residuos ha tenido un auge importante y una amplia extensión en países donde los sitios para rellenos sanitarios son escasos y muy caros, como Japón, Estados Unidos, y países de la Unión Europea. En la actualidad, en América Latina y El Caribe la incineración solo se utiliza para tratar residuos de la industria y establecimientos de salud. Por su parte, algunas islas

del Caribe ya han puesto en marcha esta tecnología para RSU, como es el caso de Martinique, St. Barth y Bermuda⁵ (BID, 2013), a diferencia de Jamaica y Barbados, que actualmente sólo tienen planes de instalación de incineradoras para su desarrollo local. Esta condición obedece fundamentalmente a la natural limitación de espacio en los estados insulares y a las necesidades de abastecimiento energético.

1.2.9.2. Disposición final de residuos no controlada: Cuerpos de agua

Este método de disposición de residuos consiste en la disposición no controlada de residuos en distintos cuerpos de agua por parte de personas individuales o empresas con mala prácticas. Si bien los cuerpos de agua agrupan a todas las extensiones de agua que se encuentran por la superficie terrestre o en el subsuelo (acuíferos, ríos subterráneos), tanto en estado líquido como sólido (glaciares, campos de hielo, casquete glaciar, inlandsis, casquetes polares), tanto naturales como artificiales (embalses) y tanto de agua salada (océanos, mares) como dulce (lagos, ríos, etc.), el presente estudio centra su análisis en la disposición no controlada de residuos en mares, lo que trae consigo la generación de Basura Marina, cuyos impactos afectan principalmente a los ecosistemas marinos.

La ONU define la basura marina como “cualquier material sólido manufacturado o procesado, que es descartado, dispuesto o abandonado en el medio ambiente marino y costero. La basura marina consiste en objetos que han sido fabricados o usados por personas y son deliberadamente desechados en el mar, ríos o playas, y llevados indirectamente al mar a través de los ríos, drenajes, escurrimiento pluvial o el viento; o extraviados de manera accidental, incluyendo material perdido en el mar por mal tiempo” (UN Environment, s.f.a).

⁵ONU Hábitat reportó en 2010 que muchos países en América Latina, por primera vez, están iniciando la exploración del uso de plantas waste-to-energy como parte de sus planes de gestión integral de residuos. Esta condición obedece fundamentalmente a la natural limitación de espacio en los estados insulares y a las necesidades de abastecimiento energético. En el caso de Jamaica y Barbados, actualmente sólo tienen planes de instalación de incineradoras para su desarrollo local.

1.3

Residuos Sólidos Urbanos (RSU)



1.3.1. Generación de RSU

La principal fuente de información de este apartado corresponde a la última versión del estudio “*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*”,⁶ realizado por el Banco Mundial el año 2018. Los datos que presenta este estudio son del año 2016. En el caso que se utilice una fuente de

información distinta, ésta se indicará donde corresponda.

A continuación, se presentan estadísticas de generación de RSU a nivel global y en América Latina y El Caribe:

Nivel global

La generación mundial de residuos al 2016, en promedio, fue de 0,74 kilogramos per cápita por día, mientras que la generación total de residuos sólidos fue aproximadamente 2,01 mil millones de toneladas. Para

2030, se estima que el mundo genere 2,59 mil millones de toneladas de residuos anualmente, mientras que para el 2050 esta cifra alcanzaría los 3,40 mil millones de toneladas. [Banco Mundial, 2018].

Cantidad generada MMt

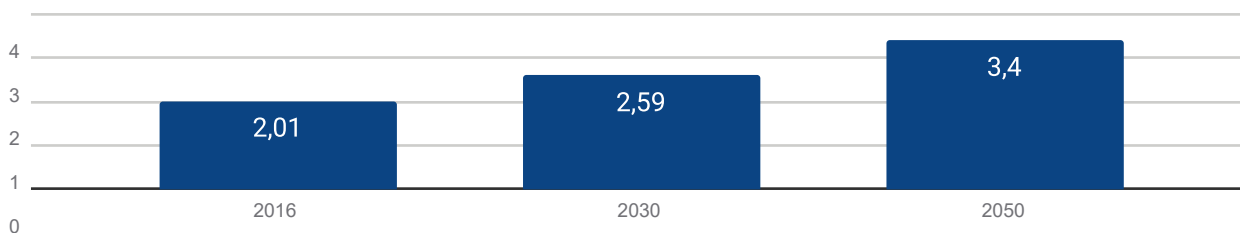


Gráfico 1: Crecimiento de la cantidad de residuos sólidos generados a nivel global de acuerdo con la proyección del Banco Mundial en miles de millones de toneladas al año [MMT/año]. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “*What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050*” (Banco Mundial, 2018).

⁶<http://datatopics.worldbank.org/what-a-waste/>

De acuerdo con el **Gráfico 2**, los países de Asia Oriental y el Pacífico, junto con las regiones de Europa y Asia Central generan el 43% de los residuos del mundo, mientras que las regiones de Medio Oriente y África del Norte, junto con África Subsahariana producen la menor cantidad de residuos (15% de los residuos del mundo). América Latina y El Caribe generó el 11% de los residuos del mundo, Norteamérica el 14% de los residuos, y Asia del Sur el 17% de los residuos.

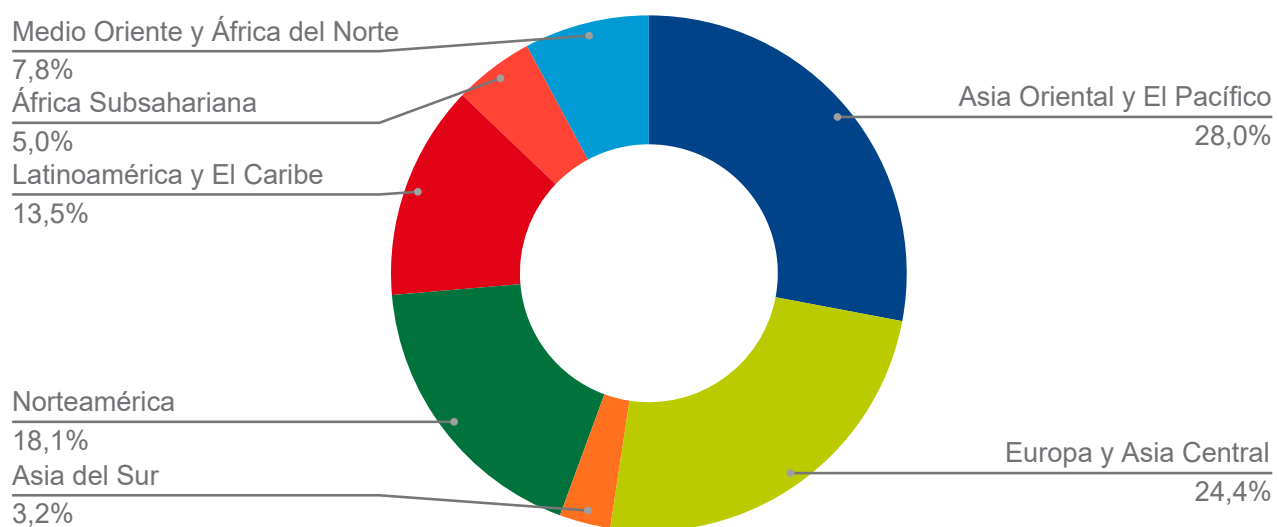


Gráfico 2: Generación de residuos por región (%). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

En términos absolutos (**Gráfico 3**), las regiones de Asia Oriental y el Pacífico generan la mayor cantidad de residuos (468 millones de toneladas en 2016), mientras que Medio Oriente y África del Norte son las regiones que generan la menor cantidad de residuos (129 millones de toneladas en 2016). Por su parte, África Subsahariana generó 174 millones de toneladas de residuos, América Latina y El Caribe generó 231 millones de toneladas, Norteamérica generó 289 millones de toneladas, Asia del Sur generó 334 millones de toneladas, por último, Europa y Asia Central generaron 392 millones de toneladas.

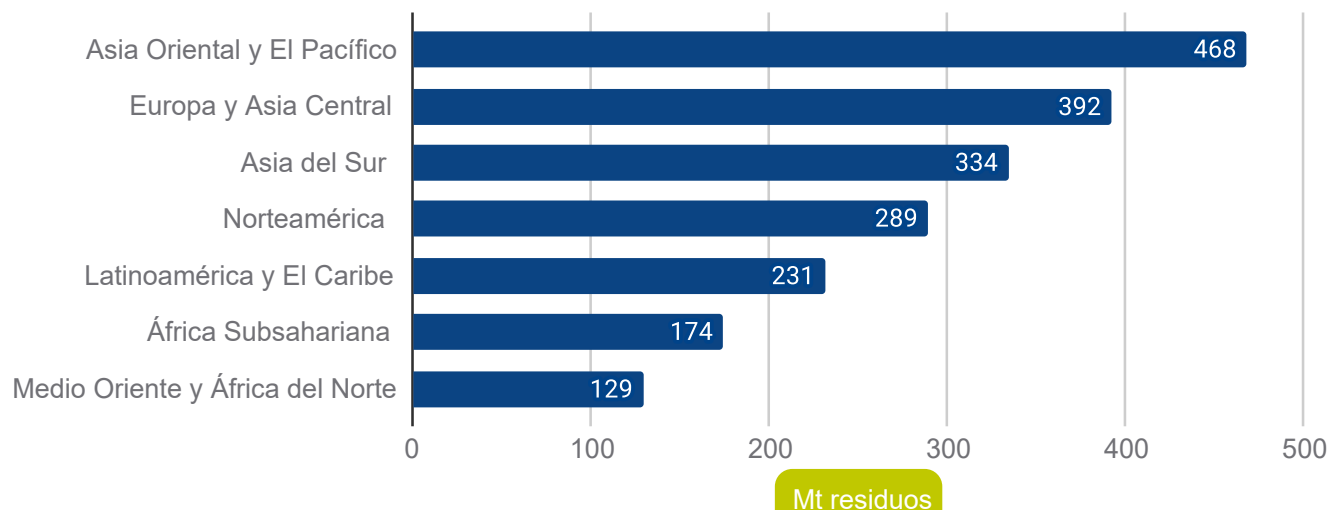


Gráfico 3: Generación de residuos por región (en millones de toneladas por año). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

En América Latina y El Caribe

Como se indicó anteriormente, la región de América Latina y El Caribe generó el 11% de los residuos del mundo (231 millones de toneladas de residuos en 2016), con un promedio de 0,99 kilogramos por persona por día. De acuerdo con el Gráfico 4 , los tres

países que generan la mayor cantidad de residuos son: Brasil (79,8 millones de toneladas al año), México (53 toneladas al año) y Argentina (17,9 millones de toneladas al año).

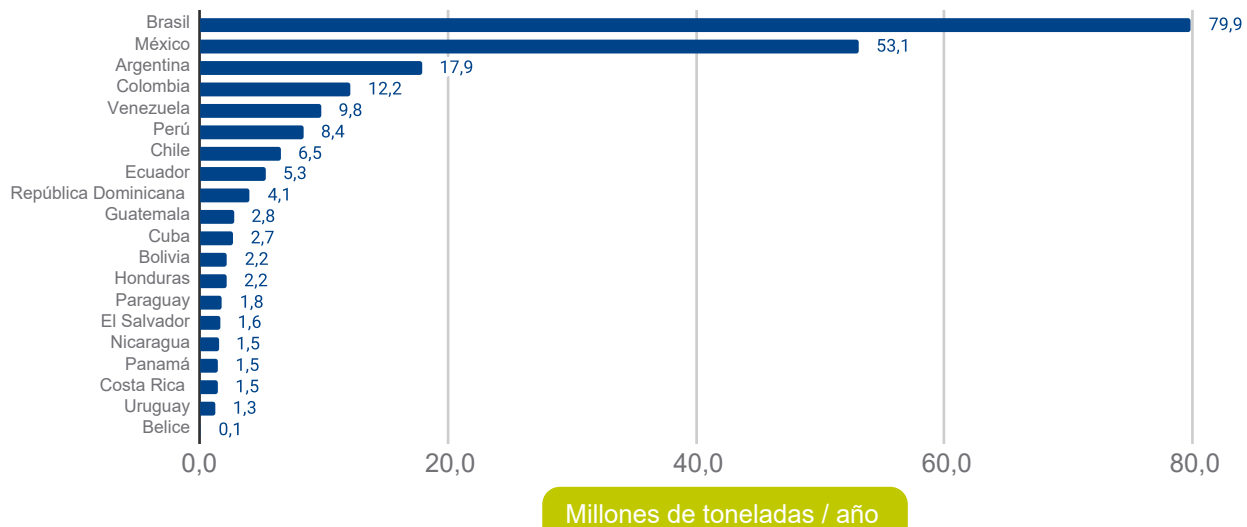


Gráfico 4: Generación de RSU para algunos países de América Latina y El Caribe (en millones de toneladas por año)
Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

Asimismo, respecto a la generación per cápita de residuos sólidos, los valores son más cercanos, oscilando entre 0,5 y 1,2 Kg residuo/habitante/día, como se presenta en el **Gráfico 5**.

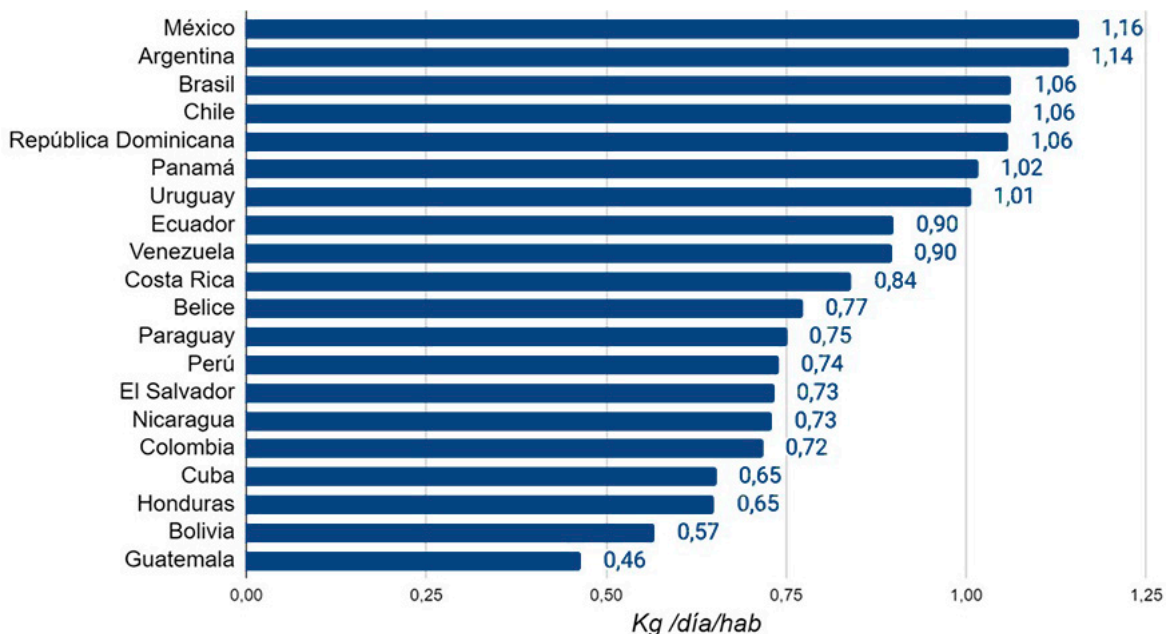


Gráfico 5: Tasa de generación de residuos en países de América Latina y El Caribe en Kg por habitante y por día. Fuente: Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

1.3.1.3. Generación de RSU en función del nivel de ingresos

La generación de residuos se encuentra relacionada con el desarrollo económico y el crecimiento de la población. En el estudio de referencia, el Banco Mundial establece un modelo de predicción de la generación de

RSU a partir del ingreso per cápita del país, mediante una regresión logarítmica para determinar en forma aproximada, la tasa de generación de residuos proyectada a un año determinado.

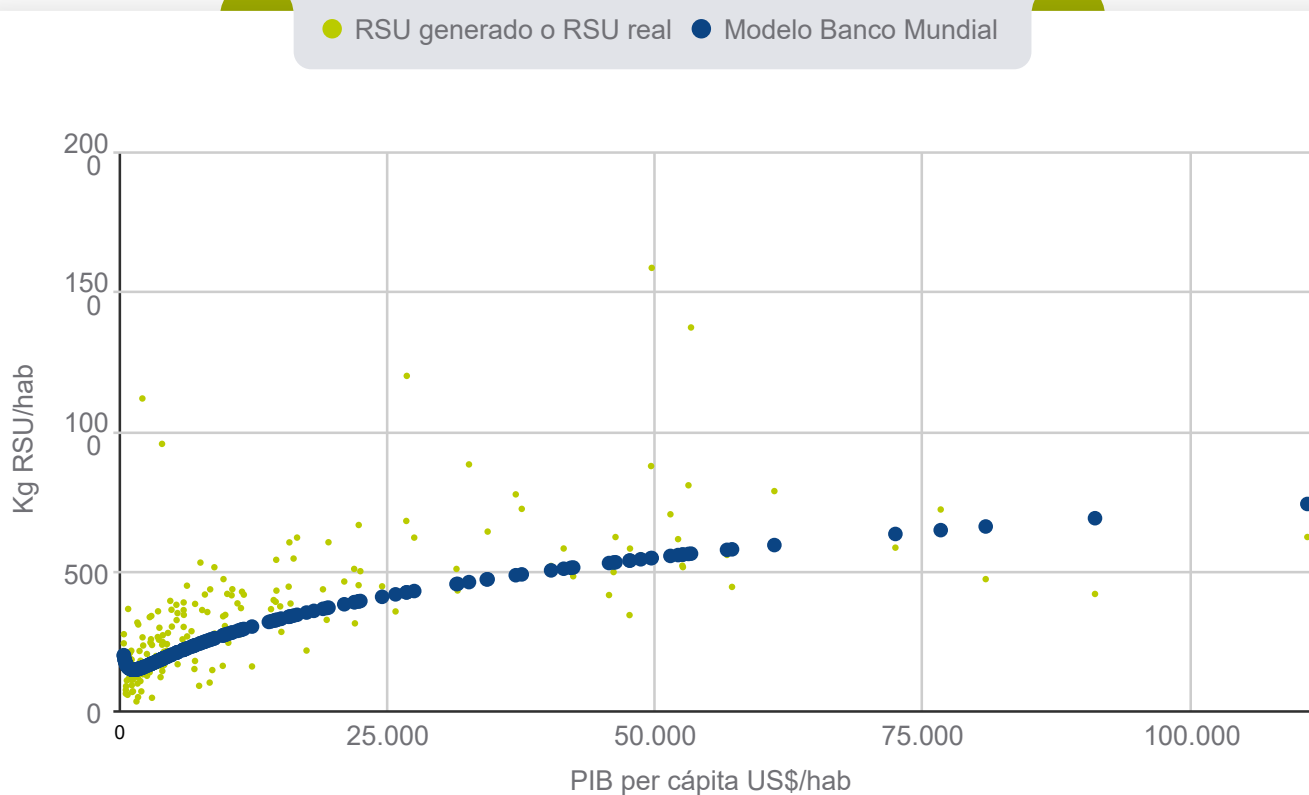


Gráfico 6: Dispersión de generación de residuos sólidos urbanos versus el ingreso per cápita de los países en US\$ PPP a precios internacionales 2011. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018)

La curva representada en el **Gráfico 6**, está dada por la siguiente ecuación:

$$RSUp(\text{año proyectado}) = 1647,41 - 419,73 \times \ln(\text{PIB per cápita (Año proyectado)}) + 29,43 \times (\ln \text{ PIB per cápita(año proyectado)})^2 \text{ EC.1}$$

Donde

- RSUp(año proyectado): Tasa de generación de RSU en el año proyectado, de acuerdo con la función de regresión del Banco Mundial, en Kg RSU/hab.
- PIB per capita(año proyectado): Producto interno bruto por habitante PPP (a precios constantes 2011) en el año proyectado.

Sin embargo, este modelo no debe entenderse como un predictor absoluto de la generación de residuos a partir de un ingreso per cápita dado. Lo que entrega es un multiplicador o factor de crecimiento de la tasa de generación de residuos entre el año base y el año proyectado. Este factor de crecimiento corresponde a

$$Fc = \frac{RSUp(\text{año proyectado})}{RSUp(\text{año base})}$$

Donde

- RSUp(año base): Tasa de generación de RSU para el año base según la función de regresión del banco mundial.
- F_C: Factor de crecimiento de la tasa de generación de RSU a partir del crecimiento de PIB per capita.

Entonces, con este factor de crecimiento obtenemos la tasa de generación de RSU para el año proyectado, a partir de la tasa de generación de residuos de un año base, según la siguiente ecuación:

$$RSU(\text{año proyectado}) = Fc \times RSU(\text{año base})$$

A partir de este método, se realizan estimaciones para distintos grupos de ingreso, de acuerdo con la clasificación del Banco Mundial, las cuales serán expuestas a continuación. En este sentido, es posible establecer que los países de altos ingresos de América Latina y El Caribe alcanzarán la menor tasa de crecimiento en la generación de residuos para 2030, dado que han alcanzado una parte más plana de la curva del **(Gráfico 6)**. A su vez, las tendencias indican que los países de ingresos bajos aumentarán su actividad económica, su población y la generación de residuos.

FOTO

A nivel per cápita, las tendencias son similares. El mayor crecimiento en la generación de residuos se espera en aquellos países con ingresos bajos y medios (**Gráfico 8**).

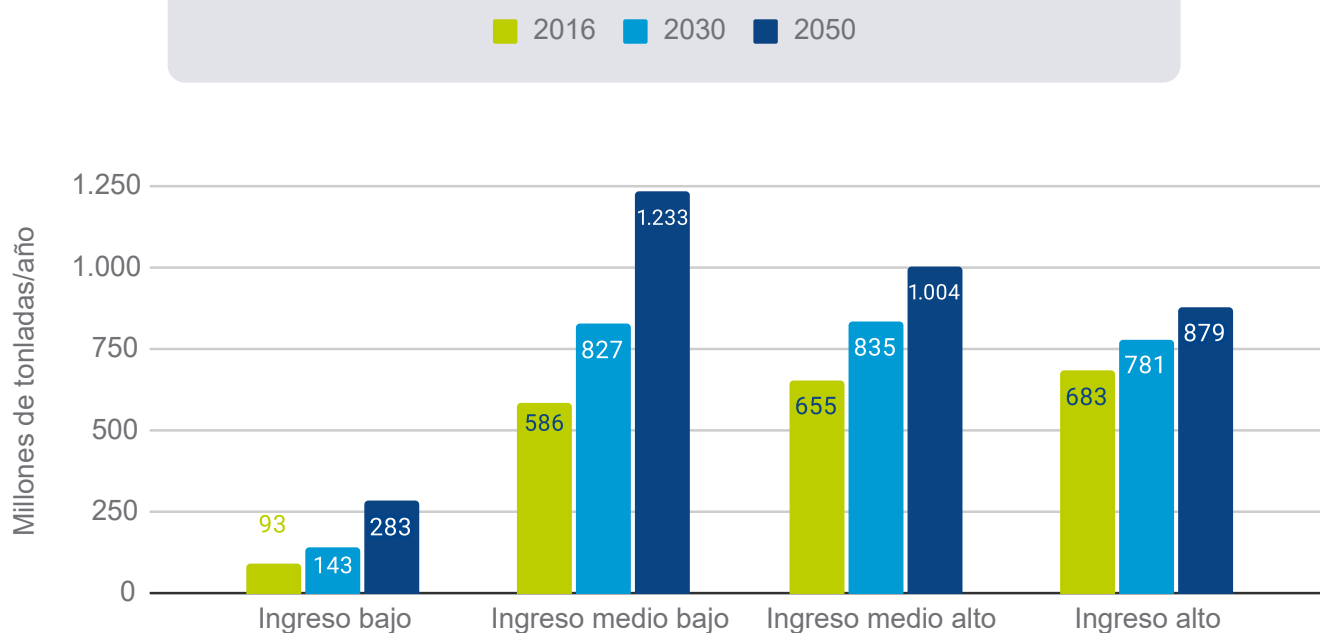


Gráfico 7: Proyección de generación de residuos por grupo de ingresos (en millones de toneladas por año). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

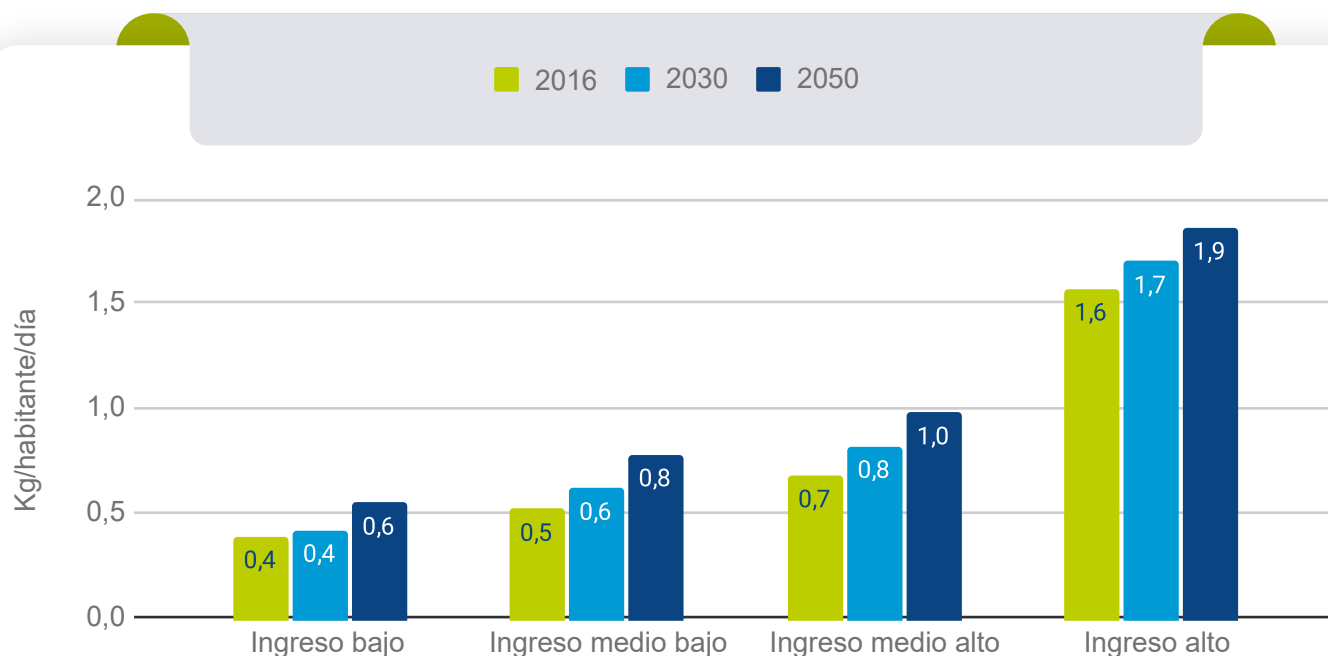


Gráfico 8: Proyección de generación de residuos por grupo de ingresos (en kilogramos per cápita por año) Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

A nivel regional, se prevé que las regiones con altas proporciones de países con bajos ingresos y de ingresos medios bajos, experimenten el mayor aumento en la generación de residuos. En particular, se espera que (en condiciones de crecimiento económico y mayores grados de urbanización) en las próximas tres décadas las regiones de África Subsahariana y Asia del Sur tripliquen y doblen sus niveles de residuos actuales, respectivamente (**Gráfico 9 y Gráfico 10**). Asimismo, las proyecciones realizadas por el estudio del Banco Mundial indican que las regiones con países de mayores ingresos, como América del Norte, Europa y Asia Central, experimentarán un aumento gradual en los niveles de generación de residuos.

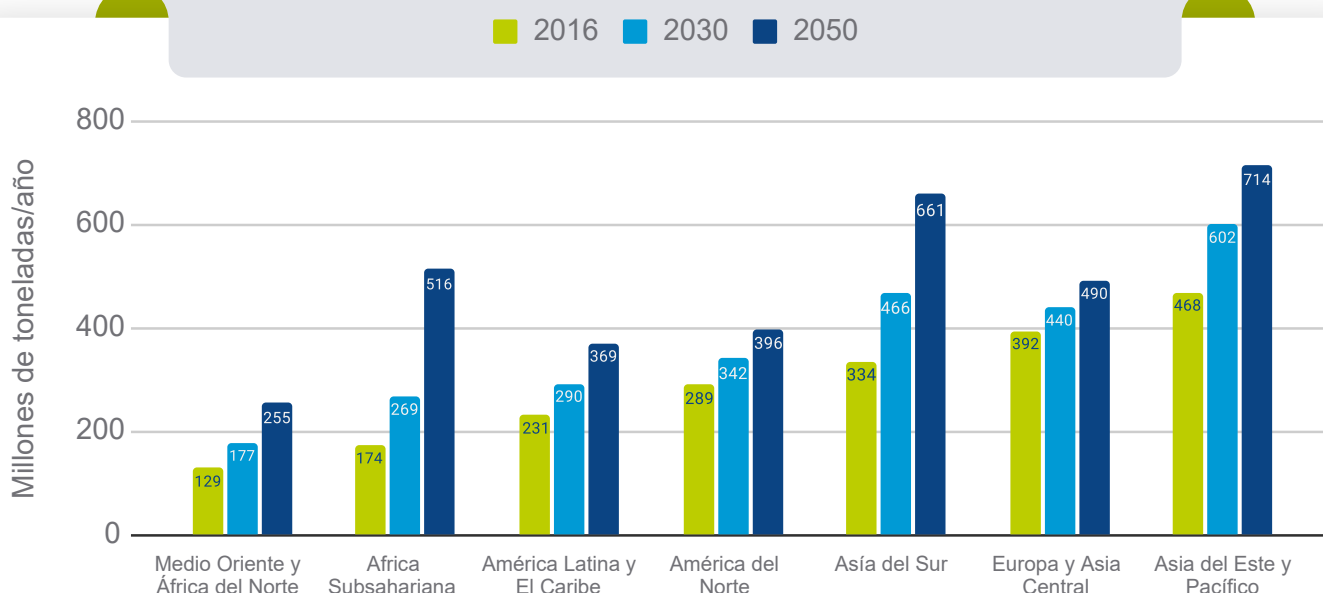


Gráfico 9: Generación total de residuos proyectada (en millones de toneladas por año). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

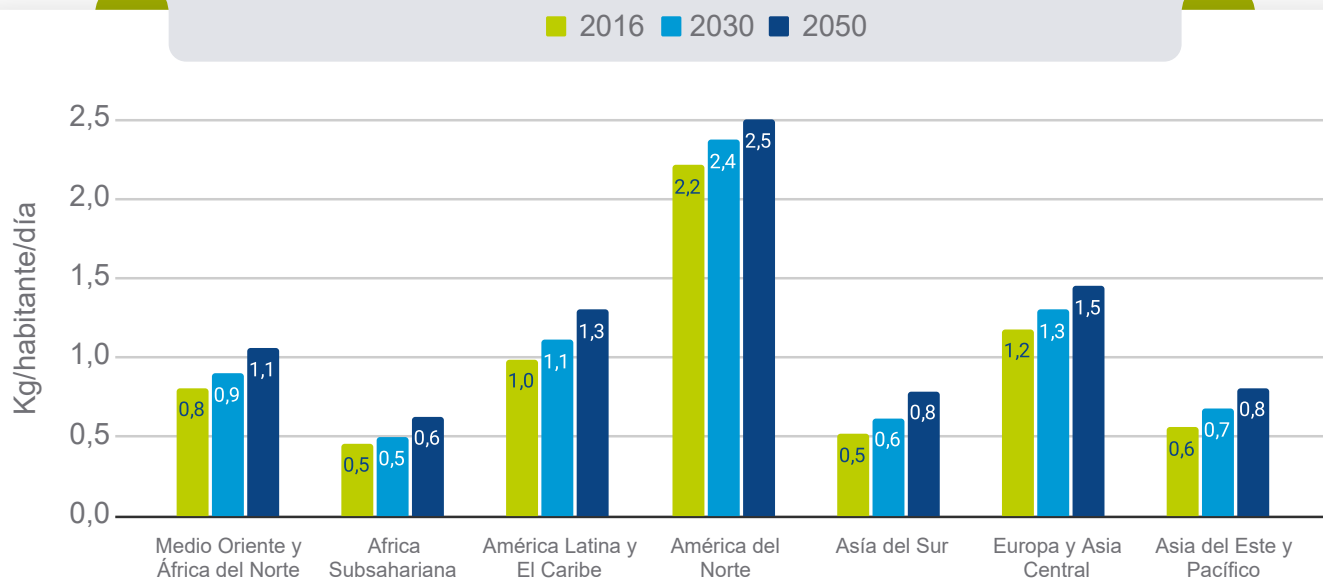


Gráfico 10: Generación total de residuos proyectada (en kilogramos per cápita por día). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018)

1.3.2. Composición de los RSU

Como ya se mencionó, la identificación de los materiales presentes en los RSU corresponde a la categorización (tipos de materiales) dada por la gestión de los residuos sólidos municipales, la cual se determina, generalmente, a través de una auditoría estándar de residuos en la que se toman muestras de residuos de generadores o sitios de disposición final, se clasifican en categorías predefinidas y se pesan.

La composición de los residuos constituye un indicador dinámico que puede variar significativamente en el tiempo y el espacio. En él influyen factores, tales como: el nivel de ingresos y desarrollo de los países, la introducción de nuevos materiales en los productos, los cambios en los hábitos de consumo de la población, entre otros.

Las categorías utilizadas en el estudio de referencia son las siguientes:

- Papeles y cartones.
- Plásticos.
- Madera.
- Caucho.
- Metal.
- Vidrio.
- Alimentarios.
- Residuo de podas.
- Otros.



De estos residuos, los cuatro primeros corresponden a residuos energéticos, o utilizables como combustibles alternativos con mayor eficiencia. Residuos como los alimentarios y de podas, al requerir deshidratación y preprocesamiento poseen una eficiencia energética menor que no alcanza niveles costo eficientes.

A nivel mundial

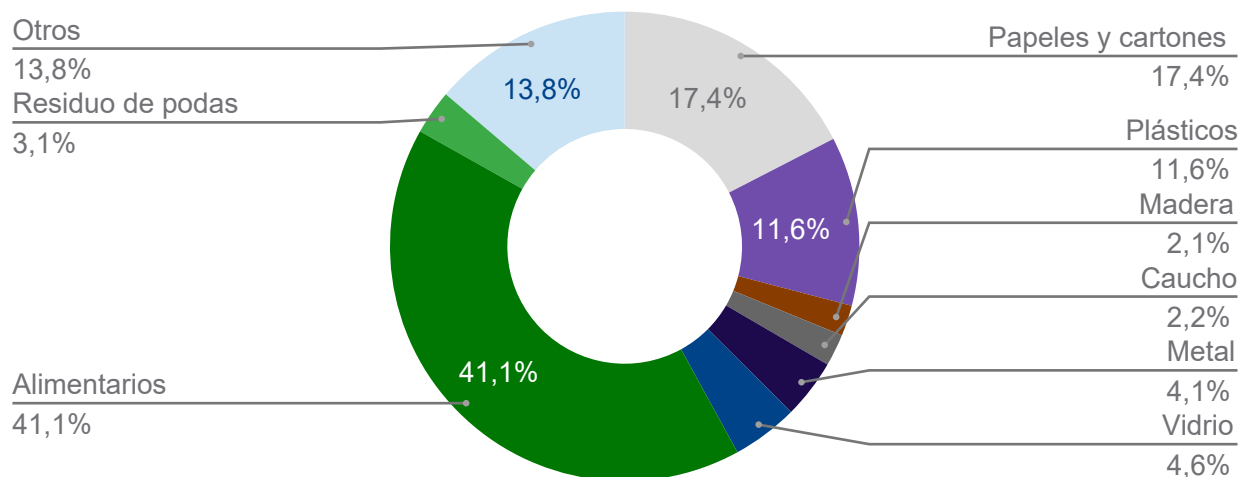
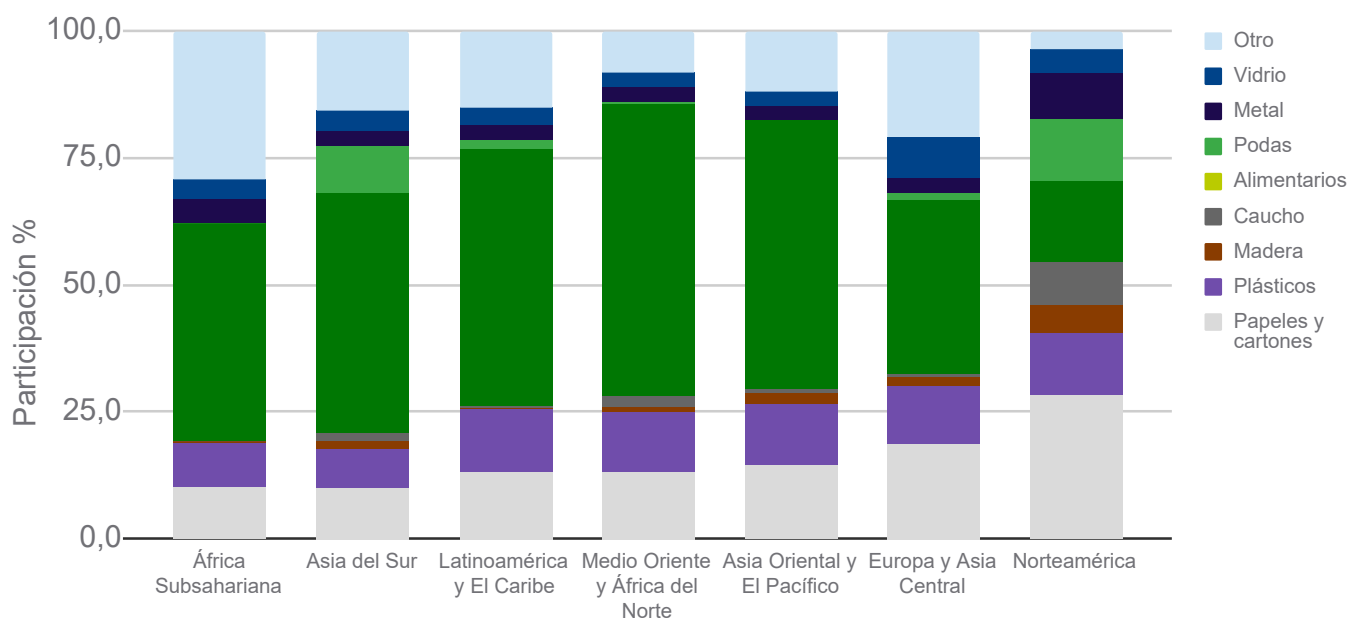


Gráfico 11: Composición de los residuos a nivel global (%). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

El **gráfico 11** muestra la fracción energética de los residuos suman un 33,4%, es decir, un tercio de los residuos a nivel global son aprovechables energéticamente como combustibles alternativos.



El **Gráfico 12** muestra que los residuos correspondientes al grupo de alimentarios tiene la mayor participación en regiones menos desarrolladas, en contraposición al caso de papeles y cartones fundamentalmente, la que crece en áreas más avanzadas o de mayores ingresos.

En América Latina y El Caribe

El **Gráfico 13** muestra un comparativo de la composición de los residuos en países seleccionados de la región. Similar a lo que sucede a nivel mundial, la fracción alimenticia representa la mayor participación en la composición de residuos en todos los países seleccionados, seguida por las fracciones correspondientes a los residuos: plásticos, papeles, cartones, entre otros.

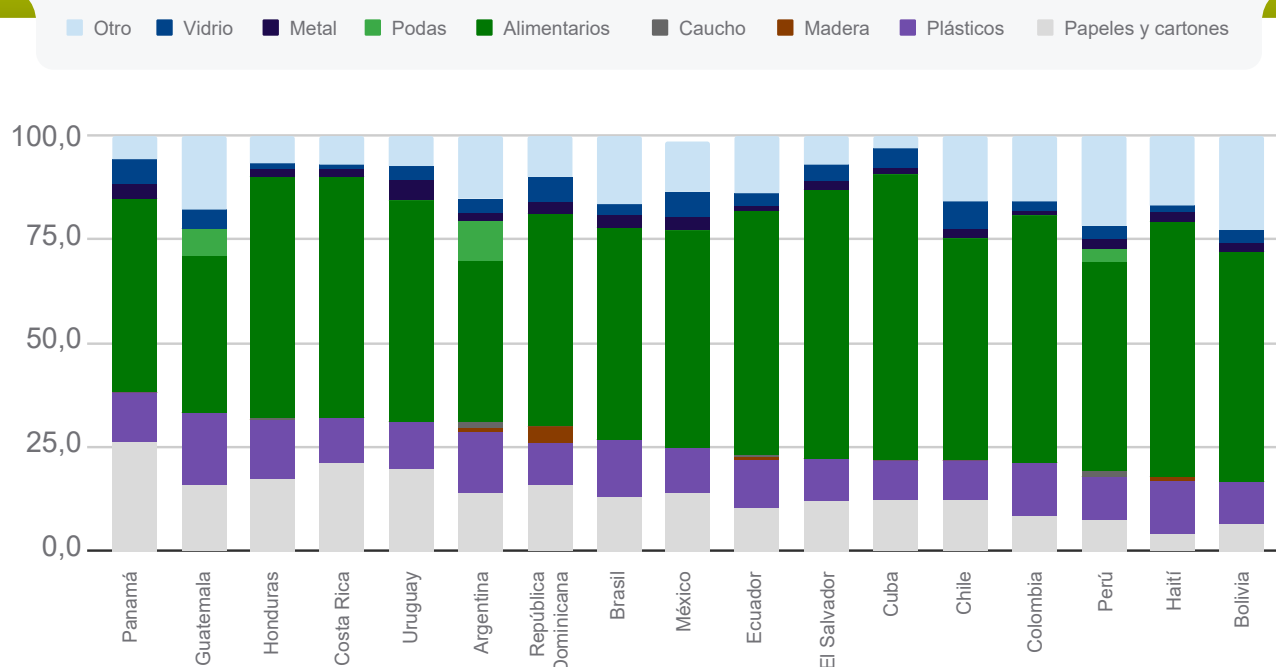


Gráfico 13: Composición regional de los residuos (%). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

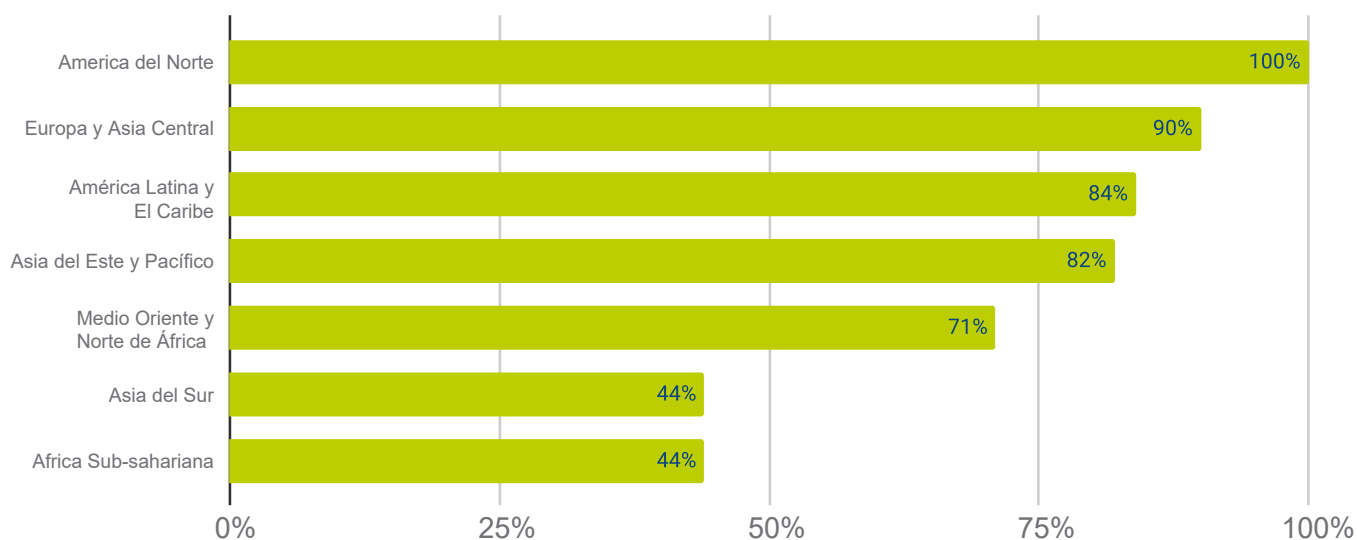
1.3.3. Cobertura de recolección de RSU

A nivel mundial

De acuerdo con el **Gráfico 14**, la mayor tasa de recolección de RSU la posee Norteamérica con el 100% de cobertura. Le sigue Europa y Asia Central con 90%, América Latina y El Caribe con 84%, Medio Oriente y África del Norte con 82%, Asia Oriental y el Pacífico con 71%, y Asia del Sur y África Subsariana con 44%.

El estudio del Banco Mundial también señala que las tasas de recolección de residuos en los países de altos ingresos son cercanas al 100%. En los países de ingresos medios bajos, las tasas de recolección son del 51%, y en los países de bajos ingresos del 39%. En los

países de bajos ingresos, los residuos no recolectados generalmente son manejados de manera independiente por los hogares y pueden ser arrojados, quemados o, con menos frecuencia, compostados.



Tasa de recolección

Gráfico 14: Tasa de recolección de RSU (%) por región Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

La recolección de residuos es uno de los servicios más comunes proporcionados a nivel municipal. Varios modelos de servicio de recolección de residuos se utilizan en todo el mundo. La forma más común de recolección de residuos es la recolección puerta a puerta. En este modelo, los camiones o vehículos pequeños, (reemplazados por carros de mano o burros, donde los entornos son más limitados) se utilizan para recoger la basura fuera de los hogares con una frecuencia predeterminada. En ciertas localidades, las comunidades pueden eliminar los residuos en un contenedor central o punto de recolección donde el municipio los recoge y los transporta a los sitios de disposición final. En otras áreas con recolección menos regular, las comunidades pueden ser notificadas a través de una campana u otra señal que un vehículo de recolección ha llegado al vecindario, como en Taiwán, China.

En América Latina y El Caribe

En comparación con las tendencias mundiales, la cobertura de recolección de residuos de América Latina y El Caribe (84% en total) es bastante alta para su nivel de ingresos, lo cual puede estar relacionado con la alta tasa de urbanización de ALyC, en comparación con otras regiones como África y Asia Meridional. A nivel urbano (Gráfico 15), se recolecta alrededor del 85% de los residuos, siendo la mayoría de los sistemas de recolección de residuos en América Latina y El Caribe realizados de puerta en puerta. En las comunidades rurales, la cobertura de recolección de residuos es de aproximadamente el 30%. La cobertura de recolección varía significativamente según sea el país incluido en el estudio ONU⁷, con una cobertura de más del 95% en países como Uruguay y Colombia, y un 12% en Puerto Príncipe, Haití.

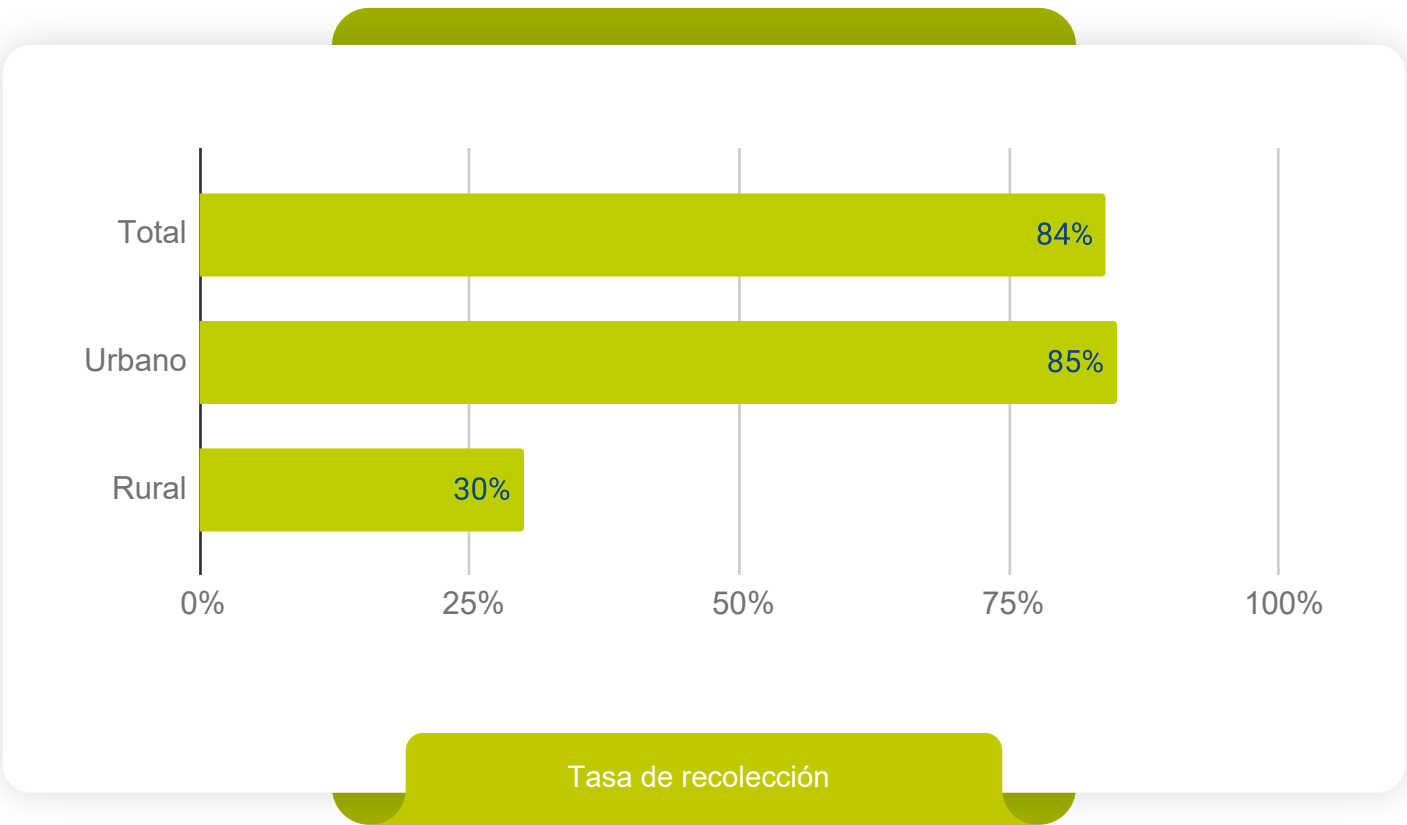


Gráfico 15: Cobertura de recolección de residuos en América Latina y El Caribe (%). Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

⁷Los países incluidos en el estudio ONU fueron clasificados según su nivel de ingreso (ingreso nacional bruto per cápita): Nivel de ingreso bajo: Haití; Nivel de ingreso Medio bajo: Bolivia, El Salvador, Guatemala, Guyana, Honduras, Nicaragua, Paraguay Nivel de ingreso medio alto: Argentina, Belice, Brasil, Colombia, Costa Rica, Cuba, Dominica, Ecuador, Granada, Jamaica, México, Panamá, Perú, Rep. Dominicana, San Vicente y Las Granadas, Santa Lucía, Surinam, Venezuela; Nivel de ingreso alto: Antigua y Barbuda, Bahamas, Barbados, Chile, San Cristóbal y Nieves, Trinidad y Tobago, Uruguay.

1.3.4 Destinos de RSU

A continuación, se presenta un panorama mundial de la gestión de residuos sólidos urbanos, mediante estadísticas por países y por regiones. Las categorías

de destino de gestión de residuos utilizada es la siguiente y se corresponde con las definiciones dadas en 1.2:

- Reciclaje
- Compost
- Incineración
- Relleno sanitario
- Vertedero controlado
- Basural

FOTO

A nivel mundial

En el **Gráfico 16** puede verse que, en regiones de más altos ingresos como América septentrional, Australia y Nueva Zelandia y Europa Occidental, 1/3 de los RSU son reciclados, pero a diferencia de Europa en Australia- Nueva Zelandia y América Septentrional, la segunda opción no es la incineración, sino que el relleno sanitario. La escasez de suelo en Europa los ha empujado históricamente a formas de eliminación con recuperación que no ocasione pérdida de suelos.

América Latina tiene una muy baja tasa de recuperación y prácticamente el 95% de sus residuos terminan disponiéndose de mejor o peor forma, utilizando suelo. Los bajos costos de disposición en rellenos sanitarios o vertederos controlados deben estar entre las principales causas de esta baja tasa de recuperación.

Esto es más evidente al comparar la tasa de recuperación de residuos (reciclaje, compost,

incineración) de Europa (91%) y América Latina y El Caribe (5%). En la Figura 2 se presentan comparativamente las distintas formas de gestión de residuos para distintas regiones, con las ideas establecido en la pirámide jerárquica de gestión de residuos.

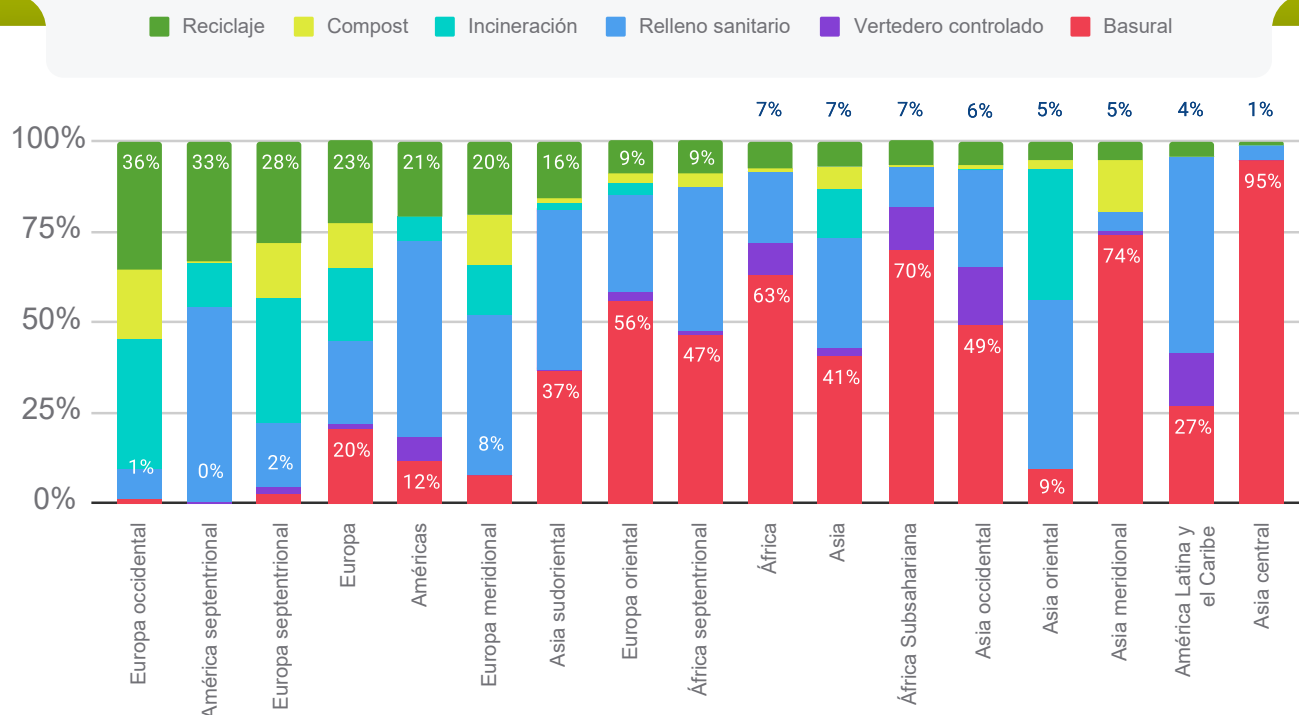


Gráfico 16: Destinos de RSU por región. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

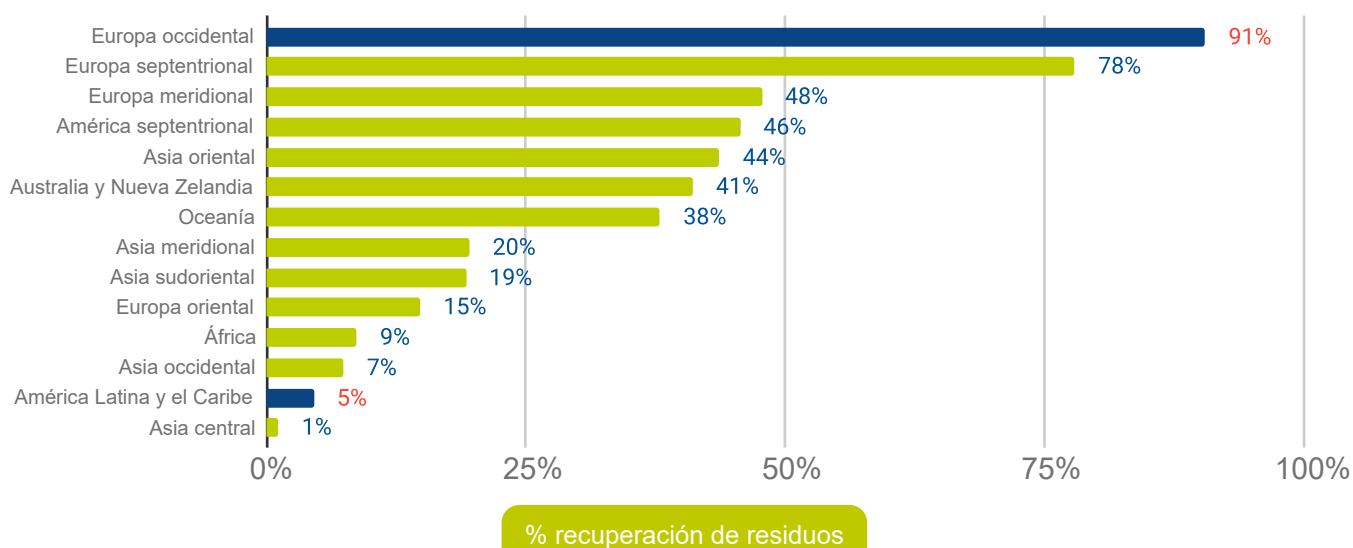


Gráfico 17: Porcentaje de los residuos que son recuperados ya sea por reciclaje, reutilización, incineración o compost. Destacado en rojo a América Latina y El Caribe y Europa Occidental

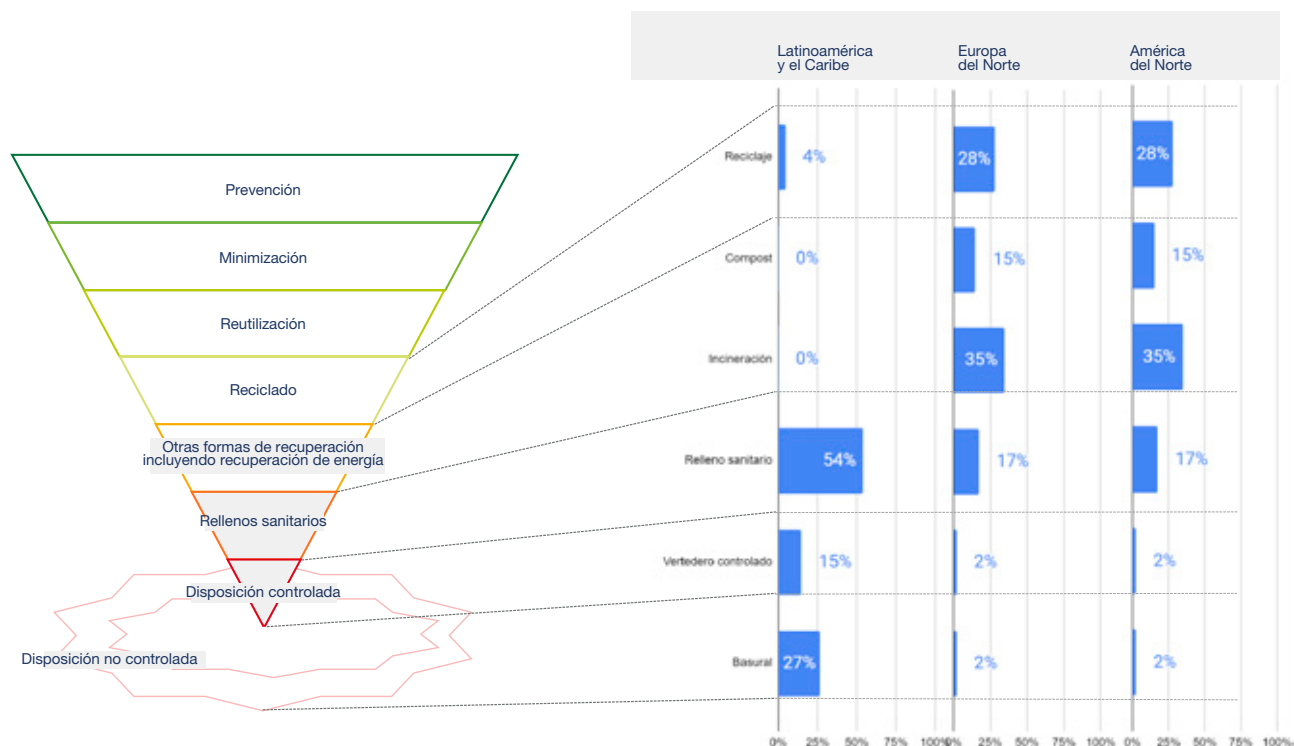


Figura 2: Participación para las distintas formas de gestión de residuos en cuatro regiones del mundo y su comparación con la jerarquía de gestión de residuos. [Banco Mundial, 2018]

En América Latina y El Caribe

A nivel de países de América Latina y El Caribe, la situación en gestión de residuos, pese a ser diversa, oscila entre mayores porcentajes de residuos que se disponen en botaderos a cielo abierto o la disposición en rellenos sanitarios, con muy bajos porcentajes de reciclaje o reutilización y participación de la incineración en casos muy puntuales bajo condiciones bastante particulares.

En muchos países, el porcentaje de residuos que se disponen en botaderos a cielo abierto es mayor al 50%, lo que trae consigo problemas ambientales y sanitarios muy graves, particularmente en zonas tropicales, donde la proliferación de mosquitos u otros vectores producen problemas de salud pública muy extendidos.

Los países que tienen mejor gestión de los residuos son aquellos donde la mayor parte de estos se disponen en rellenos sanitarios, lo cual parece la mejor opción, sin embargo, está lejos del mejor desempeño de países desarrollados donde los mayores porcentajes corresponden formas de recuperación como el reciclaje, la reutilización o la valorización energética. Precisamente la valorización energética, presentada genéricamente como incineración en las estadísticas disponibles, está muy ausente en la región, ya sea por los elevados costos de inversión que requieren, como por la imagen de proceso contaminante asociado a incineradores de bajo estándar de principios del siglo XX en Europa.

En el **Gráfico 18** se presenta la participación de las distintas formas de gestionar los residuos en América Latina y El Caribe y la tasa de recuperación que corresponde a la suma

del reciclaje, la incineración y el compostaje. Como se indicó, la incineración aparece como generalización de tratamientos térmicos con o sin recuperación energética y en muchos casos de los aquí considerados se tratará de sistemas de incineración sin recuperación energética.

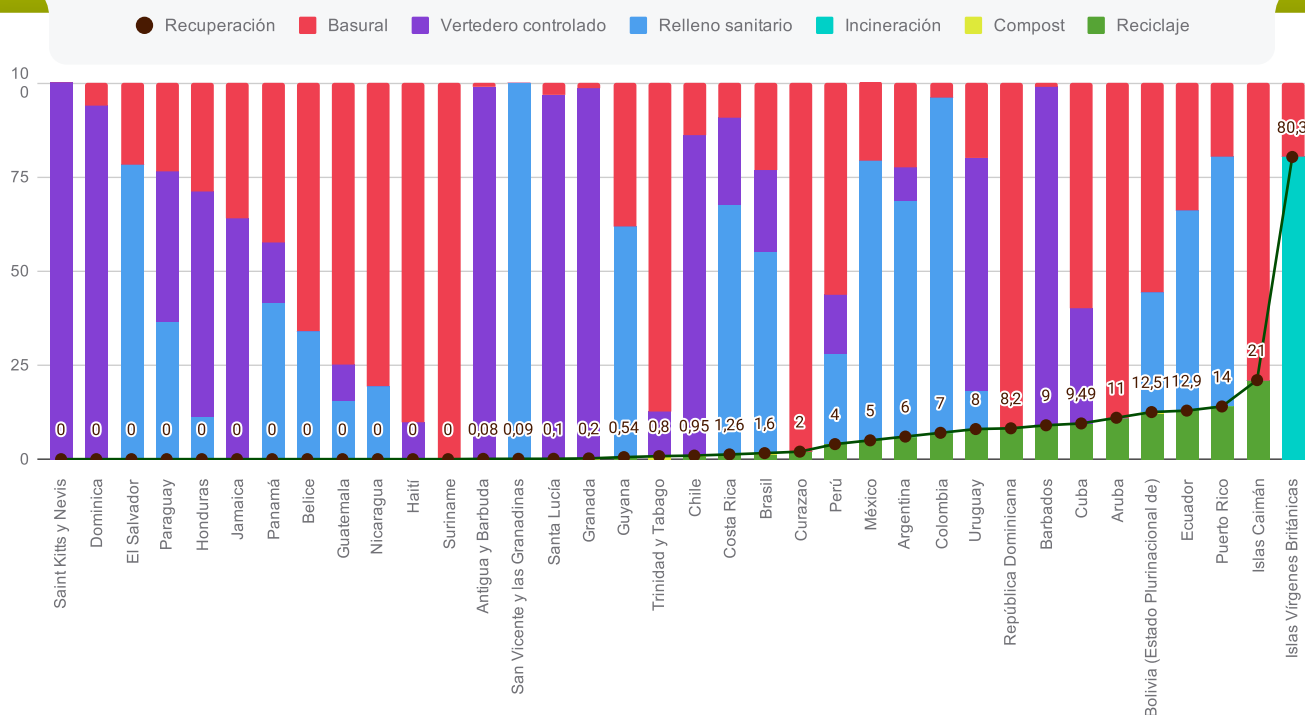


Gráfico 18: Destinos de residuos en América Latina y El Caribe. Fuente: Elaboración propia a partir del estudio “What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” (Banco Mundial, 2018).

1.3.5. Costos de gestión de RSU

Los ingresos y costos financieros de la gestión de los RSU están relacionados con los valores puramente monetarios, es decir, aquellos que deben ser contabilizados y usados en análisis financieros. Aunque este aspecto es el primer paso para determinar la forma de afrontar la gestión responsable de los residuos, la mayor parte de los países de América Latina y El Caribe fallan en su valoración.

Los costos de inversión incluyen todos aquellos costos relacionados con el desarrollo y construcción de un proyecto (preparación, planeación, estudios, permisos, consultas públicas, diseños, terreno, entre otros). Estos costos pueden resultar más fáciles de cuantificar y comparar con otras alternativas de inversión dado que dependen de las condicio-

nes locales y de la adquisición de equipos y suministros tecnológicos. En la región, las inversiones en equipos especializados e infraestructura con alto componente tecnológico son escasas debido a los altos costos en comparación con la capacidad de pago de la población.

Los costos de operación pueden ser determinantes en la sostenibilidad de los esquemas de gestión de residuos. Su cuantificación es fundamental, y en ocasiones los esfuerzos por mejorar la gestión de los residuos fallan en este aspecto. Por ejemplo, se observa que en algunos casos los gobiernos han financiado proyectos de inversión y después de un tiempo estos proyectos son abandonados debido a la falta de capacidades locales, tanto técnicas como financieras, para continuar con la operación de las infraestructuras construidas.

La identificación de los costos operacionales es necesaria para implementar mejoras en la eficiencia de la gestión. En los países de la región esta tarea no siempre es fácil debido a que la prestación del servicio en muchos casos es asumida directamente por las municipalidades y la contabilidad no se registra de forma separada de las demás cuentas municipales.

En la **Tabla 6** se muestran los costos de las principales actividades asociadas a la gestión de los residuos sólidos para 17 de los 33 países de

América Latina y El Caribe, de acuerdo con el estudio ONU. Es importante mencionar que los costos no son comparables entre sí, dado que las condiciones sociales, económicas, culturales, técnicas y tecnológicas de los países son diferentes (por ejemplo, costos de personal, combustible, terrenos, exigencias ambientales). Sin embargo, si consideramos sólo el costo de disposición final, que es reportado para la mayoría de los países, oscila entre 5,6 y 31,5 US\$ la tonelada.



Tabla 6: Costos de la gestión de residuos sólidos por kilómetro o tonelada.

PAÍS	Barrido (USD/km)	Recolección (USD/t)	Transferencia (USD/t)	Disposición final (USD/t)	Total, unitario (USD/t)
Argentina	38,93	54,02	15,09	17,63	125,67
Belice	ND	ND	21	12,5	33,5
Bolivia	13,04	32,22	ND	16,43	61,69
Brasil	26,44	46,2	ND	31,48	104,12
Colombia	9,41	34,12	ND	9,0	52,53
Costa Rica	ND	22,65	ND	18,81	41,46
Chile	31,68	23,34	4,63	11,43	71,08
Ecuador	ND	30,05	ND	5,61	35,66
El Salvador	ND	30,42	ND	21,02	51,44
Guatemala	9,94	10,84	ND	ND	20,78
Honduras	6,62	20,81	ND	8,16	35,59
México	1,8-25,5	6,8-139,9	ND	1,1-39,4	9,7-204,8
Paraguay	4,92	6,59	ND	5,88	17,39
Perú	26,35	15,02	ND	5,98	47,35
Santa Lucía	ND	10,72	ND	23,27	33,99
Trinidad y Tobago	ND	ND	ND	16,4	16,4
Uruguay	16,73	47,85	ND	29	93,58

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe” (ONU, 2018).

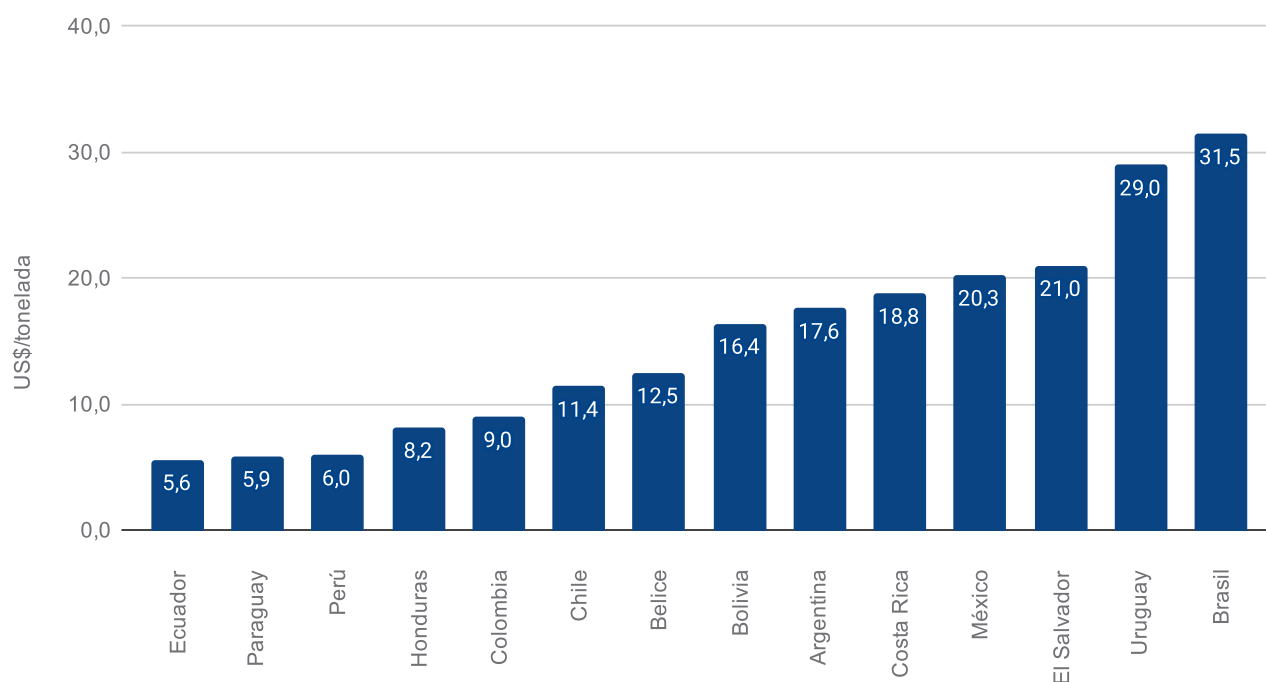


Gráfico 19: Costo final de disposición de RSU para aquellos países de América Latina y El Caribe con presencia de industria del cemento (US\$) (2016). Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe” (ONU, 2018).

1.4. Residuos sólidos industriales



Los residuos sólidos industriales, tal como fue señalado, son la fracción sin valor económico inmediato, de los procesos de extracción, fabricación, transformación, consumo de materias primas, como también de sus actividades complementarias, como es el mantenimiento.

La clasificación de este tipo de residuos es relevante por su volumen y gestión, y se encuentra, a menudo, sujeta a normativas más estrictas. Además, las industrias por su naturaleza y manejo de economías a escala tienen mayores capacidades para resolver más adecuadamente su gestión de residuos. Con el fin de graficar mejor la tipología de residuos, revisaremos las clases de residuos sólidos que generan los distintos tipos de industrias y como estos residuos son valorizados en la industria del cemento.

Veremos que, en cuanto a su composición, hay muchos residuos comunes con los RSU, por tanto, la diferencias se encuentran en los volúmenes, y en el punto del ciclo de vida donde se encuentran: los residuos industriales se generan en la etapa de procesos de extracción, elaboración y/o producción, mientras que los RSU se generan en la etapa de consumo o post-consumo por parte de particulares.

Los residuos industriales, de naturaleza y composición más homogénea por provenir de industrias o procesos

específicos, son los más utilizados actualmente como combustibles y materias primas alternativas por parte de la industria del cemento, y se generan en cantidades mucho mayores que los RSU. Para los países con datos disponibles de generación de residuos industriales, la tendencia muestra que, a nivel mundial, la generación de residuos industriales es casi 18 veces mayor que los RSU.

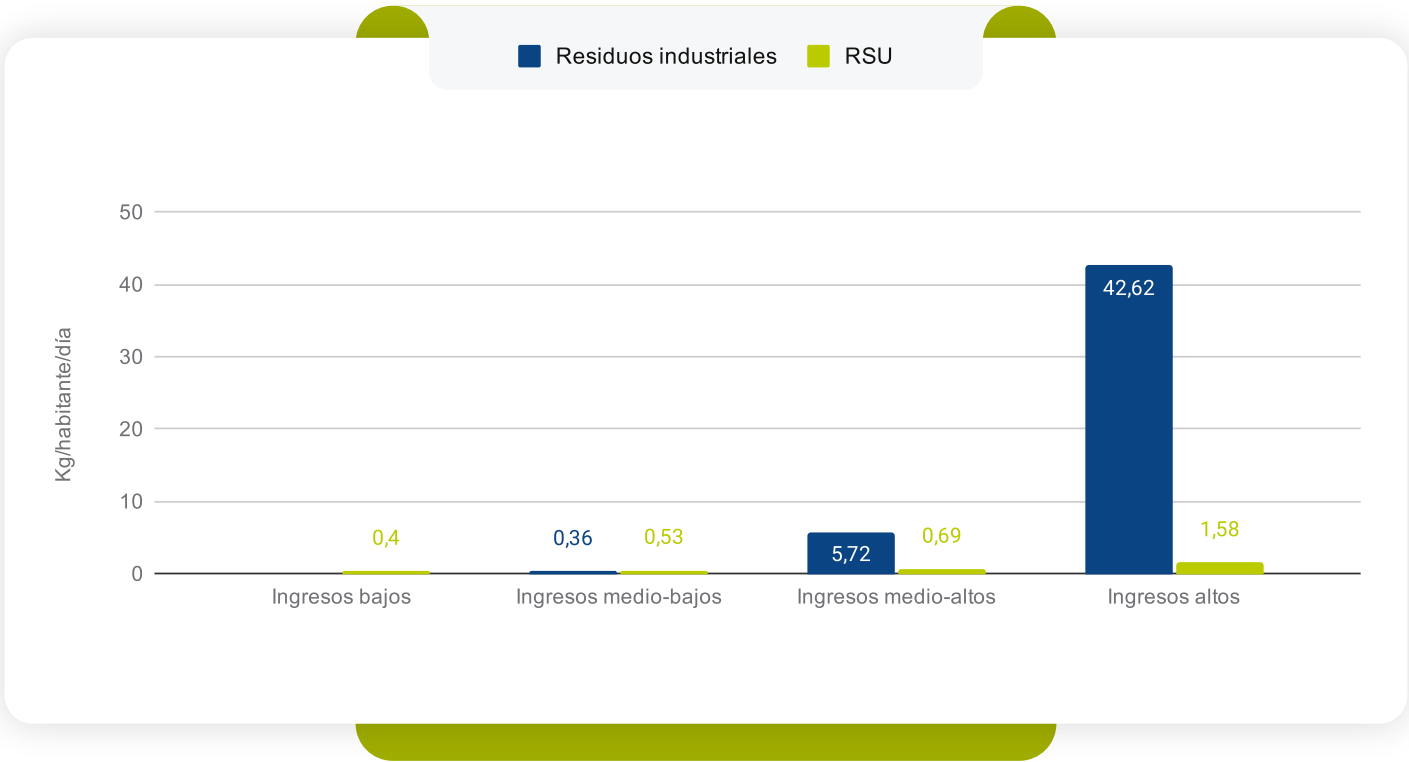


Gráfico 20: Comparación entre la tasa de generación de residuos sólidos urbanos y residuos industriales en función del nivel de ingreso de los países. Fuente: Banco Mundial.

Otro dato importante de mencionar es que la generación de residuos industriales aumenta significativamente a medida que aumenta el nivel de ingresos de los países.

1.4.1. Industria embalaje

A partir de materias primas como madera, vidrio o plástico y otros materiales similares, la industria del embalaje elabora elementos para proteger productos de los daños físicos o agentes exteriores, durante el almacenamiento y transporte, por ejemplo. Estos procesos producen residuos de la misma naturaleza de la materia prima utilizada, además de aguas residuales, entre otros residuos. Casos de uso en la industria del cemento: restos de madera y plástico como combustibles alternativos.

1.4.2. Industria envases

A partir de materias primas como madera, vidrio o plástico, la industria del envase elabora recipientes destinados a contener un producto con la misión específica de protegerlo de su deterioro, contaminación o adulteración. Estos procesos generan residuos de la misma naturaleza de la materia prima utilizada, además de aguas residuales, entre otros residuos.

Casos de uso en la industria del cemento: Restos de madera y plástico como combustibles alternativos.

1.4.3. Industria del neumático

Es la industria dedicada a elaborar una pieza de caucho con o sin cámara de aire, la cual es montada sobre la llanta de una rueda denominada neumático. Sus principales materias primas son el caucho natural o sintético, textiles, acero; que aportan resistencia a los neumáticos.

El residuo más importante de esta industria son los neumáticos descartados, además de fracciones o restos de materias primas del proceso industrial.

Casos de uso en la industria del cemento: Neumáticos fuera de uso y restos de caucho como combustible alternativo.

1.4.4. Industria reciclaje de aceites

El objetivo de esta industria es la destilación o procesamiento del aceite usado para eliminar el agua, los sedimentos, los aditivos, los metales pesados, entre otros, para así obtener bases regeneradas o bases lubricantes útiles para la fabricación de nuevos aceites o combustibles alternativos.

Esta industria posee residuos propios de su proceso productivo, pero, debido a que es una industria de reciclaje, lo más relevante es su producto final, los cuales son los aceites reprocesados.

Casos de uso en la industria del cemento: Aceites reprocesados como combustible alternativo.

1.4.5. Industria alimentaria

La industria alimentaria es el sector productivo que se encarga de todos los procesos propios de la cadena alimenticia de la sociedad. Abarca las etapas de producción, selección, procesamiento, transporte y venta de alimentos provenientes de una muy variada oferta agropecuaria. Sus productos atraviesan un conjunto de procesos de transformación que culminan con su consumo por parte del público. Esta industria emplea insumos de origen animal y vegetal.

Esta industria se puede superponer en su etapa extractiva o primaria con la industria agropecuaria. En este caso nos referiremos a la etapa del procesamiento, cuyos residuos son, en general, alimentos vencidos o descartados.

Casos de uso en la industria del cemento: Alimentos vencidos y sus envases.

1.4.6. Industria maderera

Corresponde a la actividad industrial que se ocupa del procesamiento de la madera, desde su plantación hasta su transformación en objetos de uso práctico, pasando por la extracción, corte, almacenamiento o tratamiento bioquímico y moldeo. El producto final de esta actividad puede ser la fabricación de elementos de mobiliario, materiales de construcción o la obtención de celulosa para la fabricación de papel, entre otros derivados de la madera.

Los residuos en esta industria se encuentran en la etapa extractiva de árboles (recortes o fracciones de madera no usada), en los aserraderos (aserrín, despuntes de madera, químicos y otros), y en la fabricación (recortes de madera, aceites, pinturas y solventes).

Casos de uso en la industria del cemento: Madera y solventes como combustibles alternativos.

1.4.7. Industria agropecuaria

El sector agropecuario se dedica a la crianza o cultivo de ganado, aves, peces, frutas y verduras, legumbres y otros similares. Los principales residuos de este sector son variados. Por ejemplo, están los residuos de la extracción de la malta de la cebada en la cerveza (bagazo), del mosto en el vino (orujo), del aceite de oliva (alpeorujo), del procesamiento de la soja (okara), de las paltas (cuesco), de los choclos o mazorcas (coronta), o de los purines de cerdo (orina y otros desechos orgánicos de cerdos).

La producción mundial de residuos agrícolas es más de cuatro veces y media la de los RSU. El desperdicio agrícola es más significativo en países con grandes industrias agrícolas. Los residuos agrícolas a menudo se gestionan por separado de otros flujos de residuos, ya que son en gran medida orgánicos y pueden servir como insumo útil para futuras actividades agrícolas.

Casos de uso en la industria del cemento: cuescos de aguacate o palta, cáscara de maní, cáscaras de arroz, corontas de mazorcas como combustibles alternativos carbono neutrales.

1.4.8. Plantas de tratamiento

Una planta de tratamiento de aguas residuales tiene por objetivo genérico conseguir, a partir de estas aguas y mediante diferentes procedimientos físicos, químicos y biotecnológicos, un agua efluente de mejores características, tomando como base ciertos parámetros normalizados. Su residuo principal son los lodos.

Casos de uso en la industria del cemento: Lodos deshidratados como combustible alternativo.

1.4.9. Minería

La minería es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos. Esta actividad genera tres tipos de residuos industriales: (1) los residuos industriales masivos como relaves, escorias, ripios y material estéril; (2) otros residuos sólidos mineros generados en los procesos de obtención, como los provenientes de sistemas de captación de emisiones al aire, barros arsenicales, borras plomadas, residuos del proceso de extracción por solventes y otros similares; y , finalmente, los (3) residuos

industriales sólidos tales como neumáticos, envases, baterías, filtros, plásticos, chatarra, entre otros.

Casos de uso en la industria del cemento: Relaves como materias primas alternativas y neumáticos, envases y plásticos como combustibles alternativos.

1.4.10. Industria petroquímica

La producción petroquímica se basa en complejos procesos físicos y químicos para transformar el gas natural y algunos derivados del petróleo en materias primas, las cuales representan la base de diversas cadenas productivas, tales como etano, metano, pentano, propano, butanos, naftas, materia prima para negro de humo, entre otros. Sus residuos principales incluyen restos de materia prima, polímeros residuales, lodos provenientes de la caldera, limpieza de los tanques o equipos de control de la contaminación, ceniza producida durante la operación de las calderas a carbón.

Casos de uso en la industria del cemento: Algunos de los residuos valorizados en la industria del cemento como combustibles alternativos son los slop oil, lodos de limpieza de tanques y suelos impactados con hidrocarburos.

1.4.11. Transporte

La industria del transporte tiene como fin movilizar personas o bienes de un lugar a otro mediante diversos tipos de vehículos (camiones, buses, trenes, barcos, aviones y similares). Sus residuos más relevantes son los neumáticos usados, filtros de aceite, baterías usadas, aceites, líquidos de frenos, entre otros.

Casos de uso en la industria del cemento: Neumáticos y aceites usados como combustibles alternativos.

1.4.12. Industria hotelera

La industria hotelera engloba a todos aquellos establecimientos dedicados a proveer un servicio de alojamiento y comida a huéspedes permanentes o transeúntes. Esta industria comprende también las actividades que se operen conjuntamente o en relación con la explotación de este tipo de empresas. Sus principales residuos son orgánicos, plásticos, envases, entre otros.

Casos de uso en la industria del cemento: Plásticos y envases como combustibles alternativos.

1.4.13. Industria farmacéutica

La industria farmacéutica se dedica de manera exclusiva a la fabricación, distribución, comercialización, y también la preparación de productos químicos farmacéuticos, los cuales se utilizan en el tratamiento de diversas patologías, así como también de la prevención de éstas.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) define residuos farmacéuticos como aquellos productos medicamentosos que han expirado, que no han sido utilizados, que fueron derramados, contaminados y medicamentos que no son de utilidad.

Casos de uso en la industria del cemento: Medicamentos vencidos como combustibles alternativos.

1.4.14. Industria del vestuario o textil

La industria textil es el sector de la industria manufacturera dedicado a la producción de fibras (naturales y sintéticas), telas, hilados, entre otros productos vinculados con la vestimenta. Suele abarcar la fabricación de ropas, piezas de vestir e incluso zapatos, y su labor se desarrolla en fábricas textiles o maquilas. Los residuos de esta industria son ropas usadas, material fibroso y restos de ropa del proceso de fabricación.

Casos de uso en la industria del cemento: Telas y fibras como combustibles alternativos.

1.4.15. Industria química

La industria química emplea materiales de origen animal o mineral como fuente de químicos (su materia prima), para su extracción y potencial recombinación, empleando tecnologías para manipular la materia a nivel molecular. Los residuos de esta industria incluyen papel, cartón, plásticos, reactivos químicos, solventes, residuos de polímeros, cauchos, lodos de depuración, entre otros.

Casos de uso en la industria del cemento: Papel, cartón, y solventes usados como combustibles alternativos.

1.4.16. Industria siderúrgica y fundiciones

La industria siderúrgica involucra todos aquellos procesos destinados a la manufactura de elementos de acero, desde la transformación del mineral de hierro y/o chatarra hasta la comercialización de los elementos producidos. Sus

principales materias primas son el mineral de hierro y la chatarra. Los residuos generados incluyen lodos, polvo y escoria de alto horno, arena usada de fundiciones.

Casos de uso en la industria del cemento: La escoria granulada de alto horno y la arena usada de fundiciones como materia prima.

1.4.17. Industria de la construcción

Esta industria ejecuta, entre otras, construcciones nuevas, obras de restauración, reparaciones corrientes y reparaciones de obras (incluyendo instalaciones y acabados de las mismas). Estas obras pueden ser viviendas, puentes, edificios, carreteras, puertos, represas e infraestructura en general, las cuales son construidas en base a materiales como concreto, madera, acero, aluminio, vidrio, ladrillos, entre otros.

En términos generales, los residuos sólidos de la construcción incluyen concreto, asfalto, acero, ladrillos, adobes, yeso, morteros, paneles, tuberías, restos de muebles, cerámicos, losa de sanitarios, materiales de cubierta, maderas en bruto y/o elaboradas, estructuras metálicas, restos vegetales, poliestireno expandido, tejas asfálticas, entre otros. Respecto a su volumen y riesgos, una gran cantidad de los residuos provenientes de la construcción y demolición corresponden a residuos denominados inertes.

Los residuos de construcción y demolición pueden “competir” con los RSU por el espacio de disposición en los vertederos. En algunos países, como India, es común deshacerse de ambos en las mismas instalaciones de eliminación.

Casos de uso en la industria del cemento: Algunos de los residuos valorizados en la industria del cemento como materias primas o como combustibles alternativos son el concreto, asfalto, paneles, maderas, tejas asfálticas. Cabe señalar que parte de la valorización material por reúso de los RCD ocurre como sustitución de agregados pétreos naturales para la producción de concreto.

1.4.18. Industria termoeléctrica

Esta industria maneja centrales termoeléctricas que son instalaciones en donde la energía mecánica que se necesita para mover el rotor del generador y, por tanto, obtener la energía eléctrica, se obtiene a partir del vapor formado al hervir el agua en una caldera. El vapor generado tiene una gran presión y se hace llegar a las turbinas para que en su expansión sea capaz de mover los álabes de estas.

Las centrales termoeléctricas consumen carbón, fuelóleo o gas natural. En dichas centrales la energía de la combustión del carbón, fueloil o gas natural se emplea para hacer la

transformación del agua en vapor y se genera cenizas como uno de sus principales residuos. Se producen cenizas de fondo (bottom ash) y cenizas volantes (fly ash), estas últimas pudiendo ser utilizadas como puzolana artificial; las cenizas de fondo no suelen tener actividad puzolánica suficiente y sólo podrían ser tratadas como filler, componente minoritario del cemento.

Algunos de los residuos valorizados en la industria del cemento como materia prima son las cenizas volantes o fly ash.



FOTO

Impactos socioambientales
**de los residuos
en la región**

CAPÍTULO

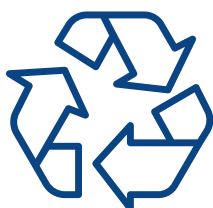
02



Impactos asociados al tratamiento y disposición final de residuos

Considerando las estadísticas mundiales y regionales de la generación, composición y tratamiento de residuos revisadas en el capítulo 1, este capítulo aborda los impactos sociales y ambientales asociados a este fenómeno. En función de los objetivos del presente estudio, se pueden diferenciar dos tipos de impactos:

- Impactos asociados a distintas formas de eliminación de residuos sin recuperación.
- Impactos derivados de emergencias naturales y sanitarias.



2.1

Impactos asociados a la eliminación de residuos

Las formas de eliminación de residuos corresponden , como se vio en el capítulo 1, a aquellas formas de gestión de residuos que no involucran su recuperación ya sea como reciclaje, reutilización, o valorización energética.

De acuerdo a la tabla 2, las formas de gestión sin recuperación corresponderían a la eliminación sanitaria, los vertederos controlados y la disposición en basurales a cielo abierto o en cuerpos de agua. En la eliminación sanitaria tendríamos las alternativas de relleno sanitario o incineración sanitaria (sin recuperación).

La presentación a continuación será para

- **Disposición en suelo:** Formas de disposición desde el basural hasta el relleno sanitario, donde se presentan los impactos para el caso más severo, el basural y se menciona de qué forma estos impactos son mitigados en caso de tratarse de vertedero controlado o relleno sanitario y si algún impacto se ve aumentado al mejorar el estándar de la disposición.
- **Disposición no controlada en cuerpos de agua:** Residuos que por distintas vías llegan a cuerpos de agua continentales o marinos y producen impactos tanto por la basura de gran tamaño como por los microplásticos, en toda la cadena trófica.
- **Incineración.** Se presenta la incineración sanitaria sin recuperación, la cual se caracteriza porque existe solo con el fin de eliminar residuos. Muchas veces operan a bajos estándares de seguridad y control de emisiones, cuando son una solución sanitaria de bajo costo a residuos de tipo hospitalario o peligrosos y bajo ese escenario se presenta en esta sección.

2.1.1 Disposición en suelo

Como se mencionó en el primer capítulo, la peor forma de disposición en suelo son los basurales a cielo abierto donde, el cual, sin medidas de protección para el medio ambiente o la salud pública, es elegido por algún grupo humano para depositar sus residuos. A esta situación, se añade la absoluta falta de control en cuanto a los tipos de residuos recibidos en estos sitios, donde se pueden acumular inclusive residuos originados por los servicios de salud y las industrias.

En relación con su ubicación, los basurales son establecidos generalmente en cualquier explanada retirada, barranco, sumidero, margen de río, donde se descargan de cualquier forma los residuos. Este tipo de disposición puede ser realizado tanto por particulares que desean deshacerse de residuos de la forma menos costosa posible, como por algunas microempresas que realizan estas malas prácticas.

Respecto a los distintos impactos sociales y ambientales de los residuos dispuestos en basurales a cielo abierto, podemos mencionar: las enfermedades, la quema de residuos y emisiones contaminantes, el reciclaje informal, la contaminación de suelos, la contaminación de aguas subterráneas y superficiales, y la degradación del paisaje y malos olores.

La principal fuente de información en la cual se basan los impactos revisados a continuación corresponde al informe publicado en junio de 2015 por la ISWA⁸ “The Tragic Case of Dumpsites. Wasted Health”, el cual se encuentra disponible en Internet.

2.1.1.1. Enfermedades

Los efectos e impactos sobre la salud a causa de los basurales a cielo abierto se relacionan con algunos de los contaminantes o sustancias peligrosas que se encuentran en las corrientes de los residuos o en los contaminantes que se generan en el basural a través de interacciones fisicoquímicas.

Estos contaminantes pueden afectar la salud de las personas a través de distintos mecanismos de transmisión. Respecto a la asimilación de contaminantes por animales, la proliferación de vectores de

enfermedades, como moscas, mosquitos, cucarachas y roedores, constituye una de las formas de contagio más comunes en basurales. Algunas de las enfermedades vinculadas con este mecanismo de transmisión corresponden al dengue y a la leptospirosis, además de distintos trastornos gastrointestinales, cuyos efectos se amplifican cuando la población carece de servicios de saneamiento básicos. En este sentido, dichos cuadros pueden provocar, a su vez, procesos diarreicos y parasitarios que pueden converger en episodios de desnutrición infantil.

Animales como perros, gatos, incluso ganado y animales de granja (en caso de que el basural se encuentre cercano a este emplazamiento), también constituyen vectores de enfermedades. Dado que los basurales normalmente no cuentan con la debida protección perimetral para impedir el ingreso, es común encontrar en ellos a estos animales. Algunas de las enfermedades transmisibles entre animales y seres humanos (enfermedades zoonóticas) son la cisticercosis, la teniasis y la triquinosis, que se vinculan principalmente con el consumo de carne de cerdo.

Además de los mecanismos de transmisión por vectores ya mencionados, existen otras maneras en que una persona puede entrar en contacto con los contaminantes presentes en los basurales a cielo abierto. Estas son:

- **Inhalación** (proceso por el cual ingresa el aire hasta los pulmones);
- **Ingestión** (acción de introducir algo en el cuerpo por la boca).
- **Contacto con la piel**

Los efectos sobre la salud que pueden ocasionar los contaminantes presentes en los basurales a cielo abierto pueden ser agudos o crónicos. Uno agudo se produce cuando hay una única exposición a una sustancia peligrosa por un período de tiempo corto. Los síntomas pueden aparecer inmediatamente luego de una exposición, por ejemplo, una quemadura cuando la piel se expone a un fuerte ácido, como el de una pila que pierde líquido. Los crónicos suceden después de un período de tiempo más largo y, por lo general, luego de reiteradas exposiciones en cantidades más pequeñas. Los efectos de salud crónicos están más asociados a enfermedades o heridas que se desarrollan luego de un

⁸ La ISWA es una asociación no gubernamental, independiente y sin fines de lucro. Su principal objetivo consiste en promover y desarrollar la gestión profesional de residuos en todo el mundo como una contribución al desarrollo sostenible.

largo tiempo, como el cáncer, la insuficiencia hepática, el retraso en el crecimiento físico y un desarrollo intelectual limitado. La bioacumulación⁹ es una razón de exposición crónica. Cuando algunas sustancias peligrosas (incluso en cantidades pequeñas) se absorben y permanecen en el cuerpo humano en lugar de ser eliminadas del organismo, se acumulan y pueden ocasionar daño a lo largo del tiempo.

En resumen, los contaminantes pueden desplazarse a través del aire, el suelo o el agua. También pueden asentarse o ser asimilados por plantas o animales, y llegar así al aire, a la cadena alimenticia y al agua. Respecto a los contaminantes que pueden desplazarse a través del aire y las enfermedades que producen, estos serán tratados a continuación.

Aspectos de un relleno sanitario que minimizan la ocurrencia de enfermedades:

La cobertura de suelo intermedia y final diaria, la protección perimetral y control sobre la cantidad y composición de los residuos que entran, minimizan los impactos sobre la salud de la población, reduciendo la aparición de vectores y con limitado tiempo de exposición de los residuos al aire.

2.1.1.2. Quema de residuos y emisiones contaminantes

La quema de residuos a cielo abierto es una práctica habitual en muchos basurales, como un método para reducir el volumen de los residuos que, no obstante, puede producir severos daños en la salud pública, además de nocivos efectos ambientales. La quema de residuos también puede darse de manera “natural” debido, por ejemplo, al aumento de temperaturas y la mayor inflamabilidad de ciertos productos, más aun considerando que este tipo de rellenos puede encontrarse una cantidad importante de residuos industriales de todo tipo .

Respecto a la generación de toxinas, la quema de hidrocarburos, materiales clorados y pesticidas presentes en los residuos se produce a temperaturas bajas (entre 250°C a 700°C) y en condiciones de deficiencia de oxígeno, esto genera las condiciones propicias para la generación de una amplia gama de gases tóxicos perjudiciales para el ambiente y la salud pública. Estos gases contienen dioxinas¹⁰/furanos, compuestos orgánicos volátiles, partículas (PM), cloruro



⁹ La bioacumulación es el proceso de acumulación de sustancias químicas en organismos de forma que estos alcanzan concentraciones más elevadas que las concentraciones en el ambiente o en los alimentos.

¹⁰ La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos estima que la quema de residuos mixta sin control es una fuente de dioxinas mayor a la combustión del carbón, la fundición de los metales ferrosos, la incineración de los residuos peligrosos o las operaciones del blanqueo de las plantas de celulosa.

de hidrógeno (HCl), monóxido de carbono (CO) y óxidos de azufre y nitrógeno, y liberan metales incluyendo antimonio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, plomo, manganeso, mercurio, fósforo y titanio (Nammari, D.R., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S. and Moutavtchi, V., 2004).

En relación con los contaminantes liberados durante la quema de residuos en basurales a cielo abierto, algunos son:

1.Dioxinas: Las dioxinas, cuyo nombre químico es 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-para-dioxina (TCDD), son compuestos orgánicos clorados que se originan en procesos térmicos en los que se alcanza una temperatura entre 200°C y 400°C, y que pertenecen a la llamada “docena sucia”¹¹: un grupo de productos químicos peligrosos que forman parte de los llamados contaminantes orgánicos persistentes (COP). A menudo, el término dioxinas se utiliza para referirse a una familia de compuestos relacionados entre sí desde el punto de vista estructural y químico, constituida por las dibenzo-para-dioxinas policloradas (PCDD) y los dibenzofuranos policlorados (PCDF). Bajo esa designación también se incluyen algunos bifenilos policlorados (PCB) análogos a la dioxina que poseen propiedades tóxicas similares. Al poseer un elevado potencial tóxico, estos contaminantes ambientales pueden provocar problemas de reproducción y desarrollo, afectar el sistema inmunitario, interferir con hormonas y, de ese modo, causar cáncer. Una vez que penetran en el organismo, persisten en él durante mucho tiempo gracias a su estabilidad química y a su fijación al tejido graso, donde quedan almacenadas. Se calcula que su semivida en el organismo oscila entre 7 y 11 años. En el medio ambiente, tienden a acumularse en la cadena alimentaria. Cuanto más arriba se encuentre un animal en dicha cadena, mayor será su concentración de dioxinas.

2.Hexaclorobenceno (HCB): La quema de los residuos también puede liberar al ambiente HCB. Este compuesto orgánico clorado, cuya fórmula molecular es C_6Cl_6 , es una toxina altamente persistente que se degrada lentamente en el aire. Por lo tanto, puede movilizarse largas distancias en la atmósfera. Se bioacumula en los peces, en los animales marinos, en

los pájaros, en los líquenes, y en los animales que se alimentan de peces y líquenes. El HCB es un probable carcinógeno humano, y de acuerdo con estudios realizados sobre animales, las exposiciones a HCB de bajo nivel y a largo plazo puede dañar a fetos en desarrollo, y hasta podrían conducir a daño renal y hepático, y causar cansancio e irritación en la piel.

3.Formaldehído o Metanal: Cuando la madera, las pinturas, los revestimientos, o la espuma de urea-formaldehído se presionan o compactan y el aislamiento de fibra de vidrio se quema, liberan el compuesto químico llamado formaldehído, un compuesto altamente volátil y muy inflamable, de fórmula $H_2C=O$. La exposición al formaldehído puede causar lagrimeo, sensación de ardor en los ojos y en la garganta, náuseas, dificultad para respirar (por ejemplo, tos, opresión en el pecho, sibilancias o jadeo al respirar), y erupciones en la piel. La exposición prolongada al formaldehído puede causar cáncer.

4.Ácido Clorhídrico: Durante la quema de plásticos, o cloruro de polivinilo (PVC), se puede producir gas cloruro de hidrógeno, una disolución acuosa del gas cloruro de hidrógeno cuya fórmula molecular es HCl. Al ser inhalado, el ácido clorhídrico puede causar acumulación de líquido en los pulmones y posible ulceración del tracto respiratorio.

5.Partículas Microscópicas: El humo visible producto de la quema a cielo abierto, se compone de pequeñas partículas que contienen contaminantes tóxicos. Si se inhalan, estas partículas microscópicas pueden penetrar con facilidad profundamente en los pulmones y permanecer allí durante meses o incluso años. Respirar partículas aumenta las posibilidades de infección respiratoria, puede desencadenar en ataques de asma, y causar otros problemas, como la tos, sibilancias, dolor de pecho y dificultad para respirar.

6.Material Particulado (MP) o Carbón negro: El Carbón negro es un resultado muy habitual de las prácticas de quema a cielo abierto. Además de ser el segundo gran contribuyente al calentamiento global (después del dióxido de carbono), el carbón negro también plantea riesgos para la salud humana, incluyendo enfermedades cardiovasculares, respiratorias y muerte prematura.

¹¹ La “docena sucia” está compuesta por ocho pesticidas (aldrin, clordano, dieldrin, endrin, heptacloro, mirex, toxafeno, y dicloro difenil tricloroetano), dos productos industriales (hexaclorobenceno y policlorobifenilos) y dos residuos provenientes de la actividad industrial (dioxinas y furanos).

7.Monóxido de Carbono: El monóxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es un gas incoloro y altamente tóxico, que se genera a partir de la combustión incompleta de los residuos. Es un gas que impide que el oxígeno sea absorbido por la sangre y los pulmones. Es especialmente

peligroso cuando es inhalado por niños pequeños con pulmones inmaduros, los ancianos y las personas con condiciones crónicas del corazón o que padecen enfermedades pulmonares.

Aspectos de un relleno sanitario que minimizan la ocurrencia de quemas no controladas:

El control de acceso impide y/o dificulta la entrada de personas que pudieran iniciar incendios. Los sistemas de manejo de gas evitan la acumulación de combustible y la cobertura impide exposición al oxígeno de materia orgánica en descomposición que pudiera combustionar en forma espontánea.

2.1.1.3. Reciclaje informal

El reciclaje informal de residuos (alimentos vencidos, cosméticos y medicamentos, por ejemplo) se refiere al circuito informal de recuperación en el que intervienen actores con distinto rol y posicionamiento jerárquico (recolectores, intermediarios y empresas finales compradoras de material de pos-residuo¹²) que posee un rasgo particular: ninguno de los actores persigue fines ambientalistas, sino de supervivencia o comercialización. A partir de esta acción, se recupera una cantidad importante de residuos reutilizables que por esa vía no impactan sobre el ambiente y reingresan al circuito de la producción.

A pesar del innegable aporte que supone al medioambiente el reciclaje y reutilización de residuos, esta actividad puede ocasionar graves riesgos para la salud de quienes la realizan, ya sean recicladores formales o informales. Un estudio realizado en EE. UU. (K. O. Boardi & M. Kuitunen, 2005) sobre el aumento de casos de enfermedad coronaria demostró que los trabajadores de residuos sólidos se encontraban doblemente expuestos al riesgo que el resto de los

trabajadores del país. Si consideramos que el hallazgo de este estudio se aplica a los recicladores formales, los riesgos para la salud se incrementan sustancialmente en el caso de los recicladores informales, quienes realizan su labor con escasos (e incluso nulos) estándares de protección.

En América Latina y El Caribe, prácticamente todos los países llevan a cabo la recolección en todas las etapas del manejo de los residuos (en la fuente, el barrido, la recolección, la transferencia y en los sitios de disposición final), por recuperadores informales, principalmente, quienes realizan su labor en precarias condiciones sanitarias siendo unos de los grupos sociales más vulnerables. La segregación y recuperación formal de materiales reciclables no se realiza en gran escala en la región, son muy pocos los países que cuentan con plantas de separación y reciclaje formales como parte estructural de su sistema integral. Los programas de recolección selectiva en funcionamiento también son escasos (ONU, 2018).

En general, los riesgos para la salud a los que se encuentran expuestos los recicladores informales, principalmente, son:

¹² Se denomina material de pos-residuo a los residuos reutilizables que se generan luego del consumo domiciliario o industrial.

- 1.Trastornos respiratorios debido a la exposición prolongada y frecuente al humo proveniente de las quemas de residuos en los basurales.
- 2.Heridas ocasionadas por residuos cortantes y/o pesados.
- 3.Daños permanentes a causa de exposición a la materia fecal, o a los residuos químicamente peligrosos, tóxicos, u contaminados.
- 4.Infecciones como el VIH o la hepatitis C que se

encuentran, particularmente, en los residuos peligrosos de establecimientos de salud.

- 5.Finalmente, la exposición a los residuos presentes en los basurales puede provocar un aumento significativo de los riesgos de enfermedad respiratoria crónica. La eliminación de residuos ricos en materia orgánica, incluyendo aquellos residuos sólidos urbanos sin tratamiento, aumenta en gran medida el potencial de emisiones de bioaerosoles¹³.

Aspectos de un relleno sanitario que permiten controlar el reciclaje informal:

Si bien el control de acceso permite incidir sobre la formación de recolectores y clasificadores informales, puede eliminar una fuente de ingresos para la población que depende de estos recicladores. Cualquier proyecto de mejora de estándares o reemplazo de basural por un vertedero controlado o un relleno sanitario debiera evaluar los impactos sobre las comunidades vinculadas por la existencia de recicladores informales.

2.1.1.4. Contaminación de suelos

La contaminación de suelos es otro problema ambiental que causan los basurales a cielo abierto. Dado que los residuos contienen distintos contaminantes (principalmente metales pesados), estos pueden ser transferidos a las plantas, repercutiendo en sus ciclos de vida (Ali, S. M., Pervaiz, A., Afzal, B., Hamid, N., & Yasmin, A., 2014). Dependiendo de la tendencia de los contaminantes, estos terminan en aguas almacenadas en el suelo o filtradas hacia

las aguas subterráneas. En este sentido, los contaminantes: Cadmio (Cd), Nitrógeno (Ni), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Vanadio (V), Plomo (Pb), y Zinc (Zn), pueden alterar la composición química del suelo y causar un impacto en los organismos y en las plantas que dependen del suelo como alimento (Voutsas, D., Grimanis, A., & Samara, C., 1996).

Aspectos de un relleno sanitario que permiten controlar la contaminación de los suelos:

La plena gestión del lixiviado incluye la impermeabilización o aislamiento del residuo con el suelo de manera que los contaminantes quedan confinados a la celda donde fueron dispuestos.

¹³ Los bioaerosoles son partículas de tamaño microscópico suspendidas en el aire, bien de origen biológico o que puedan afectar a los seres humanos causándoles algún tipo de alergia, toxicidad o infección. Los bioaerosoles pueden estar constituidos por virus, bacterias, esporas, polen y en general cualquier resto de microorganismos con un diámetro aerodinámico comprendido entre 0.5 y 100 µm (Cox y Wathes, 1995).

2.1.1.4.1. Contaminación de aguas y suelos

La contaminación del agua puede producirse cuando el lixiviado proveniente del basural a través de las vías de flujo (sobre o debajo de la superficie) alcanza aguas subterráneas o superficiales o mediante el contacto directo con el agua.

El lixiviado es un líquido que se produce cuando los residuos sufren el proceso de descomposición, y cuando el agua (provocada por las lluvias, el drenaje de la superficie, las aguas subterráneas, etc.) penetra a través de los residuos sólidos hidrolizando las diferentes fracciones orgánicas en proceso de descomposición. A medida que el agua infiltra, los diferentes fracciones o componentes de los residuos en una reacción, química y/o biológicos de los residuos, generan el denominado líquido lixiviado. El agua percolada también puede mezclarse con el líquido percolado o lixiviado del proceso, el que, dependiendo de la granulometría y la densidad de la masa, que conforma el residuo, expulsará el líquido del espacio intersticial, debido al peso del material en el sitio o consolidación de la masa. El lixiviado conformado por un líquido que contiene materiales disueltos y suspendidos, que, si no son

controlados de forma adecuada, pueden pasar a través del piso de base o impermeabilización y contaminar napas freáticas o fuentes de agua potable, así como también aguas superficiales. La composición del lixiviado depende del estado de descomposición y del tipo de residuos dentro del sitio de disposición (basural).

Sumado a lo anterior, la contaminación de aguas puede verse intensificada a causa del cambio climático. El aumento de eventos extremos, como las lluvias, puede generar inundaciones, lo que a su vez puede generar el rebasamiento de las zanjas de contención del relleno o del basural (si es que este contase con ellas), desbordándose así el agua contaminada, contaminando efluentes o canales de escorrentía aledaños, o filtrándose a través de la tierra, alcanzando incluso napas subterráneas.

Las fuertes lluvias también pueden provocar aludes, por sobrecarga o saturación y presión de poro en relleno o los basurales, los cuales pueden provocar el deslizamiento de residuos, afectando a aquellas personas que residen cerca de cursos de agua, como los casos más emblemáticos conocidos en América del Sur, tales como Doña Juana en Colombia, El Basuro de Navarro en Cali, El relleno sanitario Alpcoma La Paz Bolivia, entre otros

FOTO

Aspectos de un relleno sanitario que permiten controlar la contaminación de aguas subterráneas:

La plena gestión del lixiviado incluye la impermeabilización o aislamiento del residuo con el suelo de manera que los contaminantes quedan confinados a la celda donde fueron dispuestos.

2.1.1.5. Degradación del entorno /paisaje y malos olores

La disposición de residuos en basurales genera un entorno degradado estética, ambiental y socialmente, afectando las condiciones de vida de la población que interactúa cotidianamente con este fenómeno, además de conllevar costes económicos, tales como la devaluación de propiedades y la disminución del turismo (en caso de ubicarse cercano a lugares de atracción).

Estos impactos se producen aun en rellenos sanitarios bien manejados, ya sea por el transporte de los residuos al sitio, por fallas en los sistemas de control o incluso solo por el riesgo de que los impactos se presenten, afectando el valor del suelo y el bienestar de la población.

Aspectos de un relleno sanitario que disminuyen la magnitud de los impactos sobre el paisaje:

Al diseñar un relleno sanitario se debe considerar los aspectos socioculturales del vecindario, especialmente en relación con las dimensiones de las instalaciones, que deben estar en conformidad con los planes reguladores de uso del suelo urbano. Los impactos estéticos y sonoros (ruidos de tránsito) deben ser evaluados especialmente en las áreas próximas a urbanizaciones. La migración de gases y polvo (olor y humo) según la dirección prevaleciente de los vientos, el flujo de las aguas subterráneas (que pueden contaminar a los pozos de agua potable) y las características de los cuerpos de aguas superficiales son elementos importantes para considerar en los proyectos de residuos sólidos. Por ejemplo: "host community fees", tarifas o impuestos especiales para las comunidades que reciben un relleno sanitario.

2.1.1.6. Emisiones de gases de efecto invernadero GEI

En el caso de basurales o vertederos controlados sin cobertura diaria, ocurre principalmente una descomposición del tipo aeróbica puesto que los residuos se encuentran en contacto con el aire, primando un proceso de oxidación. En estos casos se genera en su mayor parte dióxido de carbono, agua y prácticamente nada de metano.

En el caso de los rellenos sanitarios con cobertura diaria, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente (en ausencia de oxígeno). La digestión anaerobia es una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que

da lugar a una mezcla de gases (principalmente metano y dióxido de carbono), conocida como "biogás" y a una suspensión acuosa o "lodo" que contiene los componentes difíciles de degradar y los minerales inicialmente presentes en la biomasa. El producto principal de la digestión anaerobia es el biogás, mezcla gaseosa de metano (50 a 70% del volumen) y dióxido de carbono (30 a 50% del volumen), con pequeñas proporciones de otros componentes (1-5% del volumen, incluyendo: hidrógeno, sulfuro de hidrógeno, y trazas de vapor de agua), cuya composición depende tanto de la materia

prima ¹⁴ como del proceso en sí. La cantidad de gas producido es muy variable, aunque generalmente oscila alrededor de los 350 litros/kg de sólidos degradables, con un contenido en metano del 70%.

Considerando que el metano es un gas de potencial de efecto invernadero 28 veces [IPCC AR5 2014] más poderoso que el CO₂ (lo cual dependerá del horizonte de tiempo), su participación será de entre el 90 y 96% del CO₂eq presente en el gas.



Tabla 7: Proporción de metano en el CO₂eq de 1 m³ de biogás.

PROPORCIÓN METANO/CO ₂	Volumen por gas [m ³]		Masa por gas [Kg]		Potencial Efecto invernadero		GEI [KgCO ₂ eq]		
	Metano	CO ₂	Metano	CO ₂	Metano	CO ₂	Metano	CO ₂	% metano
1 m ³ de biogás									
50/50	0,5	0,5	0,3285	0,988	28	1	9,20	0,99	90%
70/30	0,7	0,3	0,4599	0,5928	28	1	12,88	0,59	96%

En el gráfico se muestra la generación de GEI CO₂eq bajo distintas formas de disposición para 1 tonelada de residuos sólidos urbanos con una composición correspondiente a la media de América Latina y El Caribe, presentada en 1.3.2.1.1. Para su cálculo se utilizó la Calculadora MRS-GEI de GIZ-IFEU La calculadora MRS-GEI fue desarrollada por IFEU Heidelberg, patrocinada por el Banco de Desarrollo KfW en cooperación con GIZ y financiada con fondos del Ministerio Federal para la Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ). En anexo

se presenta la configuración de parámetros que se utilizó para obtener los resultados presentados.

Cabe señalar que no todo el biogás generado en el seno de un relleno es recuperable, debido a la cinética propia del proceso de generación de biogás y a las inevitables pérdidas por migración tanto lateral como superficial, siendo 35 % un porcentaje aceptable de recolección. Estas pérdidas por migración se relacionan directamente con las obras de impermeabilización del relleno y con las características de la cobertura de celdas.

¹⁴ En un relleno, los variados componentes de los residuos sólidos se degradan anaeróbicamente a diferentes tasas. Por ejemplo, los alimentos se descomponen más rápido que los productos de papel. Aunque el cuero, la goma y algunos plásticos también son materias orgánicas, usualmente se resisten a la biodegradación. Algunos materiales lignocelulósicos, plásticos, textiles y otras materias orgánicas son muy resistentes a la descomposición vía organismos anaeróbicos.

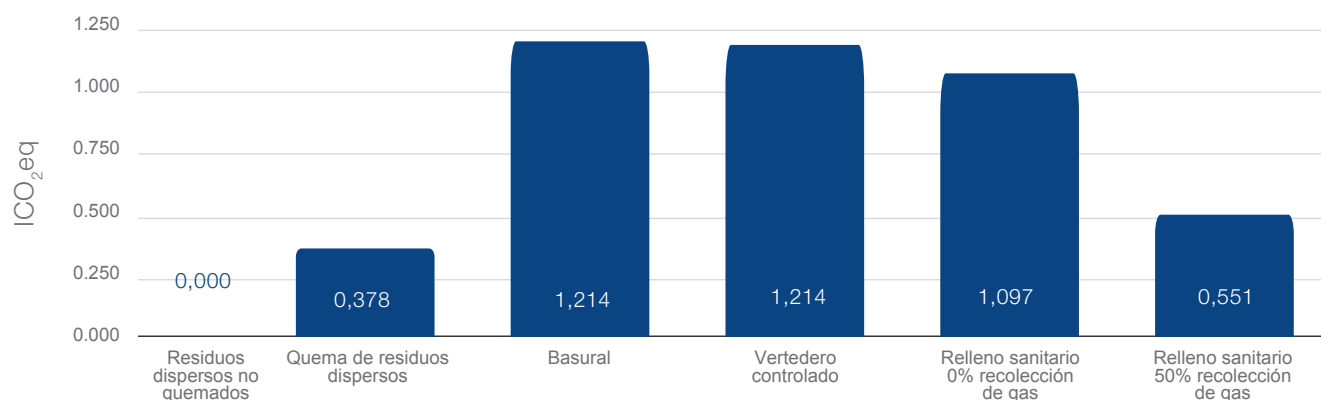


Gráfico 21: Generación de GEI en toneladas de CO₂EQ, por 1 tonelada de RSU, de composición promedio para Latinoamérica y El Caribe, bajo distintas formas de disposición final. [Fuente: elaboración propia sobre Calculadora MRS GEI].

La gestión de residuos aparece como un sector dentro de aquellos generadores de GEI para los inventarios nacionales, cuyos principales gases generados en las diferentes operaciones de gestión de residuos se indican a continuación:

- La contribución del sector en la generación de GEI es principalmente (97%) a través de la emisión de metano (CH₄), producto de la descomposición anaeróbica de los residuos en los rellenos sanitarios. El metano es un GEI cuyo poder de contaminación es hasta 28 veces superior al dióxido de carbono (CO₂) y cuya supervida en la atmósfera alcanza los 12 años. En tanto las proyecciones en cuanto a la generación de residuos pronostican importantes aumentos en los próximos años, su efecto inmediato es un aumento en la generación de metano mientras no se adapten medidas de mitigación.

- El sector también emite dióxido de carbono (CO₂) en las actividades de recolección y transporte y reciclado (si bien por una decisión metodológica no son contabilizados en el sector y sí en el de transporte), y también como producto de algunos tratamientos (compostaje, incineración, rellenos sanitarios) o en la quema de residuos en basurales.
- La emisión de óxido nitroso también se presenta en los procesos de compostaje e incineración.
- La quema indiscriminada de residuos genera carbono negro, que también es producido en la combustión que da movimiento a los equipos de transporte y operación de residuos y a los utilizados en el reciclado.

En el gráfico se presenta la participación de la gestión de residuos dentro del total de GEI en los inventarios nacionales de GEI.

Aspectos de un relleno sanitario que aumentan o disminuyen la magnitud de la generación de GEI:

Mirado solo desde la óptica de los GEI, la mejor opción sería “los residuos dispersos no quemados” y se da la paradoja de que un paso tan necesario en América Latina y El Caribe, como es la eliminación de basurales, puede traer consigo un aumento de la generación de GEI, a menos que se evite de alguna manera la generación y liberación de metano directamente a la atmósfera.

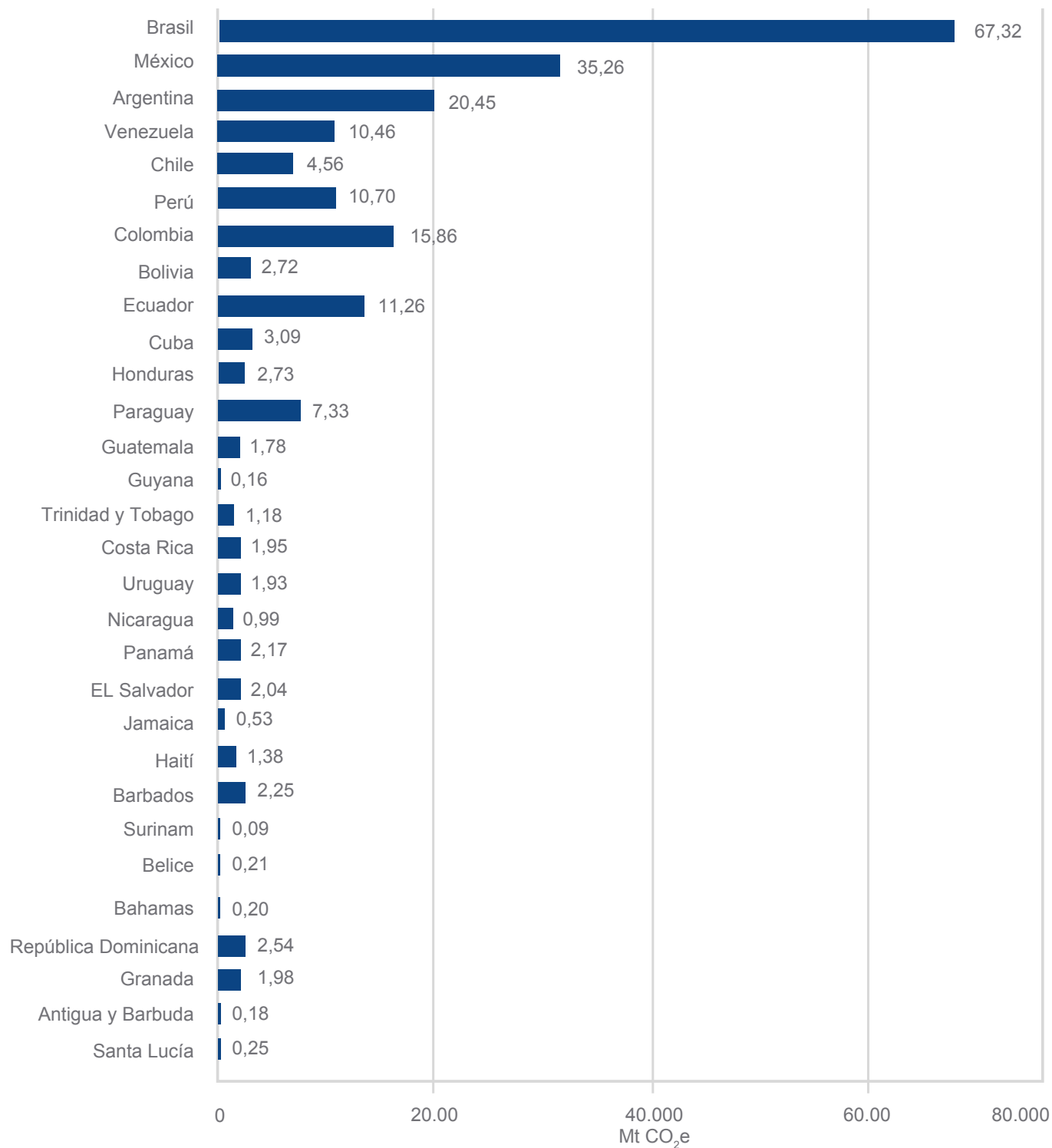


Gráfico 22: Generación de GEI por el sector de gestión de residuos, en millones de toneladas para los países de América Latina y El Caribe. [Fuente CEPALSTAT]

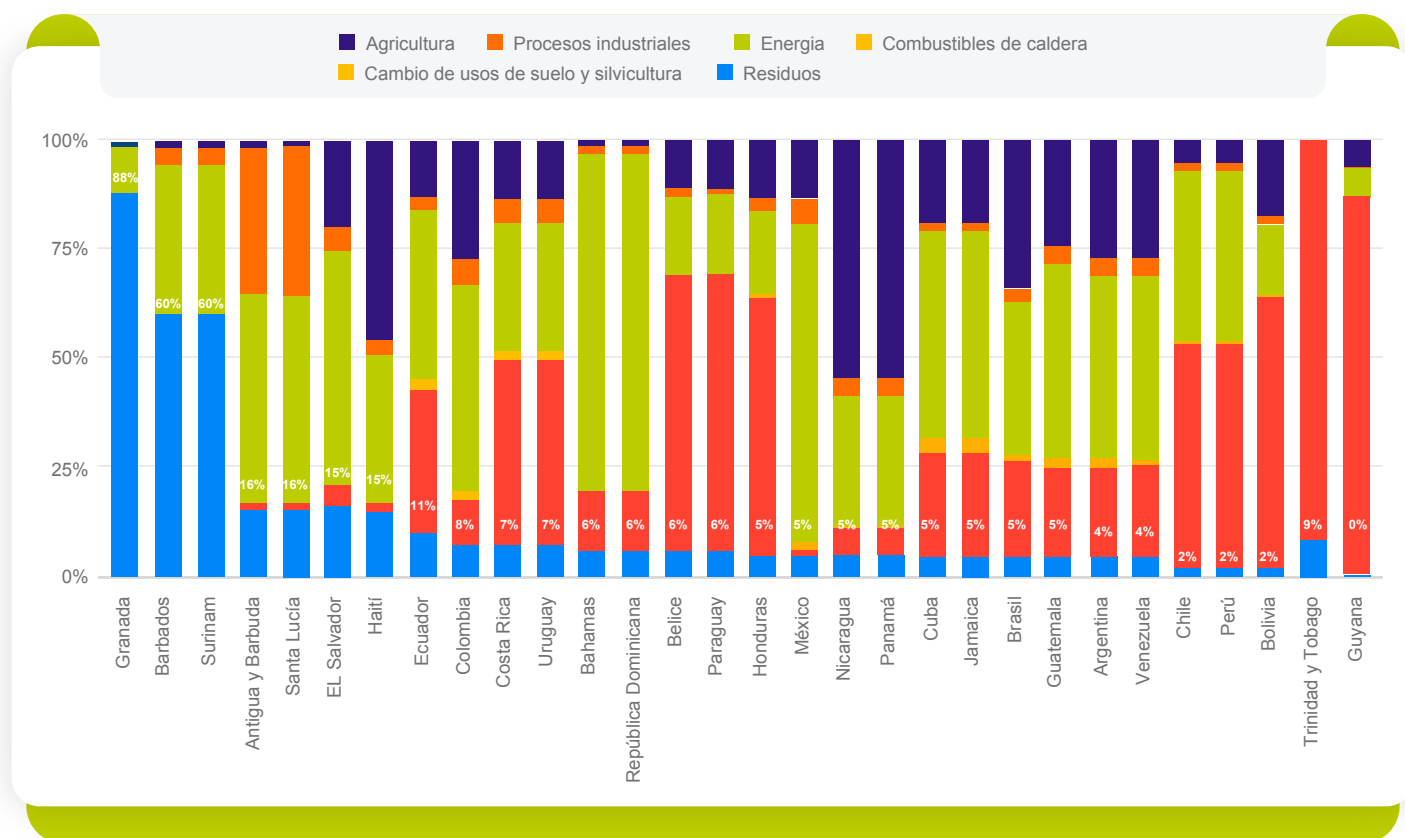


Gráfico 23: Participación de la gestión de residuos como generador de GEI sobre el total de GEI generados por cada país en el año 2016. [Fuente CEPALSTAT]

2.1.1.7. Riesgos de accidentes y desastres

Tanto en los basurales, como en los vertederos controlados y los rellenos sanitarios, existe el riesgo de accidentes y desastres por explosiones debido a la acumulación del gas metano, producido por la descomposición natural o descomposición de los residuos sólidos en forma anaeróbica. El gas metano tiende a acumularse en los espacios vacíos dentro del relleno pudiendo migrar a las áreas vecinas con el consiguiente peligro de explosión.

La remoción en masa, pérdida de estabilidad e inundaciones, constituyen otros de los riesgos de desastres que puedan afectar a un relleno sanitario. Estos incidentes suelen ocurrir en los rellenos sanitarios situados en vaguada o ladera porque generalmente la superficie del fondo del vaso presenta una elevada pendiente o está formada por terrazas a distintos niveles que facilitan el deslizamiento. La formación de grietas en la superficie del relleno es un indicativo previo a

este tipo de incidentes. Hoy la geotecnia ambiental es una asignatura relevante para un mejor diseño y asegurar la estabilidad y dejar atrás tantos deslizamientos por carecer de este cálculo.

La infiltración del agua de lluvia, el vertido de lodos o el recirculado de lixiviados sin control ocasiona, por una parte, un aumento de la presión intersticial en las capas centrales e inferiores por saturación de la masa de residuos, y por otra, la acumulación de lixiviado en el fondo del vaso cuando los sistemas de drenaje están obstruidos o simplemente no existen. Esta situación de saturación conlleva una reducción significativa de la cohesión efectiva ($C'0$) entre los residuos y del coeficiente de rozamiento entre estos y la geomembrana que si es lo suficiente elevada ocasiona la pérdida de estabilidad y el consecuente deslizamiento.

Posterior al deslizamiento, la masa de residuos generalmente sufre de nuevo procesos de degradación aerobia que genera incrementos de temperatura de más de 60°C. Esta situación puede dar origen a la combustión espontánea de algunas

fracciones de residuos y propagarse rápidamente porque la ruptura de los sistemas de captación de biogás en la zona afectada provoca la acumulación de metano, gas altamente inflamable (Sowers 1973).

Aspectos de un relleno sanitario que minimizan los riesgos de accidentes y desastres:

En un relleno sanitario se dan las siguientes condiciones; la elección del sitio se basa en factores ambientales, de la comunidad y de costos, la capacidad es prevista, hay una amplia preparación del sitio, plena gestión del gas y lixiviados, compactación de residuos, control pleno sobre la cantidad y la composición de los residuos que ingresan al sitio, que reducen considerablemente los riesgos de accidentes.

2.1.2. Disposición no controlada en cuerpos de agua: Basura marina

Tal como se revisó en el capítulo 1, existen diversos tipos de basuras marinas, tales como el vidrio, papel, cartón, metal, tela, residuos relacionados con la pesca, municiones, madera, filtros de cigarrillos, residuos sanitarios provenientes de aguas residuales, cuerdas, juguetes, etc. Sin embargo, diversos estudios han constatado que los plásticos representan más del 80% de las basuras marinas (Deudero, S. & Alomar, C., 2015).

Considerando lo anterior, a continuación, se expondrán los impactos asociados a la basura marina, diferenciando entre (1) los impactos de los macroplásticos en la biota marina, y (2) los impactos de los microplásticos en la biota marina. Si bien el énfasis se coloca en los impactos que los residuos (especialmente de los macro y micro plásticos) ocasionan en los mares y en los organismos que lo habitan, no debe perderse de vista que estos residuos también generan impactos en otros cuerpos de agua, tales como: ríos, lagos, humedales, lagunas, entre otros.

La principal fuente de información en la cual se basan los impactos revisados a continuación corresponde al informe publicado en 2017 por Ecologistas en Acción “Basuras marinas, plásticos y microplásticos”, un estudio que recoge una amplia revisión bibliográfica (más de 300 publicaciones científicas internacionales) y proporciona un completo resumen sobre los orígenes, impactos y consecuencias de las basuras marinas.

FOTO

2.1.2.1. Impactos de los macroplásticos en la biota marina

La pesca fantasma ¹⁵ y la ingestión de macroplásticos por parte de organismos marinos corresponden a los principales impactos de estos materiales no biodegradables en la biota marina. La cantidad de especies marinas afectadas por estas razones son numerosas. Un estudio realizado en 2015 identificó 693 especies marinas afectadas en todo el mundo producto de enredos e ingestión de macroplásticos, de las cuales un 17% figuran en la Lista Roja de la UICN¹⁶ al estar clasificadas como “casi amenazadas”.

En el caso de la pesca fantasma, la gravedad de los impactos dependerá del tamaño y estructura de los macroplásticos, además del tiempo que lleven abandonados y de si han sido colonizados o no por organismos (lo que puede disminuir su efectividad). En general, los organismos marinos pueden no sufrir una muerte directa derivada de los enmallamientos, pero sí resultar gravemente afectados por las heridas o los impedimentos generados por el atrapamiento, como la falta de movilidad, dificultades para la captura de alimento y muerte por inanición, o imposibilidad de escape ante presencia de depredadores, etc.

A continuación, se mencionará cómo distintos organismos se ven afectados por la pesca fantasma:

- En los tiburones, los atrapamientos suelen bloquear o dificultar la apertura de la boca, impidiendo una buena depredación. Las malformaciones y problemas en el desarrollo corporal en fases juveniles debido a enmallamientos afectan también gravemente a las condiciones de flotabilidad y maniobrabilidad de los tiburones, afectando su supervivencia de forma significativa.
- Las ballenas y delfines suelen quedar atrapados alrededor de la cabeza y las aletas.
- Las focas se ven afectadas por el enredo en redes abandonadas, alrededor de la cabeza y las patas delanteras,

lo que genera grandes dificultades para liberarse. Al igual que en el caso de los tiburones, estas basuras marinas suelen generar problemas (malformaciones que afectan las condiciones de flotabilidad y maniobrabilidad) durante el crecimiento de las focas, lo que dificulta su supervivencia. Un estudio estima que en Australia mueren 1.478 focas al año, debido a estos atrapamientos (Page, B., McKenzie, J., McIntosh, R., Baylis, A., Morrissey, A., Calvert, N., Haase, T., Berris, M., Dowie, D., Shaughnessy, P.D., Goldsworthy, S.D., 2004).

- En el caso de las aves marinas, los enredos se suelen dar alrededor del pico, o las alas y patas, con lo cual se dificulta o imposibilita su alimentación o desplazamiento. Además, la incorporación de basuras marinas para la construcción de los nidos (pueden confundir redes, cuerdas y otros restos de basuras marinas con las algas y las maderas que acostumbran a recoger), incrementa el riesgo de atrapamiento tanto por parte de las especies adultas como de las crías. En el caso de las poblaciones de alcatraces en Estados Unidos, y relacionado con el mayor volumen de pesca en las zonas cercanas a estas colonias, se han encontrado restos de basuras marinas en el 75% de los nidos.
- Las tortugas marinas también son víctimas de enredos en aparejos, tanto en el mar, como en el desplazamiento que realizan por la playa desde los nidos hacia el mar. Esto provoca que las amputaciones por estrangulamiento sean frecuentes en estos animales.
- Los organismos bentónicos suelen caer en trampas abandonadas en los fondos marinos, donde su propia muerte hace que sirvan de cebo para nuevas víctimas.

Respecto a la ingestión de macroplásticos por organismos marinos, esta suele ser menos evidente que los enmallamientos descritos anteriormente, sin embargo, sus consecuencias no dejan de ser preocupantes. Las basuras marinas, y en especial los plásticos, son confundidos con alimentos provocando disrupciones estomacales, o alterando funciones como la reproducción, en los organismos marinos. Los mamíferos marinos, tortugas y aves marinas han sido tradicionalmente las víctimas más evidentes de esta problemática. Según un reciente

¹⁵ La pesca fantasma (o enmallamientos, atrapamientos) se refiere a las capturas de peces, delfines, tortugas marinas, tiburones, dugongos, cocodrilos, aves marinas, cangrejos, y otros animales marinos, producidas por aparejos de pesca (redes, líneas de anzuelos, nasas), bolsas de plástico, o por las anillas de los packs de latas.

¹⁶ La Lista Roja de Especies Amenazadas de la UICN, creada en 1963, es el inventario más completo del estado de conservación de especies de animales y plantas a nivel mundial. La lista es elaborada por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la principal autoridad mundial en la materia.

estudio (Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M., 2015), el número de especies de aves, tortugas y mamíferos marinos afectados por esta causa ha aumentado de 143 (33%) a 233 (44%), y en particular para el caso de las aves, la presencia de plásticos en las colonias de aves marinas y costeras y su ingesta es cada vez mayor.

La estrategia de alimentación parece ser un factor clave a la hora de determinar si una especie tiende a ingerir más o menos plástico. Según un estudio (Day, R. H., Wehle, D. H. S., & Coleman, F. C., 1985) en el que se analizó la ingestión de plástico por diferentes especies de aves marinas, las buceadoras son las que mayor probabilidad tienen de ingerir plástico, seguidas por las que capturan el alimento de la superficie del mar. Por otro lado, las que se alimentan de crustáceos o cefalópodos ingieren más que aquellas piscívoras, mientras que las omnívoras tienen a confundir más frecuentemente el plástico con su alimento.

En cualquiera de los casos, la dieta especializada de algunos animales claramente no es la solución para evitar la ingestión de plástico. Existen varios estudios en los que se han encontrado evidencias de cómo tanto aves como tiburones han mordido pedazos de plástico, evidencia a favor de que este material habría sido confundido en principio con alimento (Carson, H. S., Lamson, M. R., Nakashima, D., Toloumu, D., Hafner, J., Maximenko, N., & McDermid, K. J., 2013). Por ejemplo, en el caso de los mamíferos marinos,

tanto las ballenas, cuya estrategia alimenticia es filtradora, como los delfines, animales dentados que utilizan la ecolocalización para capturar a sus presas, pueden ingerir plástico en porcentajes similares. En el caso de las aves, un estudio reciente (Savoca, M. S., Wohlfeil, M. E., Ebeler, S. E., & Nevitt, G. A., 2016) centrado en albatros, petreles y pardelas ha demostrado que éstas son más propensas a ingerir plástico debido a su capacidad para identificar el sulfuro de dimetilo (DMS), un compuesto bioquímico que segrega el fitoplancton en descomposición y que les ha indicado tradicionalmente dónde se encontraba el alimento¹⁸.

Respecto a los impactos derivados de la ingestión de plástico, esta puede causar la muerte directa a través de la simple obstrucción física de los estómagos, o afectar indirectamente a los organismos mediante disfunciones estomacales varias, entre ellas efectos químicos derivados. En relación con la obstrucción física de los estómagos, los pedazos de plástico no necesitan ser excesivamente grandes para provocar daños, puesto que la orientación de estos también es clave. Tampoco es necesaria una obstrucción total del estómago, sino que la sensación de estar saciado (impacto indirecto) es suficiente para anular la búsqueda de alimento, y que la consecuente falta de nutrientes acabe ocasionando la muerte indirecta del organismo.



De la misma forma, la ingestión de pedazos de plástico similares a las bolsas, pueden cubrir parte de la superficie de absorción de nutrientes del estómago y afectar a la eficiencia de la nutrición o generar úlceras.

De acuerdo a lo anterior, las aves marinas tienen una cierta probabilidad de regurgitar los plásticos ingeridos accidentalmente, sin embargo, estos pueden ser posteriormente ingeridos por sus crías. Por el contrario, las ballenas y tortugas marinas suelen ingerir los plásticos sin posibilidad de regurgitación, padeciendo de problemas intestinales.

¹⁷ En ecología se denomina organismos bentónicos a la comunidad formada por los organismos que habitan el fondo de los ecosistemas acuáticos. Algunos organismos bentónicos son las estrellas de mar, las ostras, las almejas, los pepinos de mar, los ofiuroideos, las anémonas de mar, y los arrecifes de coral.

¹⁸ Las basuras marinas, al estar en contacto con el mar, se impregnan del olor a sulfuro de dimetilo, esto lleva a que las aves marinas identificadas ingieran cinco veces más plástico que otras especies que no cuentan con esta estrategia alimenticia.

2.1.2.2. Impactos de los microplásticos en la biota marina

Los microplásticos se encuentran presentes en prácticamente todos los hábitats marinos a lo largo del planeta. Las diferentes densidades de los microplásticos, junto con las características propias de las corrientes oceánicas, tienen un efecto importante en la distribución de estos elementos, propiciando su distribución en distintas zonas de la columna de agua y de los sedimentos bentónicos¹⁹.

La presencia de estos microplásticos puede afectar a los seres vivos de diversas formas, principalmente: (a) al ser ingeridos, (b) al transferirse a lo largo de la cadena trófica, (c) al interactuar en la incorporación de otros contaminantes, y (d) al proporcionar un nuevo hábitat en el medio marino. No obstante, el impacto de los microplásticos está muy relacionado con su tamaño. En este sentido, los microplásticos entre 1 y 5mm serían más susceptibles de afectar a la alimentación y la digestión de ciertos organismos, mientras que aquellos del tamaño de micras pueden ser ingeridos de manera activa por pequeños invertebrados, pero también pueden ser excretados. Un caso importante es el de los nanoplasticos, que en algunos casos pueden incluso permeabilizar en las membranas celulares de los organismos, alterando su estructura, actividad, y por tanto su función.

2.1.2.2.1. Ingestión de microplásticos

Un amplio rango de los organismos que habitan ecosistemas pelágicos²⁰ y bentónicos ingiere, potencialmente, microplásticos de pequeño tamaño. Algunos estudios (Shaw, D. G., & Day, R. H., 1994) que han investigado el color y el tamaño de los microplásticos en relación con su confusión con presas han encontrado que microplásticos de ciertos colores o tonalidades son, en algunos casos, más fácilmente confundidos con presas por parte de los organismos planctónicos²¹. Dado que hay gran variedad de microplásticos cuya densidad les mantiene flotando cerca de la superficie, estos

se encuentran disponibles para un amplio rango de organismos que interactúan con o forman parte del plancton, como son las larvas de importantes especies de interés comercial.

Un amplio espectro de organismos marinos, incluidos corales, invertebrados como moluscos y crustáceos, peces, aves, tortugas e incluso cetáceos, pueden ingerir microplásticos, o bien incorporarlos mediante la ingesta de presas. Esto puede conllevar trastornos en la alimentación y la digestión, así como en la reproducción, entre otros efectos como, por ejemplo, bloquear los apéndices utilizados para obtener comida u ocluir el paso por el tracto intestinal de algunos organismos, así como limitar la ingesta de comida y, por tanto, reducir la cantidad de energía disponible, al igual que ocurre con los macroplásticos en otros organismos como focas, aves y tortugas.

En algunos casos, los mecanismos de alimentación de los organismos no les permiten discriminar entre presas y microplásticos y los ingieren indistintamente, o bien los ingieren intencionadamente al confundirlos con presas. Las rutas de exposición e incorporación de microplásticos, además, no se ciñen sólo a la ingesta, sino que, en algunos casos, como en el de los cangrejos, estos también pueden incorporarse a través de las branquias, donde luego se trasladan hacia el sistema circulatorio.

Considerando el ciclo completo de la ingestión, la presencia de microplásticos en heces también genera impactos en la biota marina. Por ejemplo, en el caso de los pellets fecales del zooplancton, este sirve de alimento para otros organismos. Además, la presencia de microplásticos en pellets fecales influye en el flujo oceánico vertical de materia orgánica, produciendo alteraciones en dicho flujo y favoreciendo, a la vez, el transporte de microplásticos hacia otras zonas marinas.

¹⁹ El ecosistema bentónico es la región ecológica en el nivel más bajo de un cuerpo de agua, como un océano o un lago, incluyendo la superficie del sedimento y algunas capas del subsuelo.

²⁰ El ecosistema pelágico es la región ecológica formada por aguas libres que no están en contacto con el fondo.

²¹ Los organismos planctónicos son aquellos organismos que viven suspendidos en la columna de agua, tanto dulce como marina, y que, aunque son capaces de moverse y nadar no pueden oponerse a las corrientes ni a la turbulencia del agua.

2.1.2.2.2. Transferencia a lo largo de la cadena trófica

La ingestión de microplásticos por organismos de los eslabones inferiores de la cadena trófica (fitoplancton y zooplancton) puede ser una ruta de entrada para niveles superiores de la cadena trófica, a través del consumo de presas previamente contaminadas por estos elementos. Además, el hecho de que parte del zooplancton realice migraciones diarias a diferentes profundidades le convierte en un vector de transporte de microplásticos hacia mayores profundidades de las que habitualmente se encuentran estos elementos, estando disponibles para diversas cadenas alimenticias.

Un estudio (Eriksson, C., & Burton, H., 2003) encontró microplásticos en lobos marinos. Los investigadores determinaron que la presencia se debía a la ingesta de *Electrona subaspera* (una especie de pez linterna), que a su vez había obtenido los microplásticos ingiriendo copépodos.

2.1.2.2.3. Interacción en la incorporación de contaminantes químicos

Los microplásticos también pueden actuar como vectores para el transporte de compuestos químicos, ya sean (1) compuestos químicos relacionados a la fabricación de plásticos para proporcionarles ciertas propiedades (aditivos), como los ftalatos que los hacen más maleables, el Bisfenol A, los retardantes de llama, los antimicrobianos, y aquellos compuestos que evitan daños oxidativos (nonilfenoles); o bien sean (2) metales pesados y contaminantes orgánicos hidrófobos que se adsorben en ellos, como cobre, zinc, plomo, bifenilos policlorados, hidrocarburos aromáticos policíclicos, entre otros.

Estos compuestos químicos pueden interferir en procesos biológicos importantes, actuando como disruptores endocrinos, produciendo efectos en la movilidad, la reproducción y el desarrollo, en los sistemas neurológicos e inmunológicos, o bien tener efectos carcinogénicos.

2.1.2.2.4. Proporcionar un nuevo hábitat en el medio marino

Los microplásticos pueden proporcionar hábitats en el medio marino para la colonización de invertebrados, bacterias y virus, dando como resultado que estos organismos puedan ser transportados grandes

distancias, ya sea por efecto de las corrientes oceánicas o bien a través de la columna de agua. Algunos estudios han demostrado como especies de *Vibrio* y bacterias heterotróficas han colonizado restos de plásticos.

2.1.3. Incineración

Respecto a los potenciales impactos de las incineradoras, estos dependerán, entre otros factores, de las regulaciones ambientales y medidas de mitigación que rijan en los territorios donde se encuentren localizadas las plantas de incineración.

Considerando lo anterior, los impactos desarrollados a continuación aplican, principalmente, para aquellos procesos de incineración sin aprovechamiento energético, o aquellos procesos en que las regulaciones ambientales son débiles. En este sentido, los impactos derivados de este tipo de tratamiento que se desarrollan corresponden a las emisiones de gases, partículas y cenizas, y las enfermedades que estas emisiones generan en la salud de las personas.



2.1.3.1. Emisiones de incineradoras: gaseosas, partículas y cenizas

La utilización de incineradoras como tratamiento de residuos produce emisiones gaseosas, de partículas y de cenizas, las que contaminan el medioambiente y producen afecciones que ponen en peligro la salud de las personas.

Respecto a la emisión de partículas y la generación de residuos sólidos, estos varían según la naturaleza del combustible y son más fáciles de predecir cuanto más homogéneo sea el combustible, como suele ocurrir en el caso de las centrales térmicas convencionales (que queman gas, carbón o fuel), o en el caso de las incineradoras que queman residuos agrícolas, forestales o de una industria en particular. En el caso de las incineradoras de residuos sólidos urbanos²², cuya naturaleza del combustible es sumamente heterogénea, la caracterización de las partículas y residuos sólidos generados resulta ser más compleja. Esto quiere decir que el tipo y la cantidad de sustancias contenidas en los gases emitidos dependen principalmente de la composición de los residuos, del tipo de sistema de incineración, del control de gases y de la temperatura de incineración.

Considerando lo anterior, las principales emisiones generadas en la incineración son:

2.1.3.1.1. Emisiones gaseosas

1. Gases de Efecto Invernadero (GEI): La incineración de residuos emite dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4), los cuales son gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático. Normalmente, las emisiones de CO_2 provenientes de la incineración de residuos son más significativas que las emisiones de CH_4 y N_2O (gas que se tratará en el punto número 2).

Respecto a las emisiones de CO_2 , alrededor del 25% del peso total de los residuos sólidos urbanos corresponde al peso del carbono, el cual se libera como CO_2 cuando estos son quemados. En este sentido, por cada tonelada de residuo incinerado se produce cerca de una tonelada de CO_2 , aproximadamente.

2. Gases Ácidos Inorgánicos: En las incineradoras se forman y emiten gases ácidos inorgánicos como cloruro de hidrógeno (CLH - más conocido como ácido clorhídrico (HCl) -), fluoruro de hidrógeno (FH- más conocido como ácido fluorhídrico (HF) -), bromuro de hidrógeno (BrH), óxidos de azufre (SOx), y óxidos de nitrógeno (NOx). Estos gases se originan como consecuencia del cloro, flúor, bromo, azufre y nitrógeno que están presentes en los residuos (Williams, 1990). Los NOx se forman también como resultado de la combinación directa del nitrógeno y del oxígeno, un proceso que se acelera con las altas temperaturas. A continuación, se describen algunos de estos gases.

El CLH se emite en mayores cantidades en las incineradoras que en las centrales térmicas de carbón, debido al cloro que se encuentra en los residuos, principalmente en el plástico PVC (Williams 1990).

Los óxidos de nitrógeno (NOx), que incluyen el dióxido de nitrógeno (NO_2), y los óxidos de azufre (SOx), que incluyen el dióxido de azufre (SO_2), se emiten en los procesos de combustión industrial, incluyendo a todos los tipos de incineradores. Estos gases pueden influir en el pH de la lluvia, volviéndola ácida. Con el tiempo esta lluvia ácida puede ocasionar un impacto negativo en la calidad del suelo y del agua, y en los ecosistemas. En el caso del NOx y el SOx , la exposición a estos gases se asocia a efectos adversos en la salud respiratoria de individuos que previo a la exposición con este gas, ya padecían de algún trastorno respiratorio (asma u obstrucción pulmonar crónica, por ejemplo).

Las emisiones de NOx y SOx tienen como consecuencia la formación de partículas conocidas como partículas secundarias, las cuales se forman debido a las reacciones químicas en la atmósfera. Estas reacciones químicas se refieren a la oxidación química de los óxidos de nitrógeno y azufre a ácidos, que posteriormente se neutralizan con el amoníaco atmosférico. Las partículas que se forman producto de esta reacción química incluyen sulfato de amonio y nitrato de amonio, que generalmente son solubles en la naturaleza y persisten en el aire durante largos periodos de tiempo. Un tipo menos abundante de partículas secundarias es el cloruro amónico que se origina a partir del gas CLH.

²² La composición de los residuos sólidos urbanos refleja cambios sociales, hábitos de consumo, variaciones según la estación del año. A lo anterior se suman las diferencias de composición en relación con las distintas regiones del mundo.

2.1.3.1.2. Emisión de partículas

Las partículas se forman a partir de la combustión incompleta del combustible y por el arrastre físico²³ de los materiales no combustibles. Las emisiones de partículas causan reducciones en la visibilidad (smog) y efectos sobre la salud que dependen del tamaño y de la composición de estas. A continuación, se describirán algunas de estas partículas.

1. Metales:

Algunos artículos como plásticos, revistas, pilas, etc., contienen elementos metálicos que pueden encontrarse en las cenizas o ser emitidos a la atmósfera por la incineradoras. Se ha observado la presencia de cadmio, zinc, antimonio, plata, indio y estaño en los gases de salida, así como también de mercurio en menores concentraciones. La posibilidad de que un compuesto metálico se volatilice o bien forme partículas sólidas dependerá de su naturaleza química.

Se pueden distinguir tres grupos diferentes de metales generados en la incineración:

Grupo 1: aluminio, bario, berilio, calcio, cobalto, hierro, potasio, magnesio, manganeso, estroncio, titanio, y metaloides. Estos elementos poseen elevados puntos de ebullición y, en consecuencia, no se volatilizan en la cámara de combustión de la incineradora. Forman parte de la misma matriz de las cenizas.

Grupo 2: arsénico, cadmio, cobre, plomo, cinc, selenio, y metaloides como el antimonio. Estos elementos se volatilizan durante la combustión, pero se condensan rápidamente cuando los gases de salida se enfrían, por lo que normalmente se encuentran en la superficie de las cenizas.

Grupo 3: está formado por el mercurio que se volatiliza y no se condensa, por lo que este elemento tiene más probabilidad de escapar hacia la atmósfera.

La localización de los metales (en la matriz o superficie de las cenizas, o en el efluente gaseoso), depende de su naturaleza química y también de la constitución de los gases de salida. La presencia de óxidos de azufre y de nitrógeno y/o de cloruro de hidrógeno, puede dar lugar a la formación de compuestos volátiles (sulfatos, nitratos o cloruros metálicos), que alteran la volatilidad de los metales.

2. Dioxinas y Furanos:

Como ya se mencionó en el primer apartado, las dioxinas son unos compuestos orgánicos clorados pertenecientes a la familia de las policlorodibenzodioxinas (PCDD). Su molécula está formada por una estructura de triple anillo en la que dos anillos de benceno están unidos por un par de átomos de oxígeno. En el caso de los furanos, este compuesto es uno de los miembros de la familia de los policlorodibenzofuranos (PCDF), con una estructura química similar a la dioxina, excepto por que los dos anillos de benceno están unidos por un solo átomo de oxígeno. La importancia de las familias PCDD y PCDF de compuestos orgánicos radica en que algunos de sus isómeros se encuentran entre las sustancias más tóxicas que existen. Los PCDD y PCDF son emitidos en bajas concentraciones desde los sistemas de incineración que queman residuos sólidos urbanos.

Las dioxinas y furanos presentes en las emisiones procedentes de la incineración de residuos sólidos urbanos provienen de tres fuentes distintas:

Se pueden encontrar en los residuos.

Se puede formar durante la combustión debido a los compuestos aromáticos clorados que actúan de precursores.

Se puede formar durante la combustión por la presencia de compuestos hidrocarbonados y cloro.

Una de las causas más probables de la generación de dioxinas y furanos en la incineración es la formación a partir de sus precursores orgánicos en las zonas más frías de la post-combustión, por la acción del cloruro de hidrógeno que se genera durante el proceso. Ello favorece la formación de un agente clorante que, en contacto con los compuestos aromáticos presentes, dan lugar a este tipo de compuestos. El rango de temperaturas en el cual se forman las dioxinas en la superficie de las partículas de ceniza es de 250 a 400 °C, con un máximo a 300 °C.

3. Hidrocarburo Aromático Policíclico (HAP):

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son compuestos orgánicos (análogos al benceno) que se componen de anillos aromáticos simples que se han unido, y no contienen heteroátomos²⁴ ni llevan sustituyentes. En la incineración se forman al quemar

²³ En dinámica de fluidos, el arrastre o fricción de fluido es la fricción entre un objeto sólido y el fluido (un líquido o gas) por el que se mueve.

²⁴ En química orgánica un heteroátomo es cualquier átomo, salvo carbono o hidrógeno, que forma parte de un compuesto orgánico.

parcialmente materiales que contienen carbono, por tanto, son productos de una mala combustión. Estos compuestos son comunes en la atmósfera de las ciudades, y su presencia es preocupante porque muchos son cancerígenos como el benzo[a]pireno o el benzo[a]antraceno.

En el **punto 1.3.2.** se describe cómo los contaminantes mencionados pueden afectar la salud de las personas.

2.1.3.1.3. Emisión de cenizas

Las cenizas volantes (o fly ash), procedentes de los equipos de filtración de aire de las incineradoras, y las cenizas de fondo (o bottom ash), generadas por la combinación de material total o parcialmente quemado que se descarga en las parrillas, se generan como resultado de la incineración. El depósito de estas cenizas genera graves problemas ambientales dado que la mayoría de ellas se depositan en rellenos sanitarios, lo que puede acabar contaminando las aguas subterráneas y el subsuelo.

Respecto a su composición, las cenizas generalmente contienen los mismos contaminantes (dioxinas, compuestos orgánicos y metales pesados) que las emisiones gaseosas, aunque pueden diferir en concentración y composición. Algunos de estos contaminantes son:

1. Dioxinas: Con relación a los niveles de dioxinas en las cenizas, los niveles más elevados se han encontrado en cenizas volantes, oscilando entre partes por billón (ppb) a partes por trillón (ppt). Mientras que las concentraciones más bajas aparecen en las muestras de las cenizas de fondo.

2. Compuestos Orgánicos: Las cenizas volantes contienen compuestos orgánicos concentrados, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los compuestos orgánicos clorados.

3. Policlorobifenilos (PCB): Estos compuestos se han encontrado en cenizas volantes de incineradoras de residuos hospitalarios y de residuos sólidos urbanos (Magagni A., Boschi G., Cocheo V. and Schiavon I., 1994), y en cenizas volantes y de fondo de incineradoras de lodos de depuradora (Kawakami I., Sase E., Tanaka M. and Sato T., 1998).

4. Metales Pesados: Las cenizas volantes y de fondo procedentes de incineradoras contienen metales pesados.

En el caso de las cenizas volantes, estas generalmente presentan concentraciones de metales más elevadas que las cenizas de fondo²⁵ (Buchholz B. A. and Landsberger S., 1995).

En relación con el medio ambiente, las concentraciones de metales pesados en cenizas (volantes y de fondo) de incineración son muy altas, si se comparan con los niveles presentes en las concentraciones medias de metales pesados que se encuentran en el suelo globalmente (Buchholz B. A. and Landsberger S., 1995).

2.1.3.2. Enfermedades

Los impactos de las emisiones de incineradoras en la salud de las personas han sido escasamente documentados y las investigaciones disponibles son limitadas; sus conclusiones no pueden generalizarse dado que se refieren principalmente a incineradoras europeas, de EE. UU, y Japón, las cuales poseen distintos niveles de tecnología y se rigen por regulaciones ambientales distintas. A pesar de lo anterior, existe consenso científico en relación con los impactos negativos de las incineradoras en la salud de trabajadores(as) y en la población vecina expuesta.

Considerando las limitaciones ya mencionadas, a continuación, se expondrán los impactos en la salud documentados en distintas investigaciones. Estos impactos pueden extrapolarse a las realidades de las incineradoras en América Latina y El Caribe dado que las legislaciones vigentes en la región no son tan restrictivas.

1. Impactos en la salud trabajadores de diversas incineradoras de residuos sólidos urbanos

Niveles elevados de mutágenos²⁶ en orina (Ma, X. F., Babish, J. G., Scarlett, J. M., Gutenmann, W. H., & Lisk, D. J., 1992).

Aumento de los niveles de hidroxipireno²⁷ en orina (Angerer J., Heinzow D. O. Reimann W., Knorz W. & Lehnert G., 1992).

Incremento en la cantidad de tioéteres en orina (Van Doorn R., Leijdekkers CH-M., Bos R. P., Brouns R. M. E. and Henderson P. TH., 1981).

Aumento en 3,5 veces la probabilidad de muerte por cáncer de pulmón (Gustavsson P., 1989).

²⁵ Excluyendo los fragmentos de metal más grandes que no se queman y se encuentran en las cenizas de fondo.

²⁶ Con capacidad para dañar el ADN de las células.

²⁷ Indicador de exposición a hidrocarburos poliaromáticos.

Aumento en 1,5 veces la muerte por cáncer de esófago (Gustavsson P., 1989).

Hiperlipidemia (Kitamura K., Kikuchi Y., Watanbe S., Waechter G., Sakurai H. & Takada T., 2000).

Mortalidad elevada por isquemia coronaria (Gustavsson P., 1989).

2. Impactos en la salud de las poblaciones que viven cerca de las incineradoras

Daños cromosómicos “no anormal” (Verschaeve & Schoeters, 1998).

Elevados niveles de tioéteres en orina de niños (Ardevol E., Minguillon C., Garcia G., Serra M.E., Gonzalez C. A., Alvarez L., Eritja R. & Lafuente A., 1999).

Incremento de un 44% en sarcoma de tejido blando, y un 27% en linfoma no-Hodgkin's (Viel J.-F., Arveux P., Baverel J. & Cahn J. -Y., 2000).

Incidencia significativa de cáncer de laringe (Diggle P. J., 1990).

Aumento de 6,7 veces la probabilidad de mortalidad por cáncer de pulmón (Biggeri A., Barbone F., Lagazio C., Bovenzi M. & Stanta G., 1996).

Aumento del 37% en mortalidad por cáncer de hígado (Elliot P., Shaddick G., Kleinschmidt I., Jolley D., Walls P., Beresford J. & Grundy C., 1996).

Incremento de dos veces en la probabilidad de mortalidad por cáncer infantil (Knox E. G., 2000).

FOTO

2.2

Impactos asociados a la generación de residuos por ventos naturales y emergencias sanitarias

2.2.1. Impactos asociados a la generación de residuos por eventos naturales

La OPS (Organización Panamericana de la Salud) define un desastre natural como “la ocurrencia de un fenómeno natural en un espacio y tiempo limitado que causa trastornos en los patrones normales de vida y ocasiona pérdidas humanas, materiales y económicas, y daños ambientales”. Y agrega: “es un evento ecológico de tal magnitud que para atender sus efectos es necesaria la intervención externa” (CEPIS-OPS, 2003). Por su localización en el globo terrestre, así como por sus características geográficas, América Latina y El Caribe presenta una particular vulnerabilidad frente a los fenómenos naturales, como son inundaciones, ciclones, sequías, sismos, deslizamientos de tierra y erupciones volcánicas.

La ocurrencia de los eventos antes mencionados tiene como una de sus consecuencias la generación de un significativo volumen de residuos de índole muy diversa, dependiendo de la intensidad del fenómeno y la zona afectada, y la carencia de planes de emergencia adecuados puede tornar la situación posterior al evento sumamente complicada. Normalmente, son las autoridades quienes tienen la responsabilidad de atender el manejo de escombros y residuos. Sin embargo, la ocurrencia de un desastre con frecuencia inhabilita la infraestructura utilizada para el manejo habitual de residuos por lo que las autoridades se ven rebasadas en su capacidad de respuesta.

La ocurrencia de fenómenos naturales en la región en los diez años recientes presenta una tendencia al alza desde 1970: a partir de ese año y hasta 2011, la principal causa de desastres naturales en Meso y Sudamérica fueron las inundaciones, mientras que en México y El Caribe fueron los huracanes (UNEP, 2016). Existen otros fenómenos naturales que ocurren con menor frecuencia, como los terremotos, la actividad volcánica y deslaves.

La **Tabla 8.** muestra la ocurrencia de desastres por subregión y tipo de evento en el periodo 1970-2011, expresada en porcentajes. Los tipos de residuos que se generan dependerán en gran parte del tipo de fenómeno natural registrado. Mientras que un sismo genera grandes volúmenes de escombros, una inundación produce menos escombros, pero mayor cantidad de residuos domésticos mezclados con lodo, arena y grava y posibles materiales peligrosos (UNDP, s.f.).



Tabla 8: Ocurrencia de desastres por región y tipo de evento que los causa, 1970-2011 (en porcentaje).

TIPO	Evento	México	Centroamérica	Caribe	Sudamérica
Geológicos	Terremotos	12,2	11,5	2,4	9,8
	Deslizamientos	5,1	4,4	1,2	13,4
	Erupciones volcánicas	4,1	5,2	2	3,7
	Total	21,4	21,1	5,6	26,9
Meteorológicos e hidrológicos	Huracanes y tormentas	38,1	23	57,9	8,1
	Inundaciones	27,9	38,3	27,6	45,9
	Sequías	3,6	7,1	4,9	5,7
	Temperaturas extremas	7,6	1,4	0	5
	Total	77,2	69,8	90,4	64,7
Biológicos	Epidemias y plagas	1,5	9,3	3,9	8,4

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe”. Fuente: ONU, 2018.

Los principales tipos de residuos consisten en escombros de edificaciones dañadas, residuos de maleza, restos de propiedad particular, cenizas y maderas, sedimentos del suelo, así como cadáveres animales y humanos (CEPIS-OPS, 2003). En las tareas posteriores a la ocurrencia del desastre, es importante diferenciar una

etapa de respuesta inmediata de remoción de escombros y residuos que reviste un carácter humanitario, ya que es imperativo dar atención urgente a la población afectada. Posteriormente, se tiene una segunda etapa, que se denomina gestión de residuos y que consiste en actividades desarrolladas en el mediano y largo plazo. (CEPIS-OPS, 2003).

Diversas organizaciones han elaborado manuales o guías para la gestión de residuos en casos de desastres o emergencias, como son las guías para la gestión de residuos de desastres publicadas por OCHA/ONU Medio Ambiente y la Agencia de Contingencias Civiles de Suecia (OCHA-MSB-UNEP, 2011). En la región, la OPS elaboró en el año 2003 el documento Gestión de residuos sólidos en situación de desastres (CEPIS-OPS, 2003), el cual incorpora en su contenido la experiencia regional desarrollada después de la ocurrencia de fenómenos naturales de diversos tipos que han afectado a las poblaciones de la región en décadas recientes.

Como ya se mencionó, la ocurrencia de desastres naturales tiene como una de sus consecuencias la generación de un significativo volumen de residuos de índole muy diversa, dependiendo de la intensidad del fenómeno y la zona afectada, y la carencia de planes de emergencia adecuados, la situación posterior al evento se puede tornar sumamente complicada la Tabla 9 muestra indicadores de generación de residuos después de un desastre natural (promedio estimado calculado a partir de desastres naturales específicos), diferenciando entre los distintos tamaños de la población.



Tabla 9 : Indicadores de generación de residuos después de un desastre natural.

TAMAÑO DE LA POBLACIÓN O ASENTAMIENTO HUMANO	EVENTO
Ciudades pequeñas, zonas rurales, refugios, albergues y campamentos	200 a 400 gramos por habitante/día (indicador utilizado tras el paso del huracán Mitch en Nicaragua, octubre y noviembre de 1998)
Ciudades o poblaciones mayores	2 a 4 m³ de residuos por día /mil habitantes (equivale a 300-600 gramos por habitante/día)

Fuente: Elaboración propia a partir del documento “Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe”. Fuente: ONU, 2018.

2.2.2. Impactos asociados a la generación de residuos por contingencias sanitarias

La generación de residuos por contingencias sanitarias se presenta como un desafío para la gestión de estos, puesto que generalmente, este tipo de residuos cumplen con algunas de las características de los residuos peligrosos.

En relación con la contingencia sanitaria asociada al virus SARS-CoV-2²⁸ (en inglés, severe acute respiratory syndrome coronavirus, coronavirus tipo 2 del síndrome respiratorio agudo grave), ONU Medio Ambiente llamó a los gobiernos a considerar la gestión de residuos un servicio público urgente y esencial en el marco de la pandemia del coronavirus (COVID-19), con el fin de minimizar posibles impactos secundarios sobre la salud y el medio ambiente. Las medidas de gestión deben considerar todos los tipos de residuos, incluidos los médicos, domésticos y peligrosos.

Durante un brote como el actual, se generan diversos residuos médicos y peligrosos, incluidos mascarillas, guantes y otros equipos de protección infectados, así como un mayor volumen de artículos no infectados de la misma naturaleza. El manejo inadecuado de estos residuos podría desencadenar un efecto de rebote y otras consecuencias en la salud humana y el medio ambiente, por lo que su gestión y disposición final de forma segura es vital como parte de una respuesta de emergencia efectiva.



La gestión eficaz de los desechos biomédicos y hospitalarios requiere de un proceso apropiado de identificación, recolección, separación, almacenamiento, transporte, tratamiento y eliminación de los residuos, así como de aspectos asociados importantes que incluyen la desinfección, y la protección y capacitación del personal. Las Directrices Técnicas sobre el Manejo Ambientalmente Racional de los Desechos Biomédicos y Sanitarios del Convenio de Basilea, incluyen información y aspectos prácticos útiles para las autoridades con el objetivo de minimizar los riesgos para la salud humana y el medio ambiente²⁹.

²⁸Este es un tipo de coronavirus causante de la enfermedad por coronavirus de 2019 (COVID-19), cuya expansión mundial ha provocado la pandemia de 2019-2021.

²⁹En el sitio web del Centro Regional del Convenio de Basilea para Asia y el Pacífico pueden encontrarse más recursos sobre el manejo seguro y la eliminación final de los desechos médicos, incluida una serie de documentos de orientación y mejores prácticas.

Por su parte, la gestión segura de los residuos domésticos también será crucial durante la emergencia del COVID-19. Los residuos médicos como mascarillas, guantes, medicamentos usados o vencidos y otros artículos contaminados pueden mezclarse fácilmente con los residuos domésticos, pero deben tratarse como residuos peligrosos y eliminarse por separado. Estos deben almacenarse aparte de otros flujos de residuos domésticos y ser recolectados por operadores municipales u operadores de gestión de residuos especializados³⁰.

Otro de los impactos derivados de esta contingencia sanitaria corresponde al incremento en la producción y consumo de material plástico. Este aumento se da tanto en el uso hospitalario como en el uso doméstico y probablemente irá en aumento a medida que avance el desconfinamiento de los ciudadanos.

El plástico es un material imprescindible para los equipos de protección individual (EPI) del personal sanitario. Las mascarillas que utilizan, denominadas FPP, tienen un material

filtrante constituido por un entramado de fibras plásticas que retiene los virus. Además de las mascarillas, otros EPI también hechos de material plástico son los guantes, las batas impermeables, las gafas y viseras y las pantallas protectoras faciales. Pero el uso de material plástico en los hospitales no se reduce a los EPI, sino que incluye también diversas piezas para equipos médicos, como respiradores y ventiladores, jeringas de policarbonato, tubos médicos de PVC, bolsas de sangre, entre otros.

En el ámbito doméstico, la pandemia de COVID-19 ha aumentado el consumo de otros plásticos desechables como bolsas, botellas de agua, recipientes para enviar comida a domicilio o embalajes del comercio por internet. A su vez, cuando las personas salen a la calle también utilizan otros artículos sanitarios de un solo uso como guantes, geles hidroalcohólicos o toallitas desinfectantes. Después de su utilización, mascarillas, guantes y toallitas deben ir al contenedor de restos, por lo que tampoco entrarán en el círculo de reciclaje.

³⁰“Las pautas sobre las especificidades del reciclaje o la eliminación de dichos desechos se detallan en la hoja de datos del Convenio de Basilea sobre los residuos médicos y hospitalarios.



Visión global en la industria del cemento para la valorización de residuos

CAPÍTULO

03



La valorización de residuos **por la industria del cemento**



En este capítulo se aborda el creciente uso de residuos que hace la industria del cemento en el mundo, en línea con los fundamentos de la economía circular, en orden a reducir la cantidad de residuos que deben ser liberados al medio ambiente. La descripción se realiza sobre los siguientes tópicos:

- i. Hitos globales de la valorización de residuos en la industria del cemento, tanto en desarrollos tecnológicos como normativos.
- ii. Descripción de aquellos residuos susceptibles de ser utilizados como combustibles o materias primas alternativas en la industria del cemento.
- iii. Estadísticas sobre el uso de combustibles alternativos a base de residuos, en la industria del cemento global.



3.1 Antecedentes

La valorización de residuos en la industria del cemento aparece en números relevantes a mediados de los años 80, con el uso de combustibles alternativos, los que, al sustituir combustibles fósiles, permitirían a la industria seguir siendo económicamente competitiva, en un escenario en que el consumo de combustible representaba casi un tercio del costo de producción de clínker. Con esta motivación, sin embargo, cualquier impacto positivo en el medio ambiente se consideró solo un beneficio adicional.

Desde entonces, ha aumentado ostensiblemente la conciencia colectiva del impacto ambiental de las actividades humanas e industriales y entonces, el beneficio ambiental ha tomado creciente relevancia.

Acorde con lo anterior, los actores claves de la industria del cemento comenzaron a considerar los combustibles alternativos como un eje prioritario para mejorar su contribución al desarrollo sostenible y como un componente clave de la responsabilidad social corporativa.

Así, para algunos residuos tales como, aceites usados, neumáticos o solventes, su uso en conjunto con combustibles convencionales en hornos de cemento, denominado coprocesamiento, paso a ser una solución técnicamente factible, económicamente viable y parte de la solución al problema de los residuos. Posteriormente, se han desarrollado procesos de pretratamiento cada vez más sofisticados, para variedades más amplias de residuos, que permiten producir combustibles de sustitución líquidos y sólidos.

Por el lado de las regulaciones, uno de los primeros hitos se remonta al Consejo Europeo celebrado en París en 1972, a partir del cual se da inicio a la integración de los conceptos ambientales a la política general europea, estableciendo normas mínimas en materia de residuos, agua y aire. Las “Directivas Marco” son las normas a nivel comunitario que entregan orientaciones en cuanto al funcionamiento, corporación y competencias en materia de gestión y responsabilidad de cada uno de los Estados Miembros. Estas directivas son importantes, puesto que permiten mejorar las estrategias, los objetivos y las competencias, para que las metas que han sido establecidas puedan ser cumplidas.

En América Latina y El Caribe, las normas sobre gestión de residuos comienzan a aparecer desde los años 1990, después de la suscripción del Convenio de Basilea de 1989. En principio, estas normativas apuntaban a los residuos peligrosos y la disposición de residuos en rellenos sanitarios, por lo que sólo a partir de los años 2000 comienza a desarrollarse un mayor esfuerzo para mejorar la institucionalidad ambiental y para incorporar los conceptos de Responsabilidad Extendida del Productor. En esta línea, algunos países han normado el coprocesamiento en la última década, tal como se revisa en mayor detalle en el capítulo 4.

A partir del Acuerdo de París en la COP 21, los esfuerzos en valorización de residuos comienzan a ser incentivados con mayor fuerza no sólo desde la perspectiva sanitaria, sino que también desde su aporte a la mitigación al cambio climático.



3.2 Estrategia global de la industria del cemento

La industria del cemento global se encuentra trabajando en forma directa o en colaboración con otras entidades públicas y privadas, sea en la investigación, difusión y aplicación de las iniciativas de sustentabilidad en diversas materias, entre las que se encuentra la valorización de residuos, como lo atestiguan los siguientes hitos de la última década:

- “Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento”, las cuales fueron un hito en el reconocimiento del coprocesamiento a nivel de tratados internacionales, proceso que contó con la participación de la industria del cemento.
- Las Hojas de Ruta de La Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés) 2009 (actualizada el 2018), que ponen el foco en las acciones climáticas.
- La Hoja de Ruta FICEM 2017, la cual está basada en la experiencia de CSI, estableciendo los objetivos y acciones de la industria del cemento latinoamericana.
- Guías de la Asociación Global del Cemento y el Concreto (GCCA, por sus siglas en inglés) en materia de valorización de residuos, las cuales fijan estándares comunes para la industria del cemento en esta materia, y que son coherentes con los hitos señalados en materia de sustentabilidad, tanto en la valorización de residuos, como en los esfuerzos para enfrentar el cambio climático.

3.2.1. Directrices técnicas Convenio de Basilea

Las Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento³¹ Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento, publicadas el 11 de noviembre de 2011, fueron elaboradas en el marco del Convenio de Basilea con la colaboración de la industria del cemento. Estas directrices tienen un enorme valor, pues las partes del

Convenio de Basilea reconocen expresamente la tecnología del coprocesamiento y los beneficios ambientales de la valorización de residuos peligrosos y no peligrosos en hornos cementeros. “... 42. Se reconoce que el coprocesamiento de desechos y desechos peligrosos en la fabricación de cemento, si se lleva a cabo de manera segura y ambientalmente racional, tiene beneficios ambientales de gran alcance...”

³¹“Coprocesamiento: Uso de materiales de desecho adecuados en los procesos de fabricación con el propósito de recuperar energía y recursos y reducir en consecuencia el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución.” (Glosario)

Además del aporte en la gestión de residuos, se destaca al coprocesamiento como una tecnología relevante en la mitigación de emisiones de CO₂: “22. ... Así pues, otro beneficio directo del coprocesamiento de los desechos en la fabricación del cemento es la reducción potencial de las emisiones de CO₂. La integración del coprocesamiento en los hornos de cemento en una estrategia global de gestión de desechos ofrece una reducción potencial de las emisiones netas globales de CO₂ relativas a un escenario en

que los desechos se queman en un incinerador sin recuperación de energía”

Por último, es importante mencionar que estas Directrices no contienen normas de emisión y control. Al momento de referirse a la regulación de emisiones hacen referencia a las Normas Europeas: “228. Además, para los hornos de cemento que realizan coprocesamiento de desechos y desechos peligrosos en la UE, se aplican los requisitos de la Directiva 2000/76/CE (que será sustituida por la Directiva 2010/75/UE con efectos desde el 7 de enero de 2014).”

3.2.2. Technology Roadmap de CSI y cambio climático

En septiembre de 2015 se estableció el Objetivo 13: Acción por el clima de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible, el cual exigió medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos. Además, en el Acuerdo de París, negociado en diciembre de 2015 en la 21ª sesión de la Conferencia de las Partes (COP 21), se fijó limitar el aumento de las temperaturas globales en este siglo a menos de 2°C por encima de los niveles preindustriales.

La industria del cemento, teniendo presente los acuerdos indicados, decidió actualizar su Roadmap del año 2009. Esta actualización se realizó en colaboración con la Agencia Internacional de Energía (IEA, por sus siglas en inglés) y la Iniciativa de Sostenibilidad del Cemento (CSI, por sus siglas en inglés) del Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD, por sus siglas en inglés). De esta forma, CSI publicó durante el año 2018 el “*Technology Roadmap de CSI: Transición a una Industria del cemento baja en carbono*”.

De acuerdo con el Escenario Tecnológico (RTS) de la IEA³², este Roadmap señala que es esperable que las emisiones directas de CO₂ de la industria del cemento aumenten un 4% a nivel mundial para el año 2050, a pesar del aumento del 12% en la producción mundial de cemento en el mismo periodo.

Considerando el aumento esperado en la producción mundial de cemento, es importante tener presente que una transición sostenible al Escenario de los 2°C (2DS por sus siglas en inglés) implica una reducción significativa (24%) de las emisiones directas mundiales de CO₂ en la fabricación de cemento para el año 2050, en comparación con los niveles actuales. Esto significa reducciones acumuladas de emisiones de 7,7 Gt CO₂ en comparación con el RTS para el año 2050, alcanzando 1,7 GtCO₂, lo que equivale al 90 % del total mundial actual de las emisiones industriales directas de CO₂.

Mejorar la eficiencia energética, cambiar a combustibles alternativos (combustibles menos intensivos en carbono) y reducir la relación de clínker a cemento en la producción de cemento, son parte de los principales ejes de mitigación de carbono que apoyan la sostenibilidad de la transición del sector cementero y que impulsan la valorización de residuos tanto como combustibles como materias primas.

³²<https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2017>



Tabla 10 : Indicadores clave para la industria cementera global en el RTS y la visión de la hoja de ruta (2DS)

	RTS - CASO BAJA VARIABILIDAD				VISIÓN ROADMAP (2DS) - CASO BAJA VARIABILIDAD		
	2014	2030	2040	2050	2030	2040	2050
Producción de cemento (Mt/año)	4171	4250	4429	4682	4250	4429	4682
Factor clinker	0,65	0,66	0,67	0,66	0,64	0,63	0,6
Consumo térmico específico clinker [GJ/t clinker]	3,5	3,4	3,3	3,2	3,3	3,2	3,1
Consumo eléctrico específico cemento (kWh/t cemento)	91	89	86	82	87	83	79
Uso de combustibles alternativos [porcentaje del consumo térmico]	5,6	10,9	14,4	17,5	17,5	25,1	30
CO₂ capturado y almacenado [MtCO₂/año]	-	7	65	83	14	173	552
Intensidad de emisión directa de CO₂ de proceso en cemento [tCO₂/t cemento]	0,34	0,34	0,34	0,33	0,33	0,3	0,24
Intensidad de emisión directa de CO₂ por energía [tCO₂/t cemento]	0,2	0,19	0,18	0,17	0,19	0,16	0,13

Cabe destacar que los potenciales de reducción del Roadmap 2009, actualizado el año 2018, se han basado en los CSI/ECRA-Technology Papers 2017 desarrollados por la Academia Europea de Investigación del

Cemento (ECRA, por sus siglas en inglés) para CSI. Dichos papers describen las tecnologías existentes y potenciales, y cómo pueden ayudar a la industria a ser más eficientes, reducir las emisiones mundiales de CO₂ y fomentar el uso de combustibles y materias primas alternativas.

3.2.3. Hoja de ruta FICEM hacia una economía baja en carbono 2017

La Federación Interamericana del Cemento (FICEM) ha desarrollado el proyecto Hoja de Ruta FICEM “*Hacia una economía baja en carbono*” que representa el compromiso de la industria cementera de América Latina y El Caribe en la reducción de emisiones de CO₂. Esta Hoja Ruta se aprobó el 2 de febrero de 2017, y dentro de sus principales objetivos se encuentran:

- Aportar a los objetivos mundiales para el desarrollo sostenible ODS y COP 21, los objetivos globales de la Iniciativa para la Sostenibilidad del Cemento y los objetivos regionales para enfrentar el cambio climático.
- Determinar el potencial de reducción de CO₂ por país, basado en la eficiencia energética e innovación para la producción de clínker y cemento en América Latina y El Caribe.
- Identificar las acciones para implementar el potencial de reducción de CO₂ en nuestro ciclo de vida y posicionar al cemento como el material más resiliente para las necesidades de adaptación al cambio climático.

La Hoja de Ruta FICEM 2017 se construyó con base a la estrategia de la industria global del cemento y en coordinación con CSI. Asimismo, en la creación de estos lineamientos, se consideraron las diferencias locales y regionales que dan cuenta de la heterogeneidad en las condiciones socioeconómicas, en los marcos regulatorios, en las Contribuciones Nacionales (NDC, por sus siglas en inglés) para la adaptación y mitigación de GEI y en la estandarización de las estadísticas, entre otros factores presentes en la región.

La Hoja de Ruta de FICEM 2017 determinó cuatro ejes para enfrentar el cambio climático: Eficiencia Energética Eléctrica, Eficiencia Energética Térmica, Combustibles Alternativos (Coprocesamiento), y Factor Clínker. Dos de estos ejes, Combustibles Alternativos y Factor Clínker, tienen relación directa con la valorización de residuos.

En Combustibles Alternativos se identifican algunas líneas temáticas donde focalizar los esfuerzos, en orden disminuir o eliminar las barreras que impiden aumentar los niveles de coprocesamiento:

- Legislación de gestión de residuos que incentive la recuperación de energía por ejemplo en hornos cementeros, en lugar de su disposición en vertederos o rellenos sanitarios.
- Redes locales de recolección de residuos de gran alcance, en lo posible con separación en origen.
- Sistemas de transporte eficientes que incluyan, de ser necesario estaciones de transferencia a fin de optimizar los volúmenes transportados.
- Aceptación social de uso de residuos como combustibles los combustibles de residuos de coprocesamiento en las plantas de cemento puede afectar notablemente el consumo local.
- Certeza jurídica y procedimientos claros y expeditos para la obtención de permisos para el uso de combustibles alternativos.
- Difusión y transmisión del conocimiento adquirido durante I+D del procesamiento y uso de residuos como combustibles alternativos.

Respecto al Factor Clínter, esta Hoja de Ruta indica que el aumento de las adiciones impacta directamente en la huella de carbono de los procesos de fabricación de clínter. Si se reemplazan estas adiciones por residuos se produce el doble beneficio ambiental, al valorizar estos residuos como materias primas y disminuir las emisiones de CO₂ al producir menos clínter.

Es imperativo que los esfuerzos de investigación se centren en identificar y desarrollar nuevas adiciones, incluyendo a la escoria de horno de arco eléctrico, las cenizas volantes, los residuos de bauxita y los relaves de operaciones mineras, entre otros residuos potencialmente valorizables.

3.2.4. Guías GCCA de sostenibilidad para coprocesar combustibles y materias primas en la fabricación de cemento

En octubre de 2019, la GCCA actualizó las “Guías de Sostenibilidad para Coprocesar Combustibles y Materias Primas en la Fabricación de Cemento”, las cuales fueron elaboradas por CSI en el año 2014. En estas guías se declara que los sectores del cemento y concreto pueden realizar una contribución importante a la economía

circular al tomar medidas al interior de sus operaciones y al trabajar en toda la cadena de valor, para el adecuado uso de recursos alternativos en la fabricación de cemento derivados de residuos. Los principales aspectos de estas guías son los siguientes:

3.2.4.1. Coprocesamiento y jerarquía de residuos

El coprocesamiento es una alternativa de valorización energética de residuos que consiste en aprovechar la energía proveniente de los residuos, en un proceso que no origina ningún flujo de cenizas, escorias ni ningún otro tipo de material residual del horno de clínter, manteniendo las garantías ambientales y de calidad del producto.

El uso de residuos como combustible alternativo en hornos de cemento, requiere que el proceso de combustión

alcance temperaturas entre 1.500 y 1.600°C, lo cual permite la eliminación completa de agentes patógenos, así como la minimización de emisiones de compuestos como dioxinas y furanos. Asimismo, sus emisiones de material particulado y otros contaminantes a la atmósfera son neutralizados a través de sistemas de abatimiento ya disponibles en estas instalaciones, por lo tanto, no aumentan la carga contaminante a nivel local.

Como ya se mencionó, su tasa de eliminación es del 100%, dado que las cenizas de la combustión quedan incorporadas en el clínter, como una forma de reutilización de largo plazo. Además, no requiere de inversiones importantes salvo aquellas necesarias para acopiar, transportar, cargar y dosificar en el horno de clínter y de pre-acondicionamiento fuera de la planta de cemento.

Al reemplazar el uso de combustibles fósiles convencionales por residuos, con un porcentaje de origen biogénico, se producirá una reducción en las emisiones de CO₂ en la fabricación del cemento. Si a esto sumamos las emisiones de CO₂ y metano evitadas, que se habrían producido por su gestión y/o su metanización en rellenos, se produce una importante reducción neta de emisiones de CO_{2eq}.

El coprocesamiento como se indicó en el capítulo 1, corresponde a una forma de eliminación de residuos con recuperación energética, que corresponde a una forma

superior a cualquier disposición en suelo y a la incineración sanitaria sin recuperación. Es además superior a Waste to Energy en algunos aspectos importantes:

- El coprocesamiento no genera nuevos residuos, Waste to Energy genera cenizas que requieren de un manejo apropiado.
- El coprocesamiento no requiere inversión adicional importante.
- El coprocesamiento no agrega nuevas emisiones a la atmósfera como Waste to Energy sino que reemplaza aquellas de combustibles fósiles.

3.2.4.2. Calidad

De acuerdo con estas guías, los combustibles alternativos y las materias primas deben cumplir con especificaciones de calidad (física y química), de la misma forma que los combustibles primarios y las materias primas. Deben existir procesos para determinar la idoneidad de combustibles alternativos y materias primas y, una vez identificados, prepararlos para su uso (preprocesamiento). Las propiedades físicas y de manejo de cada nuevo material deben entenderse y los operadores deben asegurarse de que se instale el equipo de almacenamiento y manejo adecuado.

En la selección de combustibles alternativos y materias primas, los posibles impactos en el medio ambiente,

en las operaciones de fabricación de clínker y cemento, y en la calidad del producto, deben evaluarse antes de su uso. En particular, se considera lo siguiente:

- Contenido de álcali, azufre, cloruro y oligoelementos.
- Valor calorífico.
- Contenido de agua.
- Contenido de cenizas.
- Impacto potencial en la estabilidad de la operación.
- Selección, aceptación y trazabilidad.

3.2.4.3. Transporte y Almacenaje

Estas guías señalan que el manejo de residuos debe considerar aspectos locales de transporte de residuos. Cuando no existan regulaciones específicas, los residuos peligrosos y otros residuos deben empaquetarse, etiquetarse y transportarse de conformidad con las normas locales, además de las normas y prácticas aceptadas y reconocidas internacionalmente.

Se utilizarán y exigirán los requisitos legales aplicables para evitar accidentes y, en particular, incidentes debido a la

incompatibilidad de residuos o subproductos mal etiquetados o caracterizados que se mezclen o almacenen juntos.

Las empresas que pretendan importar residuos deben tener en cuenta las obligaciones del país importador en virtud de la legislación nacional y los regímenes de control internacional aplicables en relación con los movimientos transfronterizos de residuos.

A su vez, el almacenamiento de combustibles alternativos y materias primas deberá tener en cuenta las disposiciones de seguridad y salud, medio ambiente, y respuesta ante emergencias, además de cumplir con todas las regulaciones locales y nacionales aplicables.

3.2.4.4. Residuos comúnmente restringidos

Los residuos que, debido a su composición química, propiedades de los materiales o riesgos potenciales, pueden influir en la seguridad o el funcionamiento de una planta de cemento, o cuyo uso en una planta de cemento conduciría a un impacto ambiental adicional significativo, no serán coprocesados en plantas de cemento. Por lo tanto, es necesario especificar requisitos de calidad para los residuos y, en ciertos casos, restringir el uso de residuos particulares. Como consecuencia, la siguiente lista indica los materiales de residuos que no deben considerarse para el coprocesamiento en plantas de cemento:

- Residuos radiactivos de la industria nuclear.
- Residuos eléctricos y electrónicos.
- Baterías enteras.
- Residuos corrosivos, incluidos los ácidos minerales.
- Explosivos y municiones.
- Residuos que contengan cianuro.
- Residuos que contienen asbesto.
- Desechos médicos infecciosos.
- Armas químicas o biológicas destinadas a su eliminación.
- Residuos que contengan mercurio.
- Residuos de composición desconocida o impredecible, incluidos los residuos municipales sin clasificar.
- Desechar materias primas con poco o ningún valor mineral para el clínker.

Las instalaciones individuales también pueden excluir otros materiales dependiendo de la materia prima local y la química del combustible, la infraestructura y el proceso de fabricación del cemento, la disponibilidad de equipos para controlar, manipular y alimentar los materiales de residuos, además de problemas específicos de seguridad, salud y medio ambiente del sitio, región o país.

En el caso de residuos eléctricos y electrónicos, algunos componentes (por ejemplo, los plásticos) podrían ser coprocesables, si existe una etapa previa de deconstrucción del artefacto y separación tipo de residuo.



3.3 Estadísticas de Uso de Combustibles Alternativos

El **“CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry”**, protocolo de inventario de emisiones de CO₂ específico para la industria del cemento, alineado con el Protocolo del World Resources

Institute (WRI - WBCSD) Greenhouse Gas (GHG), el cual utiliza una categorización de combustibles alternativos, diferenciados en su origen fósil o biogénico (biomasa), la cual es presentada a continuación:

Combustibles fósiles alternativos

- Aceite fuera de uso
- Neumáticos fuera de uso
- CDR incluyendo plásticos
- Solventes fuera de uso
- Aserrín impregnado
- Residuos industriales mixtos
- Otros combustibles fósiles basados en residuos

Combustibles de biomasa

- Lodos de depuradora deshidratado
- Madera, aserrín no impregnado
- Papeles y cartones
- Harinas animales
- Harinas animales de huesos
- Grasas animales
- Agrícolas, orgánicos, pañales fuera de uso y carbón vegetal
- Otros de biomasa

La información que se presentará a continuación corresponde a una combinación de dos fuentes de información:

- **Base de datos de iniciativa GNR:** Getting the Number Right. Iniciativa dependiente del Global Cement and Concrete Association GCCA que recopila y publica datos clave que registran los compromisos de sostenibilidad de la industria.
- **Base de datos de Calculadora para Hoja de Ruta FICEM.** Repositorio de datos recopilados en los procesos de formulación de Hoja de Ruta para la industria del cemento para Argentina, Colombia, República Dominicana, Chile y una macrozona conformada por Panamá, Costa Rica, Honduras y Guatemala. Los años base tomados para estas hojas de ruta fueron 2014 o 2015 a elección del país.

En el **Gráfico 24** se presenta el uso de combustibles alternativos (fósiles alternativos y biomasa) en distintos países, para el año 2014 (2015 en el caso de Colombia) y destaca en color azul oscuro los promedios para la zona Euro28, para Latinoamérica y El Caribe y para el Mundo. Europa supera casi tres veces el porcentaje de coprocesamiento en su industria cementera, con valores extraordinariamente altos como Austria con un 75% y que llegaría al 79% el año 2017, o Alemania con 64%. Si consideramos que el 15% de Latinoamérica está fuertemente influenciado por Brasil que exhibe un 19%, el resto de la región tiene valores aún más bajos de coprocesamiento. Datos disponibles para el año 2017 indican un 6% de coprocesamiento para la región de Sudamérica excluido Brasil y 14% para la región de Centroamérica y El Caribe. El bajo valor de Latinoamérica sin embargo no es tan distinto de lo que ocurre en otras regiones del mundo a excepción de Europa, si observamos lo bajo del promedio mundial, de 16% para este año 2014.

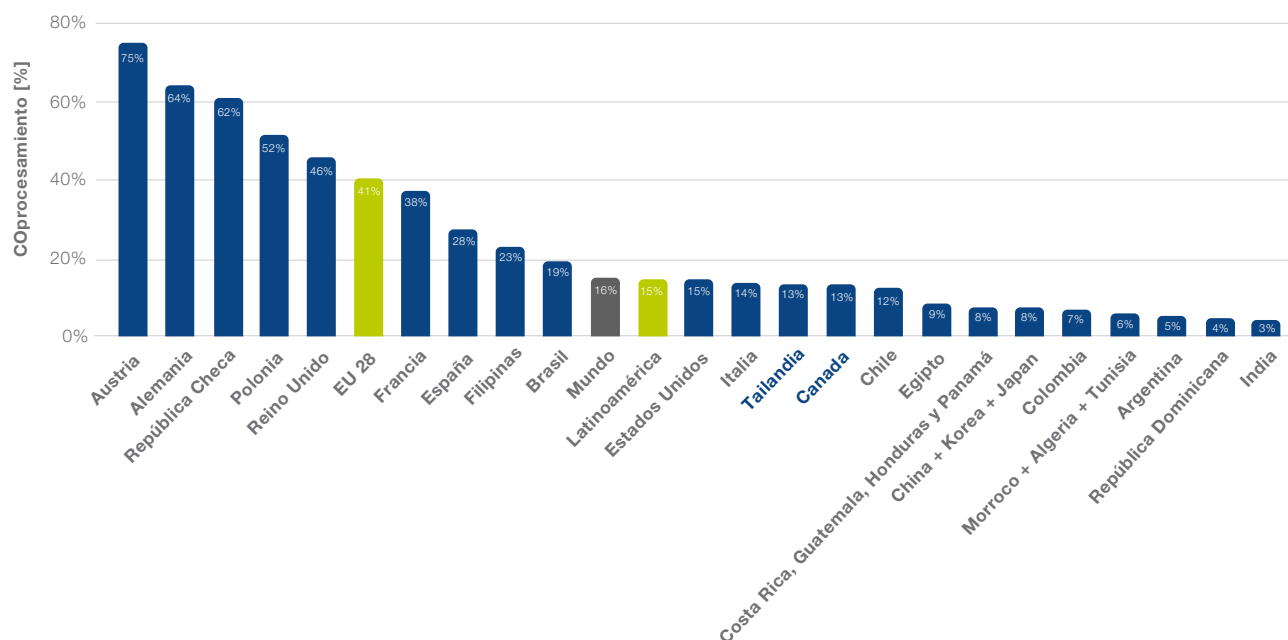


Gráfico 24: Porcentaje de coprocesamiento por países y regiones para el año 2014. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

En el **Gráfico 25** se presenta la evolución a través de los años, del porcentaje de coprocesamiento en hornos cementeros para algunos países y regiones. Esto permite apreciar países de Europa con una evolución extraordinaria en el uso de combustibles alternativos, como Austria, Alemania y Polonia, con una media de Europa con una tendencia clara y sostenida a valores por sobre el 40%. Siguiéndole a Europa, solo Brasil alcanza valores en torno al 20% desde el año 2005.

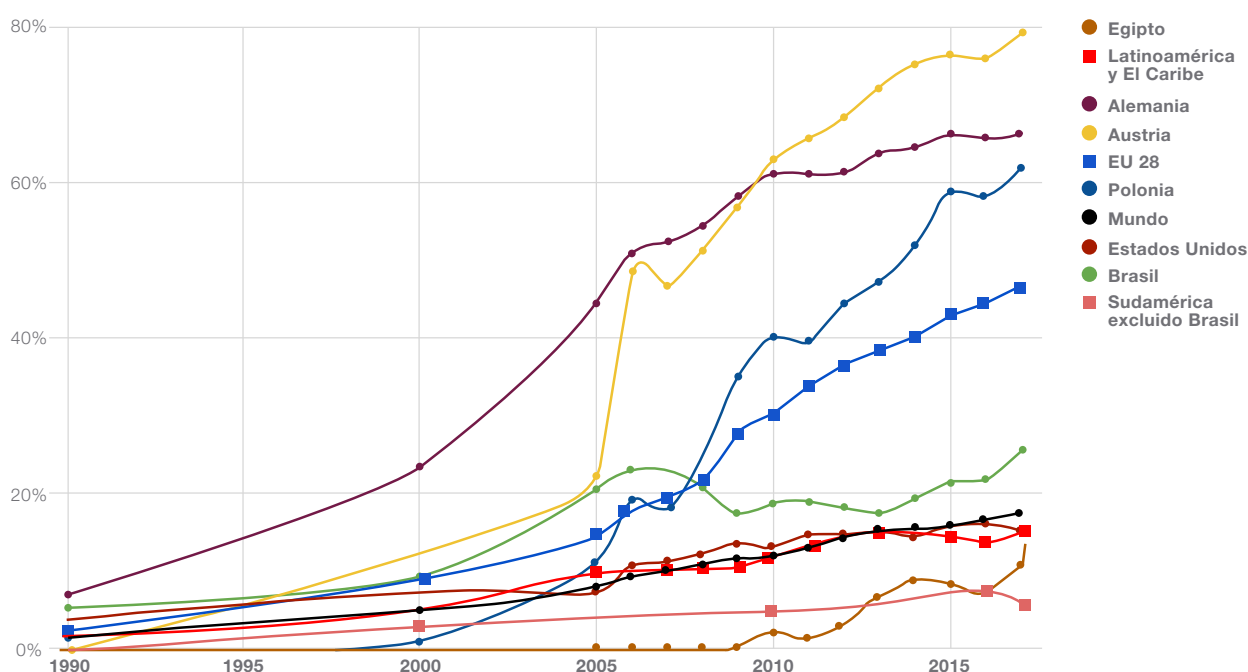


Gráfico 25: Porcentaje de coprocesamiento por representación de regiones supranacionales a partir de los datos de GNR. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

Para observar con mayor detalle la situación de América Latina y El Caribe, el Gráfico 26 expone las curvas para América Latina y El Caribe, América del Sur (excluido Brasil)³³ y América Central. Además, se presenta la serie de Brasil y datos puntuales para los países participantes de la hoja de Ruta FICEM que, como se mencionó,

contempla datos para los años 2014 o 2015. Con base al gráfico señalado, se confirma nuevamente el bajo desempeño en el uso de combustibles alternativos con la excepción de Brasil, el cual sin embargo es bajo en comparación con la mayoría de los países europeos.

³³La región “América del Sur (excluido Brasil)” es una categorización de la iniciativa GNR, en la cual solo Brasil se presenta en forma individual y el resto de los países de Sudamérica, por tamaño, se presentan agrupados en esta categoría.

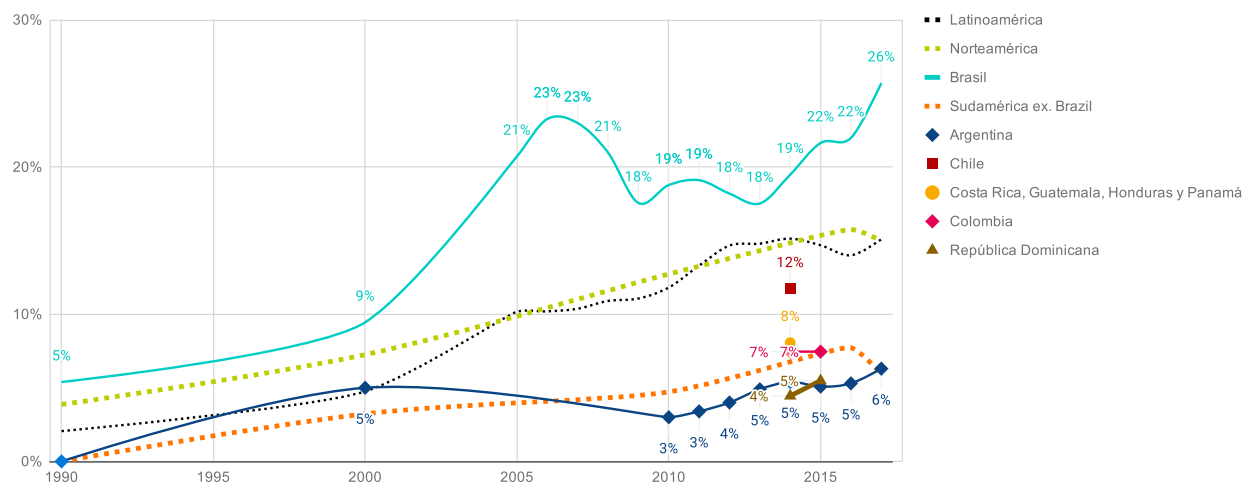


Gráfico 26: Porcentaje de coprocesamiento en América Latina y El Caribe para países y regiones. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

A continuación, se examina la situación de las mismas entidades analizadas, pero esta vez con el detalle de los combustibles alternativos utilizados. Cabe señalar que, por razones de disponibilidad de información, en los siguientes gráficos se combinan datos de años distintos, a saber, datos de GNR para el año 2017 y datos de hoja de ruta FICEM para los años 2014 o 2015, según el país.

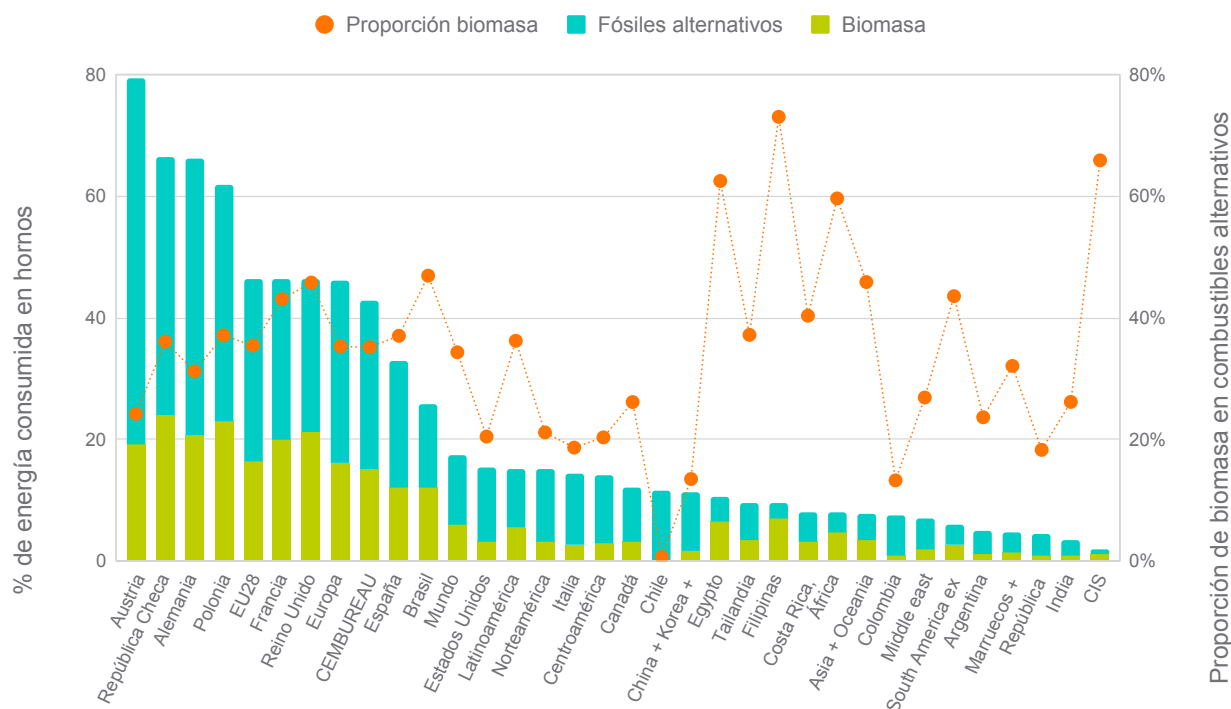


Gráfico 27: Porcentaje de coprocesamiento compuesto de parte de fósiles alternativos y biomasa y proporción e biomasa para distintos países y regiones supranacionales. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

En el **Gráfico 27** se presenta la distribución de uso porcentual de combustibles alternativos (separados en combustibles fósiles alternativos y combustibles derivados de biomasa en barras) junto con la proporción de biomasa en los combustibles alternativos (línea roja). Se aprecia que no hay una correspondencia entre niveles altos de coprocesamiento en función del contenido de biomasa, pero países con alto coprocesamiento mantienen niveles que oscilan entre un 30 y un 50% de proporción de biomasa de forma más o menos estable. En Europa, que ocupa todos los primeros lugares en uso de combustibles alternativos, se distinguen un grupo de avanzada, principalmente los estados centrales (Polonia, Alemania, República Checa, Austria), Francia y Reino Unido, este último en la medianía de la tabla alrededor de los promedios regionales y países mediterráneos, (España, Italia) con valores más bajos de uso de combustibles alternativos. Solo Italia presenta valores bajo 20%, por debajo incluso del promedio de América Latina y El Caribe y América del Norte. El 41,7% de aporte energético en Austria proviene del uso de combustibles derivados de residuos CDR (RDF) elaborados principalmente a partir de RSU.

Con respecto a los combustibles alternativos utilizados, el **Gráfico 28** indica el porcentaje de participación energética, mientras que el **Gráfico 29** muestra comparativamente la participación de cada combustible alternativo para el caso de Europa, y América Latina y El Caribe. Se observa que muchos de los combustibles alternativos que más aportan en Europa son escasamente utilizados en América Latina y El Caribe, tales como RDF, harinas animales o residuos industriales mezclados, los que en Europa suman un 27% de participación y en América Latina y El Caribe no alcanzan al 4%. Los neumáticos fuera de uso, que están más presentes en Europa, se encuentran también en América Latina y El Caribe (4% sobre 2.9%). Lodos de depuradoras, maderas y solventes, cuyas participaciones en Europa suman 8.3%, en América Latina y El Caribe alcanzan un 1%. Los residuos agrícolas son el único combustible alternativo cuya participación es mayor en América Latina y El Caribe, muy influenciado por el efecto de Brasil que tiene un 8.7% de participación en este combustible.

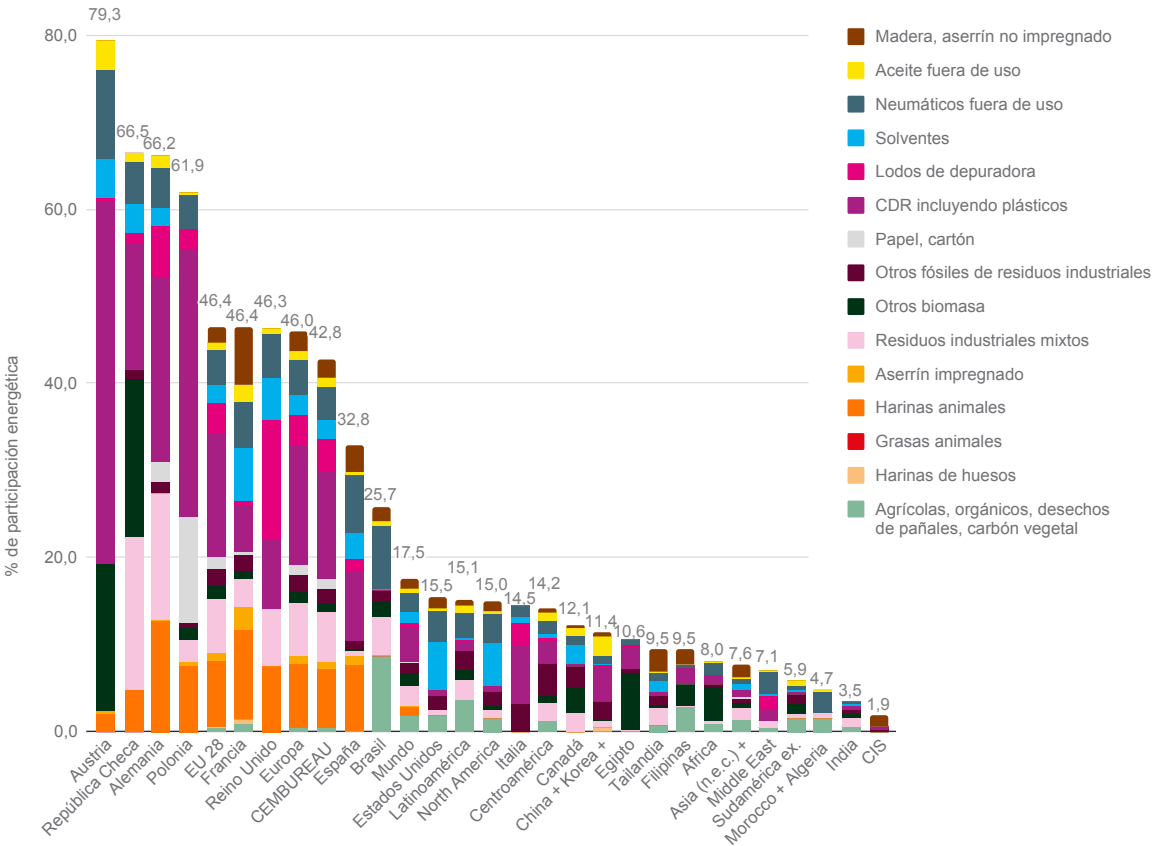


Gráfico 28: Composición del porcentaje de coprocesamiento en sus tipos de combustibles alternativos, para distintos países y regiones supranacionales. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

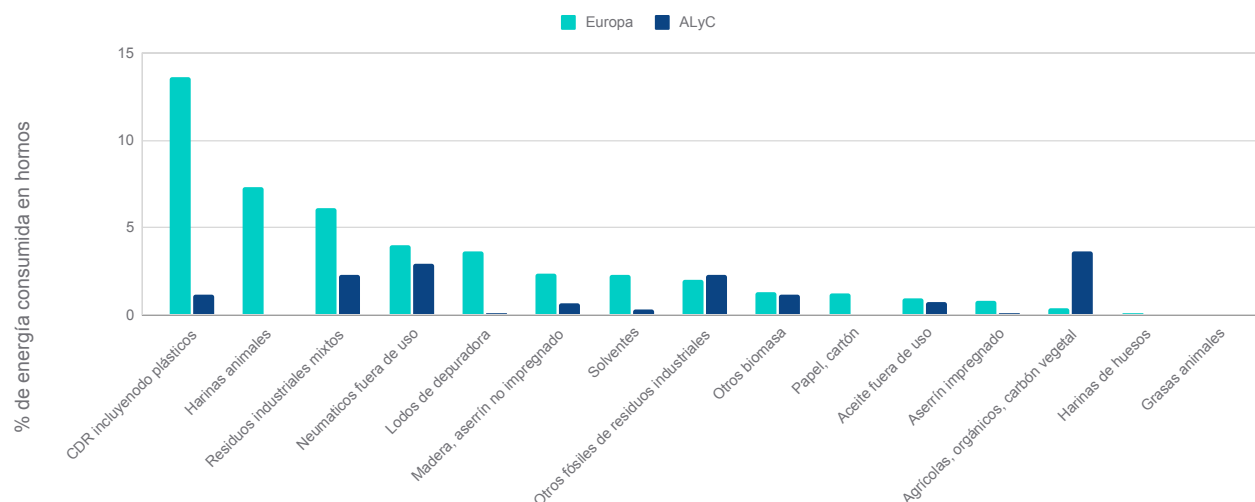


Gráfico 29: Comparación entre aporte energético por tipo de combustible alternativo para Europa y América Latina y El Caribe a partir de datos GNR 2017. Fuente: Elaboración propia a partir de datos GNR y Hoja de Ruta FICEM.

Por otra parte, tomando como referencia la experiencia de Polonia, para cumplir con la directiva de la UE relacionada con la gestión de residuos (Directiva 2008/98 / CE), el Ministerio de Medio Ambiente de este país estableció en 2011 algunos objetivos para reducir la cantidad de residuos municipales que van a los vertederos; entre ellos reducir los vertederos en un 50% a 2013 y en un 35% a 2020.

La industria del cemento en Polonia ha alentado activamente a las empresas de gestión de residuos a

desarrollar instalaciones que traten residuos sólidos urbanos (RSU) para producir un combustible derivado de residuos (RDF) que pueda utilizarse en las plantas de cemento. Casi todas las plantas de cemento han recibido permisos de sus reguladores locales y están reemplazando, en promedio, el 36% (en 2009) de su carbón con RDF. Como resultado, cerca del 20% de los RSU ahora se convierte a RDF, lo que permite que la industria del cemento en Polonia lidere con la mayor contribución a los objetivos de reducción de residuos del país.

3.3.1. Combustibles alternativos con contenido fósil

3.3.1.1. Aceite fuera de uso

Debido a su alto poder calorífico y facilidad de manejo y quema, el aceite fuera de uso es un combustible alternativo muy atractivo, pero de alto valor económico. La capacidad de las plantas de cemento para acceder a este segmento de residuos a precios competitivos depende en gran medida del entorno regulatorio, puesto que existen fiscalizaciones y sanciones estrictas a su eliminación en sistemas de alcantarillado, cursos o cuerpos de agua o contaminación de suelos.

A mediados de la década de 1980, a fin de evitar la eliminación insegura de aceite usado, Francia estableció un esquema regulatorio claro con una herramienta eficiente de

incentivos financieros y un sistema de seguimiento, ayudando así a reducir en gran medida la eliminación ilegal. Debido a la baja capacidad de reciclaje del país, la industria del cemento se ha apoderado rápidamente de este segmento de residuos, con un consumo anual de aceite usado que alcanza un máximo de 150,000 toneladas. El gobierno francés ha alentado la recuperación de energía en los hornos de cemento ya que una evaluación del ciclo de vida mostró que la ruta del cemento tuvo resultados preferibles para la regeneración ácida en todas las categorías de impacto ambiental.

No obstante, la Unión Europea ha adoptado un enfoque dogmático al favorecer la recuperación de material sobre la recuperación de energía. Esto ha reducido en gran medida la cantidad de aceite residual recuperado en la industria del cemento. Fuera de Europa, el segmento del mercado de aceite usado ha

sido accesible solo esporádicamente para la industria del cemento (por ejemplo, en Chile). La contaminación derivada de la eliminación ilegal e insegura de aceite usado podría traer cambios, pero esto debería pasar por la dictación de la regulación pertinente.

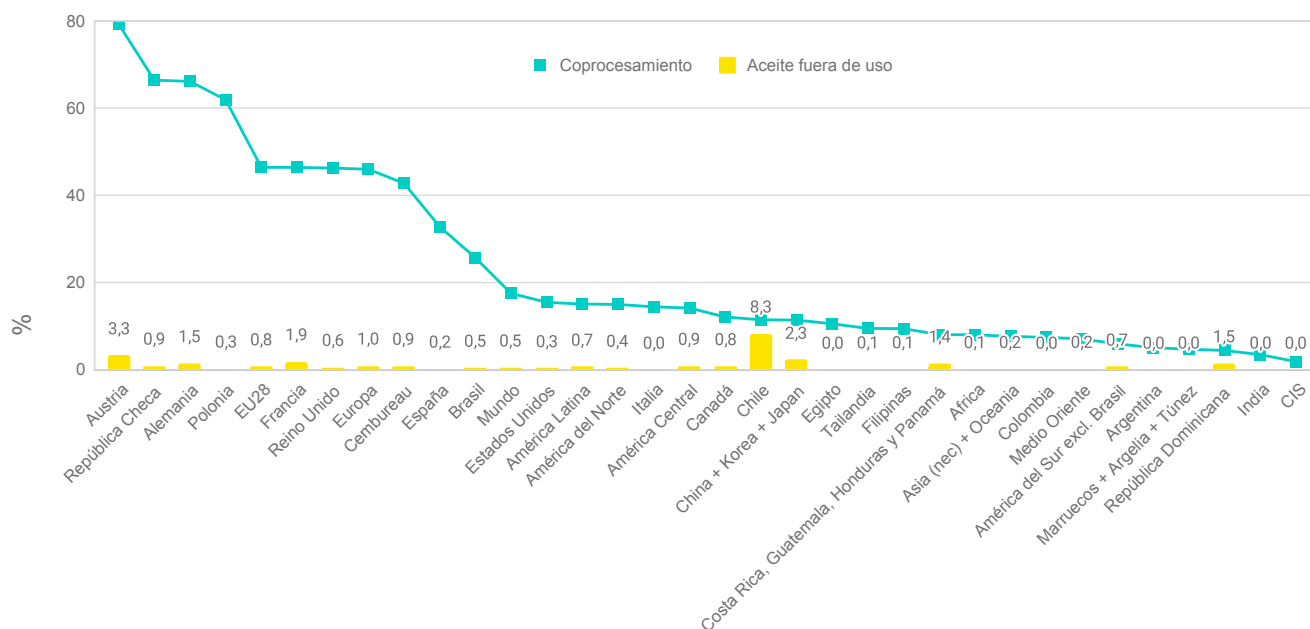


Gráfico 30: Porcentaje de participación energética de los aceites fuera de uso como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales. Fuente: GNR Database 2017 y Hoja de Ruta FICEM.

Como puede verse en el **Gráfico 30**, este residuo tiene baja participación independiente incluso del nivel de ingreso o de lo desarrollada que sea la industria en los países. Solo se destaca una alta participación en Chile, lo cual, de acuerdo con la hoja de ruta FICEM, se debe a residuos derivados de la minería del cobre y a la fracción residual de las plantas valorizadoras de aceites usados.

3.3.1.2. Neumáticos fuera de uso NFU

A menudo, los neumáticos fuera de uso se mencionan como el mejor ejemplo de un combustible alternativo para su uso en la industria del cemento. Este residuo es, por definición, homogéneo, aunque el valor calorífico se ve afectado por el nivel de desgaste. Además, (1) el metal contenido en los neumáticos se incorpora fácilmente en

la composición química del clinker; (2) las temperaturas del horno aseguran una combustión completa; y (3) los neumáticos enteros de vehículos ligeros y camionetas pequeñas pueden ser alimentados sin ningún tratamiento previo, lo que optimiza los costos de inversión.

Hoy, alrededor del 50% de neumáticos usados en todo el mundo se recupera. Esta recuperación puede tomar formas muy diferentes, desde la producción de gránulos hasta la estabilización de los bancos de carreteras. La producción de gránulos es una fuente de residuos secundarios, como cordones o gránulos de neumáticos de acero sin valor económico.

En Europa, la introducción del principio de Responsabilidad Extendida del Productor (REP) ha facilitado el desarrollo de este mercado. En Francia, por ejemplo, Aliapur, propiedad de los principales fabricantes de neumáticos del país, gestiona la mayor parte de las disposiciones de neumáticos usados. En general, las cadenas de suministro de neumáticos usados para plantas de cemento se basan en acuerdos directos con los fabricantes.

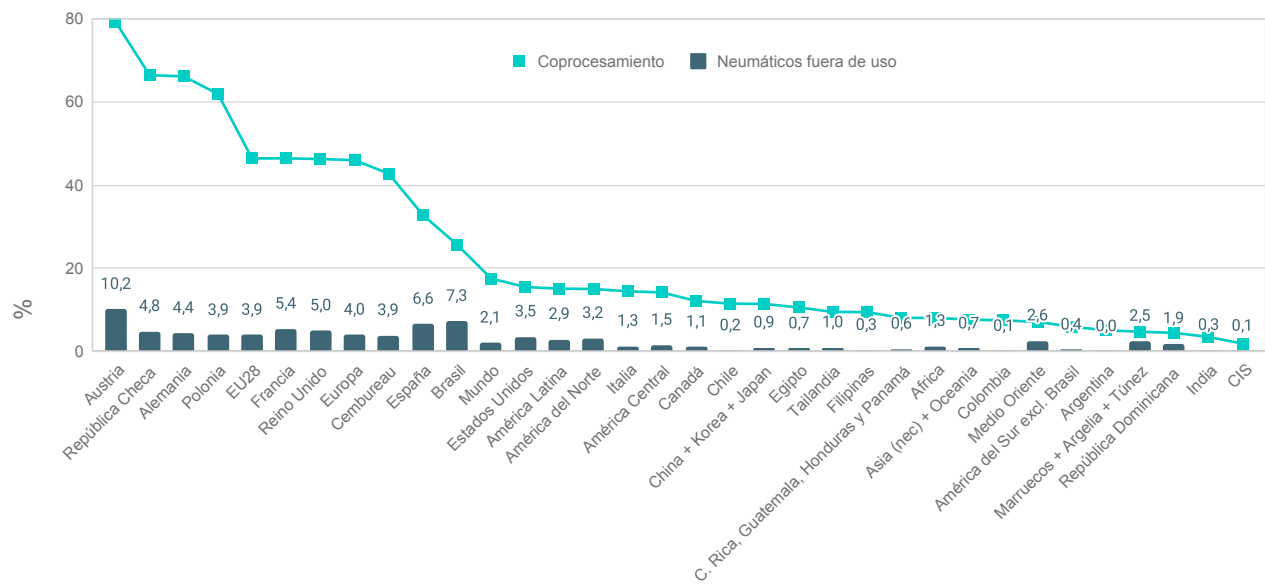


Gráfico 31: Porcentaje de participación energética de los neumáticos fuera de uso como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

De acuerdo con el **Gráfico 31**, existe una alta presencia de NFU en el coprocesamiento a nivel mundial, pero con un límite alrededor del 10%, debido a limitaciones técnicas por la cantidad de acero que queda incorporado en el clinker. Mayores tasas de coprocesamiento de NFU implican un preprocesamiento de éstos, lo que eleva los costos de inversión y operación de las adaptaciones a la infraestructura.

Por otra parte, las economías desarrolladas exhiben las mayores tasas, debido a que los marcos regulatorios como las leyes de Responsabilidad Extendida al Productor (REP), son fundamentales para viabilizar financiera y logísticamente los circuitos de recolección, transporte y procesamiento de los NFU.

3.3.1.3. CDR incluyendo plásticos

El combustible derivado de residuos CDR (RDF, por su sigla en inglés) es un combustible producido a partir de distintos tipos de residuos, tales como: residuos sólidos

urbanos RSU (domésticos y comerciales) y residuos industriales.

La producción de CDR implica dos aspectos principales: clasificación y trituración. Si bien las plantas cementeras tienen a disposición los flujos de RSU generados por las ciudades y centros poblados, se debe conciliar esta oferta importante con el bajo poder calorífico, los costos de transporte y preprocesamiento, así como también con la integración de mano de obra local, particularmente en países de bajos ingresos.

En el **Gráfico 32** se aprecia que los CDR son la principal fuente de combustibles alternativos en países con los niveles más altos de coprocesamiento en el mundo, con un 30% de participación en promedio en Europa. Esto se debe a que los RSU siempre están presentes, su oferta excede la demanda energética de la industria y son atractivos económicamente cuando los sistemas de gestión de residuos son suficientemente maduros, para que el costo de disposición en rellenos sea mayor.

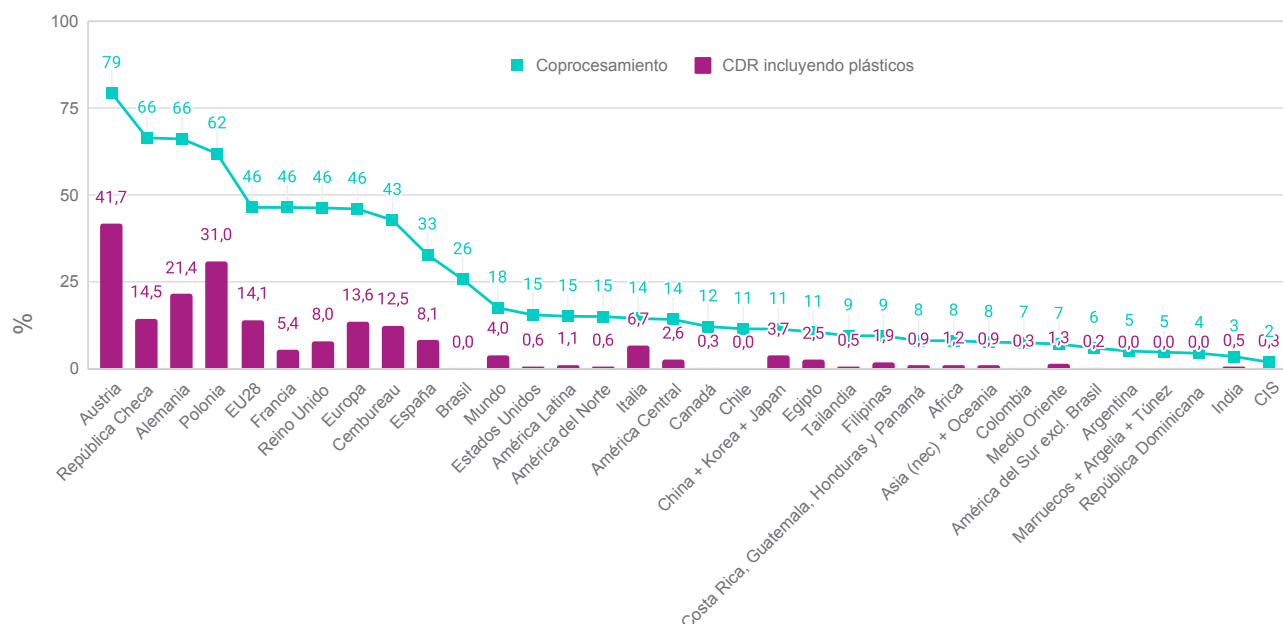


Gráfico 32: Porcentaje de participación energética de los CDRs, incluyendo plásticos, como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.1.4. Solventes fuera de uso

Los solventes usados combinan tres ventajas principales: alto poder calorífico, una fase líquida que facilita su inyección en la campana de calentamiento y la capacidad para que el cemento reciba una tarifa de eliminación (puerta) como resultado de presiones regulatorias sobre la gestión de residuos peligrosos.

Hay una serie de factores importantes a considerar que incluyen, entre otros: el contenido de cloro, las mezclas de compatibilidad (preocupación por provocar reacciones) y las restricciones de seguridad relacionadas con el manejo de productos con un bajo punto de inflamación.

Las principales fuentes de solventes usados son las industrias química y farmacéutica, y la fabricación y uso de pinturas, pegamentos y barnices (incluso en la industria automotriz). Las cantidades disponibles de solventes usados han disminuido considerablemente a lo largo de los años como resultado de los esfuerzos de los productores para reducir el uso de solventes en la fuente, desarrollar la regeneración y alterar los procesos de fabricación (particularmente para pinturas en polvo y a base de agua). Los solventes gastados siguen siendo un combustible alternativo significativo en algunas plantas de cemento en los Estados Unidos y Europa.

Incluso con tasas de sustitución bajas los solventes usados tienen la ventaja de facilitar el uso de combustibles de bajo poder calorífico.

Finalmente, los solventes usados se utilizan para diluir los desechos pastosos (lodos de pintura, resinas, pegamentos, fondos de destilación y columnas de destilación) en instalaciones de pretratamiento y para facilitar el manejo de una inyección de mezcla líquida en el quemador del horno.

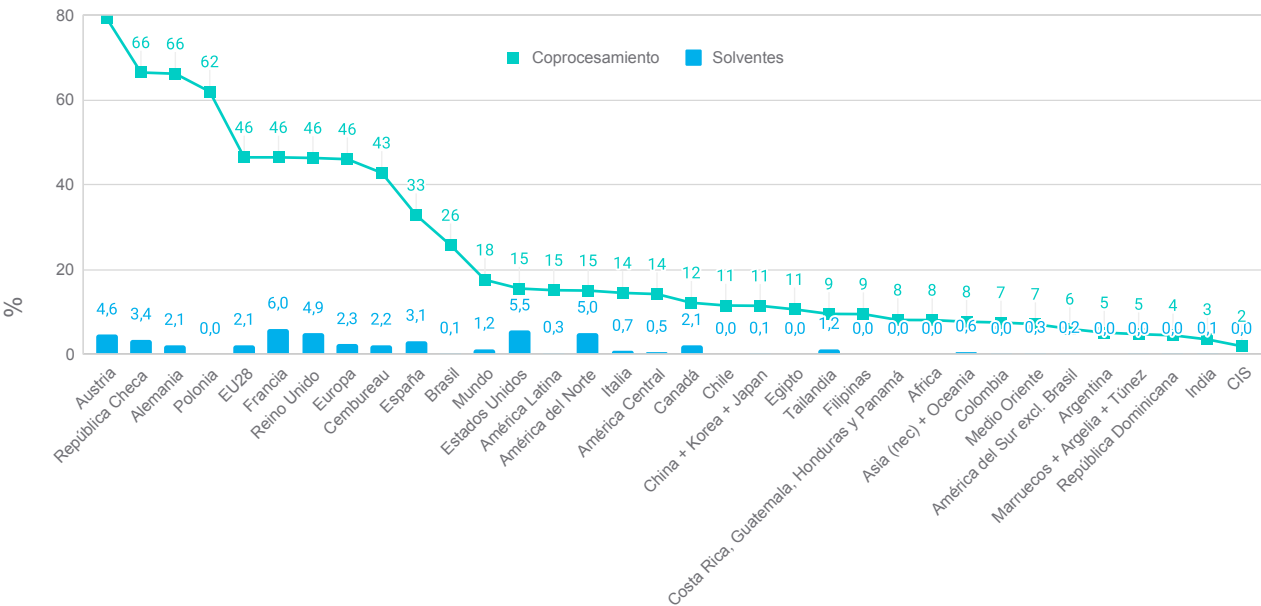


Gráfico 33: Porcentaje de participación energética de los solventes fuera de uso como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

Pese a las bondades de los solventes como combustibles, el **Gráfico 33** nos muestra una participación menor, lo cual estaría asociado a lo complejo de su manejo, con mayores requerimientos de infraestructura y capacidades técnicas para manejo de sustancias peligrosas. En muchos casos se utiliza en asociación a otros combustibles de menor poder calorífico, lo cual disminuye principalmente el riesgo de inflamación al tiempo de hacer viables otros residuos de menor poder calorífico.

3.3.1.5. Aserrín impregnado

Prácticamente tiene una nula presencia en todo el mundo a excepción de Francia con un 2,6% y bajo el 1% en España, Alemania y Austria. Se utiliza principalmente

como mejorador de otros combustibles alternativos de menor poder calorífico.

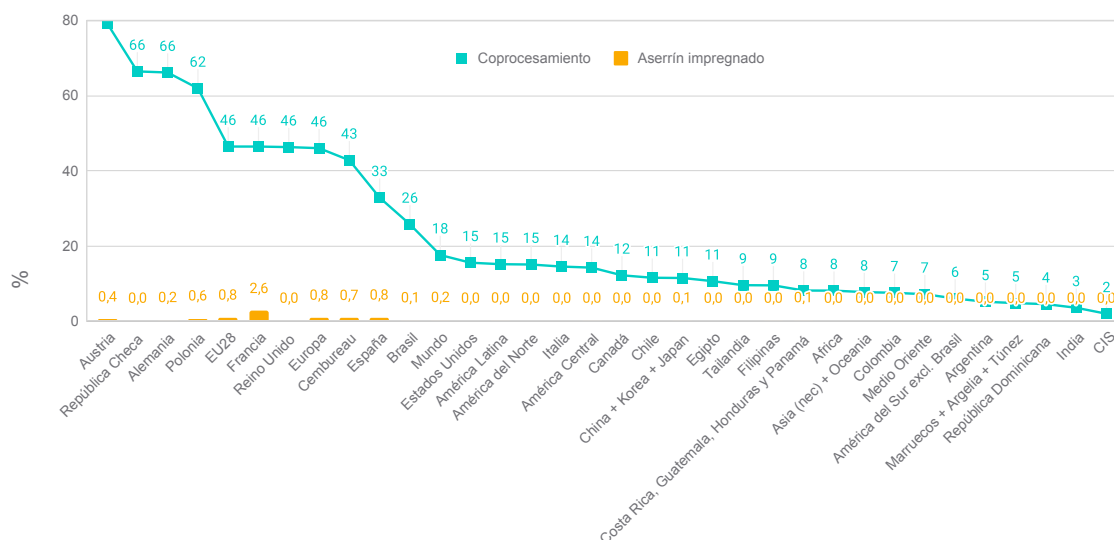


Gráfico 34: Porcentaje de participación energética del aserrín impregnado como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta **FICEM**.

3.3.1.6. Residuos industriales mixtos

Al ser una categoría de difícil identificación, es difícil hacer un análisis general respecto del origen de estos residuos, dado que su constitución dependerá de las industrias presentes en cada país o zona.

Sin embargo, tiene una participación promedio en Europa del 7% de energía total en hornos, lo cual los hace atractivos en tanto los marcos regulatorios de los países favorezcan su aprovechamiento en relación con la disposición en rellenos sanitarios.

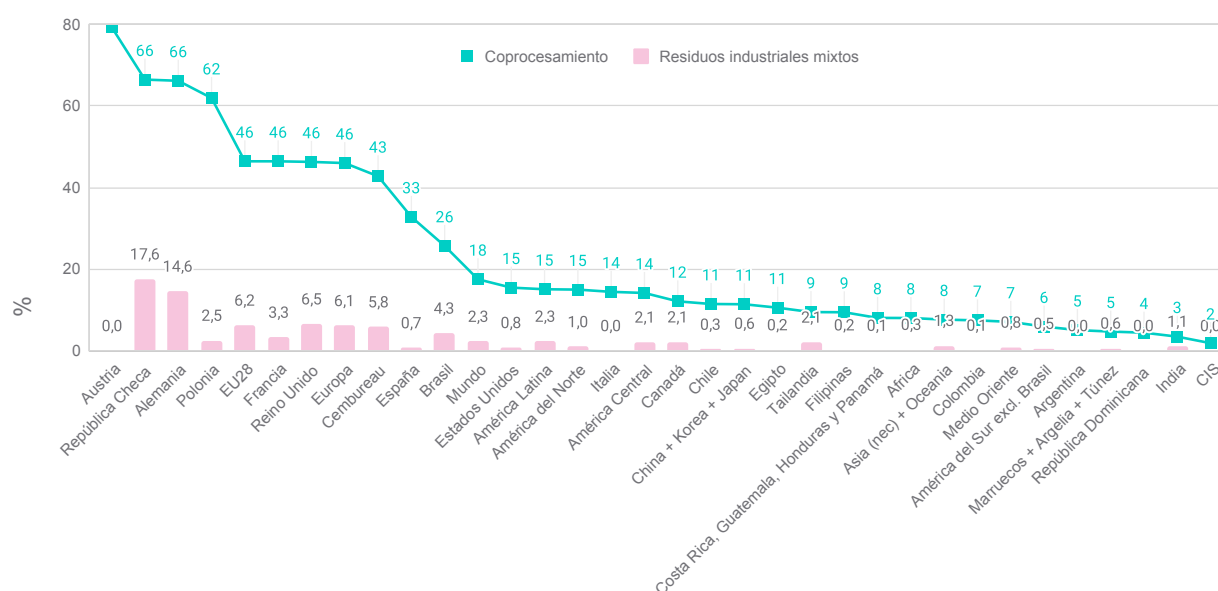


Gráfico 35: Porcentaje de participación energética de los residuos industriales mixtos como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta **FICEM**.

3.3.1.7. Otros combustibles fósiles basados en residuos

No es posible establecer alguna característica acerca de esta categoría de residuos, por la poca especificidad de su definición.

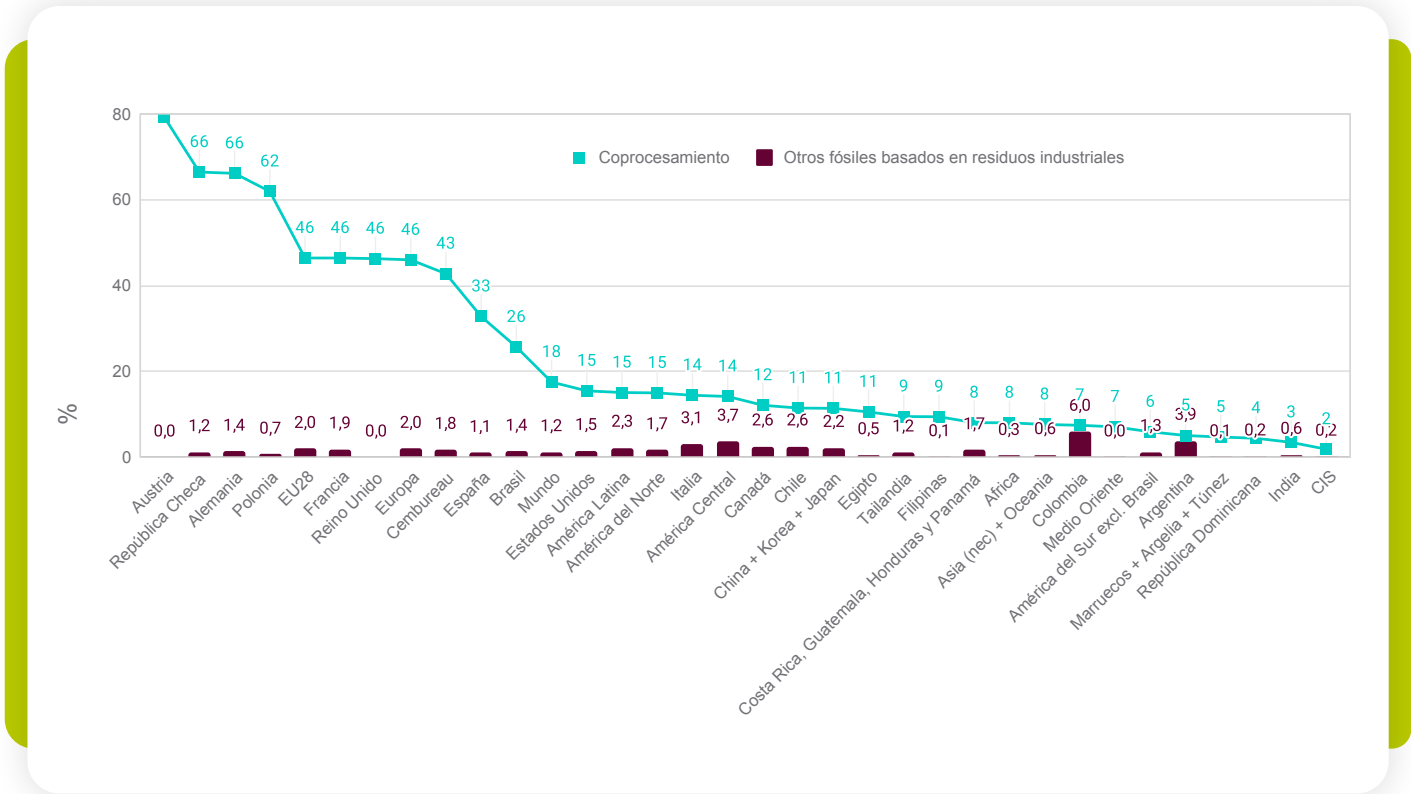


Gráfico 36: Porcentaje de participación energética de otros combustibles alternativos fósiles basados en residuos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2. Combustibles de biomasa

3.3.2.1. Lodos de depuradora deshidratado

Esta es una categoría completamente ausente en América Latina y El Caribe, sin embargo, con una presencia del 3.6% en Europa llegando en Reino Unido al 13.6% del aporte energético y un 35% de su coprocesamiento total. Indudablemente la disponibilidad de este tipo de

residuos dependerá de la existencia de plantas depuradoras de aguas y teniendo Latinoamérica y El Caribe, solo un 22% de la población tiene acceso a alguna forma de saneamiento de sus aguas [BID/CEPAL 2018].

En América Latina y el Caribe, la temática de los servicios de agua potable y saneamiento no es un tema resuelto. En efecto, aun con las mejoras observadas en estos servicios en la región, más de 13 millones de habitantes urbanos no tienen acceso a fuentes mejoradas de agua y casi 61 millones a instalaciones mejoradas de saneamiento, situación que en el sector rural se agrava, de modo que aún se requiere avanzar en forma significativa en la materia (JMP, 2015). Si se consideran los criterios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), estas brechas son más evidentes. En efecto, según definiciones compatibles con los ODS, tan solo 65% de la población de la región tiene acceso al agua potable y 22% al saneamiento [BID/CEPAL 2018].

En la medida que los países avancen en el desarrollo de infraestructura de saneamiento de aguas y que los marcos regulatorios lo permitan e incluso incentiven, los lodos de depuradoras pueden llegar a constituirse en una alternativa interesante de provisión energética para hornos cementeros. Deben considerarse siempre los costos de deshidratación de los lodos, en el balance financiero y ambiental, dado que el aporte energético que suponen se contrarresta con el requerimiento energético de deshidratarlos.

Tal es el caso de Brasil, que prevé llegar desde un 2% de coprocesamiento a base de lodos de depuradora al año 2030 hasta un 7% al año 2050, según su Hoja de Ruta “ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO” 2019.

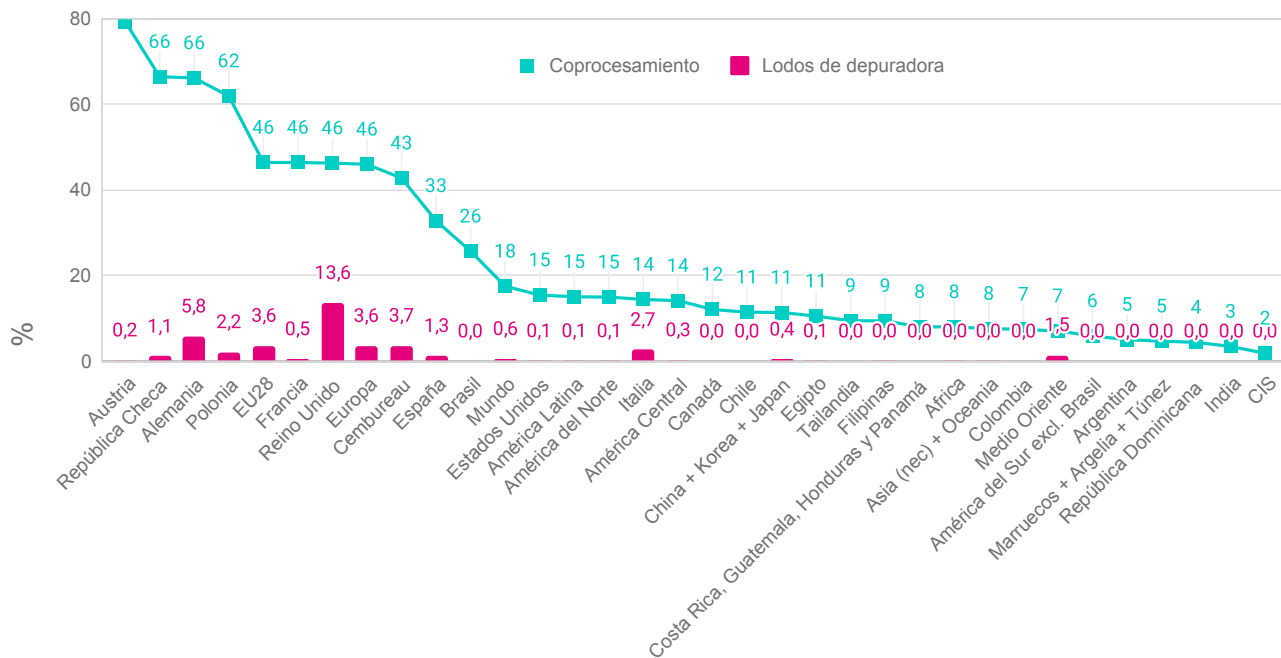


Gráfico 37: Porcentaje de participación energética de lodos de plantas depuradoras de aguas residuales como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2.2. Madera, aserrín no impregnado

Debido a las nuevas tecnologías de reciclado y reutilización de aserrín, ya sea para fabricación de muebles, paneles u otros productos, ha ido reduciendo su presencia como combustible alternativo en hornos cementeros .

Por esta razón presenta porcentajes bajos de participación en todo el mundo a excepción de Francia. Se utiliza en pequeñas cantidades para complementar otros residuos de menor poder calorífico.

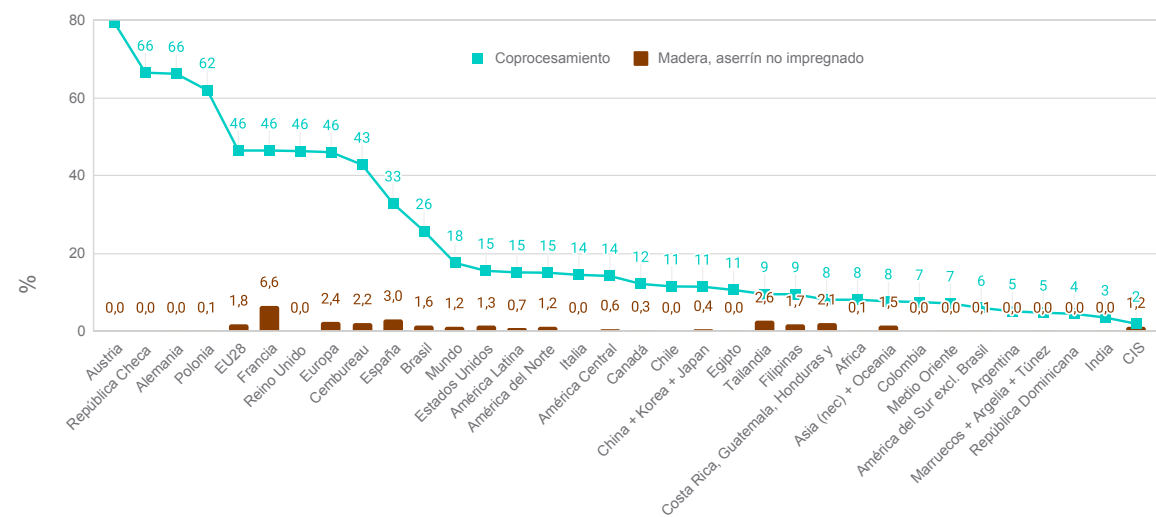


Gráfico 38: Porcentaje de participación energética de madera y/o aserrín no impregnado como combustible alternativo versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2.3. Papeles y cartones

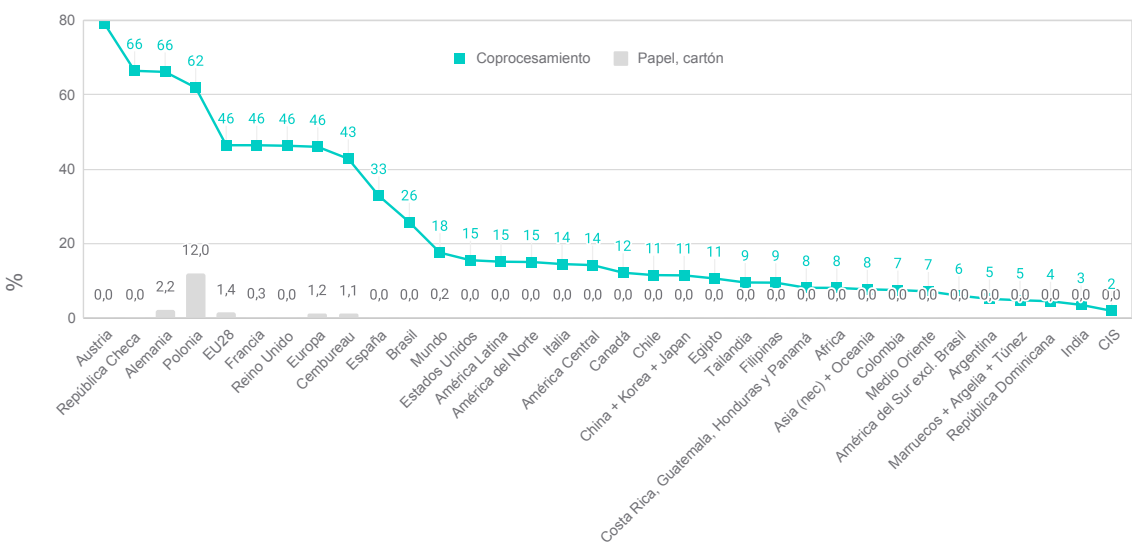


Gráfico 39: Porcentaje de participación energética de papeles y cartones como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

Un residuo de muy baja presencia como combustible alternativo de hornos cementeros, salvo la excepción de Polonia. El promedio de Europa en uso de papeles y cartones como combustible alternativo es 1,2% que aun siendo bajo es mayor que cualquier otro lugar del mundo y dado que debe corresponder a papeles y cartones contaminados, sucios o humedecidos que no pueden ser

reciclados o reutilizados, suponen un flujo constante de residuo.

En América Latina y El Caribe, con las bajas tasas de reciclaje predominantes, es probable que mayores cantidades de papeles y cartones terminen en vertederos o rellenos sanitarios.

3.3.2.4. Harinas animales

Una presencia importante de harinas animales se da en Europa y en ninguna otra parte del mundo con un promedio de 7,3% y un valor máximo de los países reportados a GNR de 12.6% en Alemania. En este país con un 66% de coprocesamiento, las harinas animales representan un 20% del aporte energético de sus combustibles alternativos.

Un aspecto relevante que puede influir en el extensivo uso de este residuo en Europa a diferencia del resto del mundo y particularmente en Latinoamérica y El Caribe recae en el marco regulatorio asociado a control de enfermedades del ganado, aspecto que debe ser estudiado con miras a oportunidades futuras en el coprocesamiento de harinas animales.

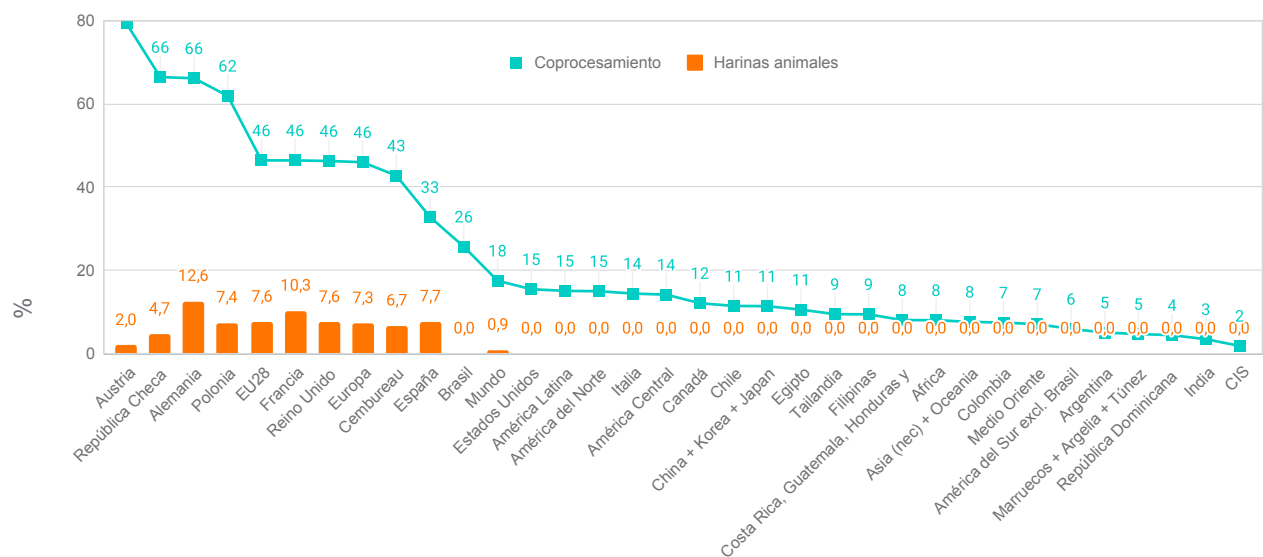


Gráfico 40: Porcentaje de participación energética de harinas animales como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2.5. Harinas animales de huesos

Prácticamente no tiene presencia alguna en el mundo como combustible alternativo en hornos cementeros, como lo evidencia el **Gráfico 41**, probablemente debido

a que su eventual presencia se encuentre subsumida en la categoría de harinas animales.

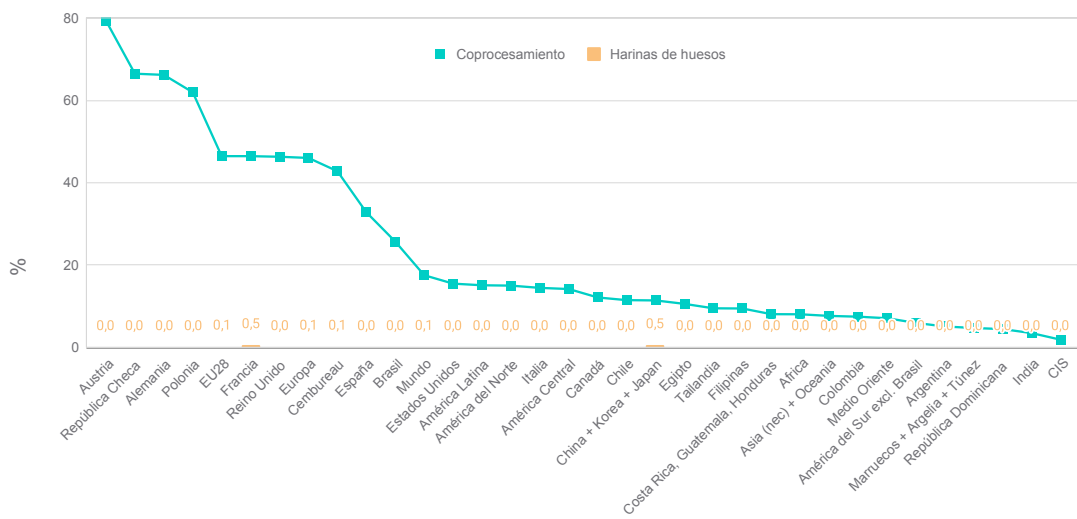


Gráfico 41: Porcentaje de participación energética de harinas de huesos de animales como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2.6. Grasas animales

Similar al caso de harinas de huesos, no tiene presencia alguna en el mundo como combustible alternativo en hornos cementeros, como se presenta en el **Gráfico 42**,

su eventual presencia puede encontrarse subsumida en la categoría de harinas animales.

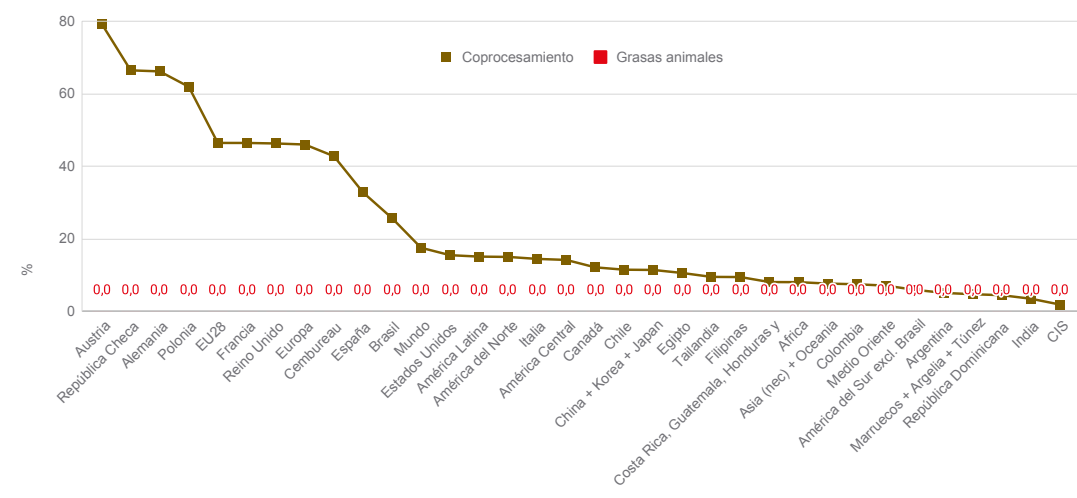


Gráfico 42: Porcentaje de participación energética de grasas de origen como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

3.3.2.7. Agrícolas, orgánicos, pañales fuera de uso y carbón vegetal

Una categoría bastante amplia y que sin embargo tiene poca presencia en coprocesamiento en el mundo, con la excepción de Brasil que, como lo muestra el **Gráfico 43**, exhibe un 8,7% siendo un tercio de todo su porcentaje de coprocesamiento. Sin embargo, este caso particular de Brasil se corresponde con un alto uso de carbón vegetal, como lo presenta su Hoja de Ruta “ROADMAP TECNOLÓGICO DO CIMENTO” del año 2019 [Hoja de Ruta Brasil 2019], el cual se prevé desaparecer de su mix de combustibles hacia el año 2030 como se indica en la propia Hoja de Ruta.

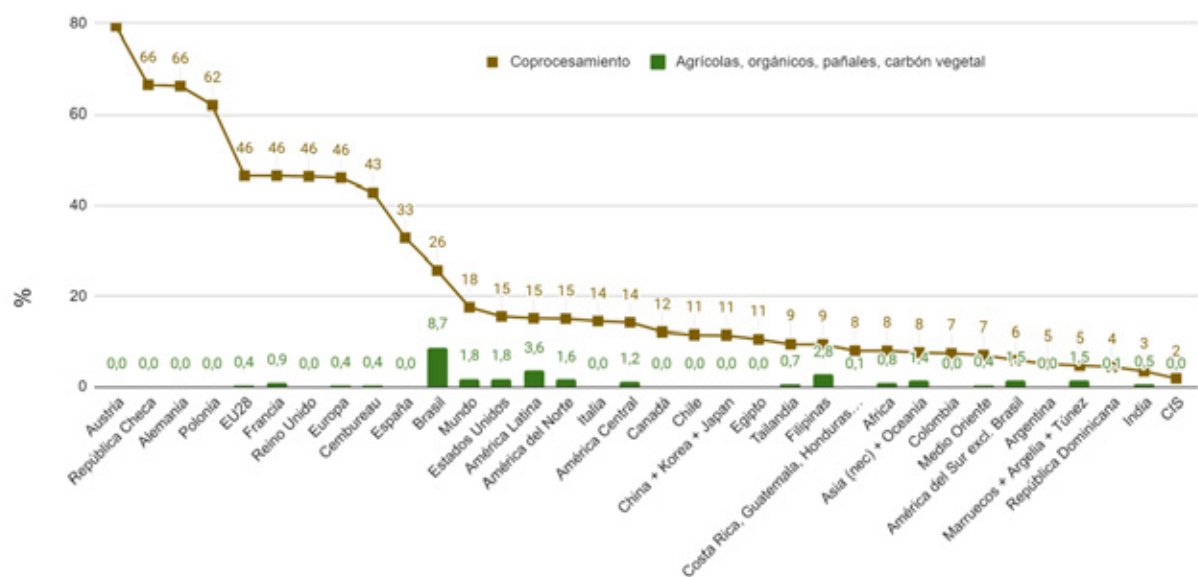


Gráfico 43: Porcentaje de participación energética de harinas animales como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR Database 2017 y Hoja de ruta FICEM.

Hay experiencias importantes de este tipo de residuos en ALyC, que sin embargo no se ven reflejadas en estas estadísticas, principalmente porque corresponden a compañías que no reportan a GNR. Cascaras de arroz,

de maní o restos de caña de azúcar son abundantes fuentes de biomasa que pueden aportar hasta un 15% de la demanda energética, especialmente en países de clima tropical o de extensas llanuras agrícolas.

3.3.2.8. Otros de biomasa

Categoría no específica de residuos, por lo que no se puede indicar explicaciones de sus valores actuales y/o tendencias a futuro. Sin embargo, como se presenta en el **Gráfico 44**, tiene una importante presencia en Austria y la República Checa, que sin embargo son casos aislados dado el bajo promedio a nivel de toda la Unión Europea de 1.5%.

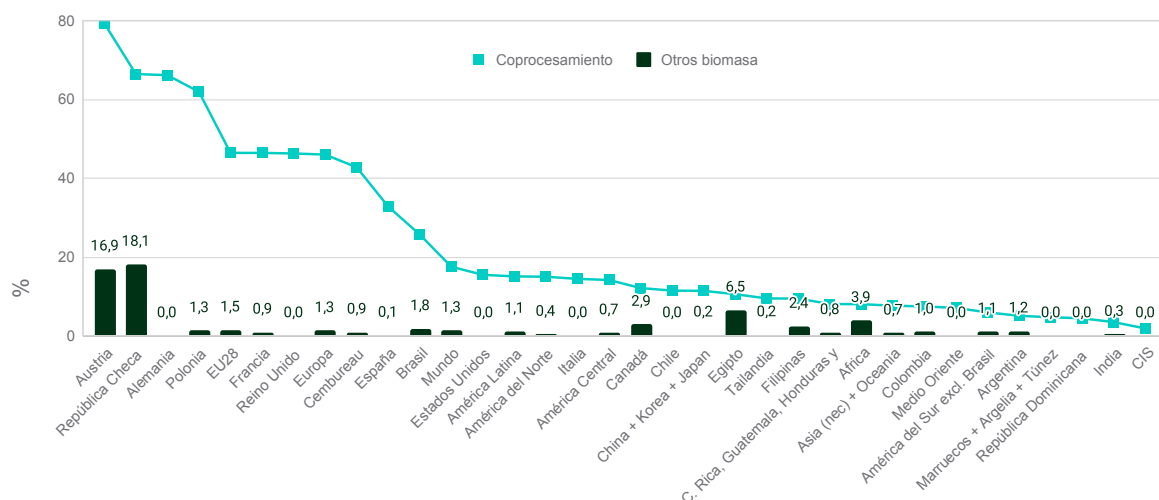


Gráfico 44: Porcentaje de participación energética de otros desechos de origen biogénico no contemplado en las categorías anteriores, como combustibles alternativos versus el porcentaje total de coprocesamiento para países y regiones supranacionales a partir de datos GNR y Hoja de ruta FICEM.

3.3.3. Poder calorífico de combustibles alternativos

En el **Gráfico 45** se presentan los poderes caloríficos de los combustibles utilizados por plantas cementeras en América Latina y el Caribe, de acuerdo con lo reportado en la Hoja de Ruta FICEM por los países de Argentina, Colombia, Costa Rica, Chile, Guatemala, Honduras, República Dominicana y Panamá, para los años 2014 y 2015.

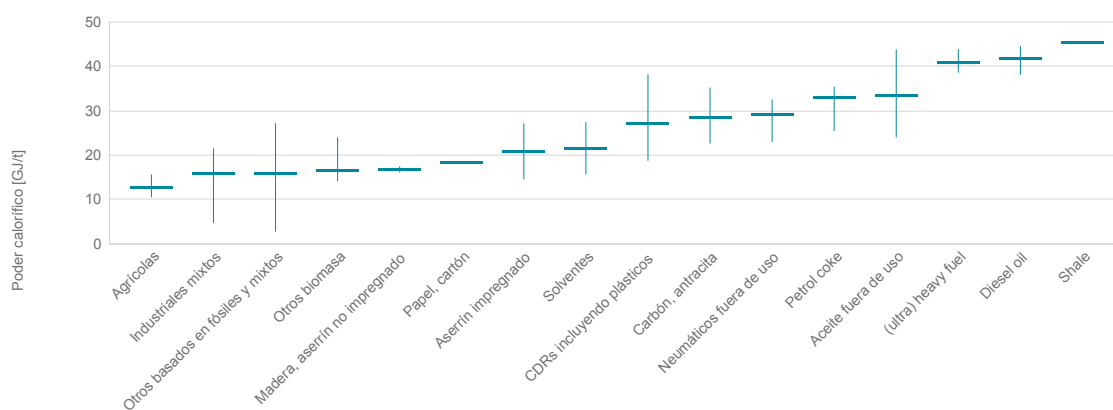


Gráfico 45: Poder calorífico de combustibles utilizados en plantas cementeras de América Latina y El Caribe, según lo reportado a la Hoja de Ruta FICEM, años 2014 y 2015. Fuente: Elaboración propia a partir de datos e Hoja de Ruta FICEM.

Se presenta en valor promedio del poder calorífico y los máximos y mínimos valores reportados para cada combustible donde se aprecia que los CDRs incluyendo plásticos, los industriales mixtos y otros basados en fósiles y mixtos presentan las mayores variaciones, debido a su naturaleza mixta. Otro caso de variabilidad importante son los aceites fuera de uso, probablemente debido a las distintas proporciones de contenido de agua, dependiendo de su origen.



Marco regulatorio

CAPÍTULO
04

Marco regulatorio



Para afrontar los desafíos que demanda la gestión integral de residuos, las políticas públicas deben transformarse en normativas que den certezas tanto de obligaciones, derechos y procedimientos, tendientes a armonizar los principios más actuales en materia de gestión de residuos. Lo anterior debe considerar no sólo la generación, transporte y disposición final, sino que también los sistemas de valorización de los residuos que permitan una maximización ambiental y sanitaria de su manejo y tratamiento.

“En América Latina y El Caribe ha prevalecido la visión sanitaria frente a la visión integral del manejo de los residuos, siendo así que ha enfocado sus políticas en esquemas de “recolección y disposición final”, dejando rezagados los tratamientos para incorporar valor agregado a los residuos, incluso todavía hoy en muchos países de la región existen botaderos a cielo abierto, se continúa con la práctica de recolección y transporte indiscriminado, y se evidencia la presencia de recicladores (o segregadores como son llamados en varios países de América Latina) tanto en los botaderos como en los frentes de trabajo de los rellenos y en las calles, todo esto enmarcado en debilidades de gestión, planeación, coordinación y de asignación de recursos lo que evidencia una carencia de políticas sectoriales adecuadas.” ³⁴

El Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (ONU Medio Ambiente) define gobernanza ambiental como: “el conjunto de procesos e instituciones, tanto formales como informales y que incluye normas y valores, comportamientos y modalidades organizativas, a través de las cuales los ciudadanos, las organizaciones y movimientos sociales y los diversos grupos de interés, articulan sus intereses, median sus diferencias y ejercen sus derechos y obligaciones en relación al acceso y usos de los recursos naturales”. En este contexto, las regulaciones respecto a los residuos son parte de la gobernanza ambiental de los países y regiones y, por tanto, deben ser analizadas en forma sistémica (como parte de un todo), tanto en sus cualidades y defectos. Lo anterior, debido a que este conjunto de normas - que regulan un aspecto particular como el de residuos - son lo que se puede denominar marco normativo, marco regulatorio y/o gobernanza de la gestión integral de los residuos.

“Si bien, la gestión de residuos suele ser un servicio operado localmente, los gobiernos nacionales y locales desempeñan un papel en la definición del marco regulatorio dentro del cual se pueden desarrollar los servicios de gestión de residuos sólidos, y esto puede afectar la participación del sector privado. Los gobiernos nacionales son típicamente responsables de establecer estándares ambientales para la gestión de residuos y de crear reglas para la contratación justa y transparente de servicios del sector privado.” ³⁵

A partir de los años 90, en Europa, la dinámica de las políticas ambientales impuso un cambio en los paradigmas: el paso de un paradigma que asocia desarrollo económico de las sociedades a una generación cada día más grande de residuos bajo el criterio de “usar y desechar”, a un paradigma de economía circular que valore los residuos y prevenga su generación ideado a partir del conocimiento local y la necesidad de contar con instrumentos normativos y económicos.

³⁴ “Propuesta de Marco Normativo Genérico sobre Gestión de Residuos y Coprocesamiento para América Latina y El Caribe” AVAL AMBIENTAL - FICEM 2017.

³⁵ What a Waste 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, World Bank Group, Banco Mundial, 2018.



Tal como se indicó, el manejo tradicional de los residuos en América Latina ha funcionado, en muchos casos, a partir de la racionalidad de la necesidad de deshacerse de ellos. Esta orientación aún

prevalece en algunos países de América Latina y El Caribe, no obstante, a partir de las últimas décadas se ha producido un aceleramiento en la modernización en las políticas y normas de gestión de residuos, tal como veremos en este capítulo.

4.1

Normativas Internacionales de referencia sobre residuos

Existen normas internacionales que han sido esenciales en el desarrollo normativo mundial relacionado a la gestión y valorización de residuos ya

sea porque son tratados internacionales (Convenio de Basilea, por ejemplo), o porque han sido ejemplos influyentes para otros países, como es el caso de algunas directivas europeas.

4.1.1. Convenio de Basilea 1989



Este Convenio corresponde al primer esfuerzo global por regular el tema de los residuos. Si bien su primer objetivo es controlar y disminuir el paso transfronterizo de residuos peligrosos, constituye un avance en la regulación de todo tipo de residuos, su manejo, valorización y/o eliminación.

Las Naciones Unidas considera que: “El Convenio de Basilea es el único instrumento jurídico mundial que se ocupa

de los movimientos transfronterizos y de la gestión ambientalmente racional de los desechos peligrosos y de otros desechos... se ha convertido en la pieza central de un régimen jurídico internacional sobre esta cuestión. Se podría decir que algunos de sus principios fundamentales, como los de la proximidad en la eliminación de desechos, el manejo ambientalmente racional y el consentimiento previo fundamentado para la importación de sustancias potencialmente peligrosas, han contribuido al desarrollo del derecho internacional consuetudinario en este ámbito.”³⁶

³⁶ “Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación”, Katharina Kummer Peiry, United Nations Audiovisual Library of International Law, 2011.

Tal como se indicó, este Convenio, si bien trata de los residuos peligrosos en forma principal, abarca la gestión de otros residuos: *“...Convenio de Basilea Conscientes de lo que es preciso seguir desarrollando y aplicando tecnologías ambientalmente racionales que generen escasos desechos, medidas de reciclado y buenos sistemas de administración y de manejo que permitan reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos”*

El Convenio busca la generación mínima de residuos y su eliminación. Dentro de las distintas formas de eliminación, la incineración aparece como relevante en el proceso, como se muestra en las siguientes disposiciones de este Convenio:

“... 2. Cada parte tomará las medidas apropiadas para:

a) Reducir al mínimo la generación de desechos peligrosos y otros desechos en ella, teniendo en cuenta los aspectos sociales, tecnológicos y económicos;

b) Establecer instalaciones adecuadas de eliminación para el manejo ambientalmente racional de los desechos peligrosos y otros desechos, cualquiera que sea el lugar donde se efectúa su eliminación que, en la medida de lo posible, estará situado dentro de ella;

9) Las Partes tomarán las medidas apropiadas para que solo se permita el movimiento transfronterizo de desechos peligrosos y otros desechos si: b) Los desechos de que se trate son necesarios como materias primas para las industrias de reciclado o recuperación en el Estado de importación”

Es importante considerar que el uso de combustibles alternativos ya aparece con fuerza en este Convenio, donde se trata expresamente en su Anexo II.

4.1.2. Directiva 1999/31/CE sobre Vertederos

La Directiva 1999/31/CE sobre vertederos es relevante puesto que, en un principio, las políticas y normativas de la Unión Europea apuntaron a desincentivar el uso de los rellenos sanitarios, lo que incentivó el desarrollo de alternativas a este tipo de disposición de residuos. En este sentido, esta Directiva apunta a evitar las externalidades negativas en el manejo de vertederos, con especial atención a la emisión de gases nocivos, la contaminación de los recursos hídricos y el suelo.

Sus principales contenidos son:

- Definir como residuos biodegradables todos los que se puedan descomponer de manera aerobia o anaerobia, como son los residuos de alimentos y de jardinería, papel y cartón.
- Regular los requisitos generales de toda clase de vertederos, criterios y procedimientos de admisión de residuos, procedimiento de control y vigilancia en las fases de explotación y mantenimiento posterior.

- Fijar las condiciones de ubicación, explotación y de clausura de los vertederos.

- Limitar la aceptación de determinados tipos de residuos, en particular, los residuos que no han sido previamente clasificados o sometidos a tratamiento físico, térmico, químico o biológico.

- Establecer la obligación de los Estados miembros de elaborar, en un periodo de cuatro años, un plan para reducir los residuos biodegradables destinados a su vertido. Este plan debe garantizar la reducción progresiva de los residuos biodegradables que se envíen a vertedero antes del 2006 en un mínimo del 25% en peso respecto a los residuos biodegradables generados en 1995, en un mínimo del 50% antes del 2009, y en un mínimo del 65% antes del 2016. De esta manera se impulsa como alternativa el compostaje o la valorización energética por biometanización.³⁷

³⁷ Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER 2011-2020. Madrid, 2011 Autores: RESA: Armengol Grau, Oriol Farré.

Esta normativa se considera clave en el desarrollo de la valorización de residuos en Europa, pues estableció, entre otras medidas, la prohibición de que los neumáticos fueran llevados a los vertederos a partir del año 2003. Gracias a esto, de acuerdo con el informe “Managing End-of-Life Tires” elaborado por el WBCSD,

en Europa se recicla aproximadamente el 84% de las llantas usadas. De esta manera, la recuperación de energía puede darse a partir de lo que se denomina combustible derivado de neumáticos usados, el cual es utilizado ampliamente en Europa en hornos cementeros, en centrales térmicas, en el sector papel, en las fábricas de acero y en las calderas industriales.

4.1.3. Directiva Marco 2008/98/CE sobre residuos incluye la jerarquía de residuos y Ley REP

Es importante destacar la Directiva Marco 2008/98/CE sobre residuos de la Unión Europea donde se define la Valorización de Residuos como: *“cualquier operación cuyo resultado principal sea que el residuo sirva a una finalidad útil al sustituir a otros materiales que de otro modo se habrían utilizado para cumplir una función particular o que el residuo sea preparado para cumplir esa función en la instalación o en la economía en general”*.

Se establece que algunas sustancias podrían no ser consideradas como residuos, aunque se encuentren en los listados de residuos:

“La lista de residuos será vinculante para la determinación de los residuos que han de considerarse residuos peligrosos. La inclusión de una sustancia u objeto en la lista no significará que deba considerarse residuo en todas las circunstancias. Una sustancia u objeto se considerará residuo únicamente cuando corresponda a la definición del artículo 3, punto 1.” (artículo 7 número 1)”

Aquí el concepto de valorización aparece con fuerza puesto que se indica la capacidad de los residuos de sustituir a otros materiales, no sólo como reemplazo energético sino como sustitución de materias primas tradicionales.

“De manera directa, esta Directiva obliga a los Estados Miembros a participar activamente en las operaciones de recuperación y recolección selectiva en la fuente de los residuos. En este sentido, la Directiva impone, entre otras, los siguientes objetivos y términos para los estados miembros:

Realizar una recolección selectiva de residuos tales como metal, papel, plástico y vidrio hasta antes del 2015.

Garantizar el reúso y reciclaje de las siguientes fracciones de residuos sólidos municipales: papel, metal, plástico y vidrio a un nivel como mínimo del 50% en peso hasta el año 2020.

Asegurar el reúso y el reciclaje, así como otros mecanismos de utilización de materiales, incluyendo las operaciones de relleno mediante el uso de residuos – no peligrosos - de construcción y demolición a un nivel como mínimo del 70% de peso hasta el año 2020”³⁸

Responsabilidad Extendida del Productor (REP)

Esta Directiva también incluye la Responsabilidad Extendida del Productor en los siguientes términos:

“Responsabilidad ampliada del productor

1. Para mejorar la reutilización, la prevención, el reciclado y la valorización de los residuos, los Estados miembros podrán adoptar medidas legislativas o no legislativas para garantizar que cualquier persona física o jurídica que desarrolle, fabrique, procese, trate, venda o importe productos de forma profesional (el productor del producto) vea ampliada su responsabilidad de productor.

Dichas medidas podrán incluir, entre otras cosas, la aceptación de los productos devueltos y de los residuos que queden después de haber usado dichos productos, así como la subsiguiente gestión de los residuos y la responsabilidad financiera de estas actividades. Estas medidas podrán incluir la obligación de ofrecer información accesible al público sobre en qué medida el producto es reutilizable y reciclable.” (Artículo 8)

Por último, podemos destacar en esta Directiva que los Estados pueden asignar dicha responsabilidad extendida a otros actores de la cadena de tratamiento o ciclo de vida.

“Sin perjuicio del Reglamento (CE) N° 1013/2006, los Estados miembros podrán especificar las condiciones de responsabilidad y decidir en qué casos el productor inicial conserva la responsabilidad de toda la cadena de tratamiento o en que la responsabilidad puede ser compartida o delegada entre los actores de la cadena de tratamiento.” (Artículo 15 punto 2).

³⁸ Legislación Internacional Aplicable a la Valorización Energética de los Residuos y el Coprocesamiento”, AVAL FICEM 2017.

Jerarquía de los Residuos

Esta Directiva incorpora la Jerarquía de Residuos que establece en su Artículo 4.1: “la siguiente jerarquía de residuos servirá de orden de prioridades en la legislación y la política sobre la prevención y la gestión de los residuos:

- a) prevención;
- b) preparación para la reutilización;
- c) reciclado;
- d) otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética;
- e) eliminación.”

De esta forma, la jerarquía contiene un orden de prelación o de priorización, y no de exclusión. Por tanto, los distintos niveles de la jerarquía pueden ser usados, siendo en algunos casos complementarios entre sí. Incluso podría modificarse dicha jerarquía, para determinados flujos de residuos, como se señala en esta directiva: “La jerarquía de residuos establece en general un orden de prioridad de lo que constituye la mejor opción global para el medio ambiente en la legislación y la política en materia de residuos, aunque puede resultar necesario apartarse de dicha jerarquía para determinados flujos de residuos cuando esté justificado por motivos de factibilidad técnica, viabilidad económica y protección del medio ambiente, entre otros.” ³⁹

4.1.4. Directiva 2010/75/UE sobre emisiones industriales (prevención y control integrados de la contaminación)

El objetivo de esta directiva es: “evitar, reducir y, en la medida de lo posible, eliminar la contaminación derivada de las actividades industriales de conformidad con el principio de que «quien contamina paga» y el principio de prevención de la contaminación, es necesario establecer un marco general para el control de las principales actividades industriales, dando prioridad a la intervención en la fuente misma, asegurando una gestión prudente de los recursos naturales y teniendo en cuenta, siempre que sea necesario, la situación socioeconómica y las especificidades locales del lugar donde se desarrolle la actividad industrial.”

Esta norma regula las emisiones de las distintas actividades industriales, incluyendo específicamente las derivadas de los hornos de cemento. Lo anterior es relevante para la industria del cemento puesto que es la norma de referencia de las Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento, las que se revisaron anteriormente.

4.2 Legislación de residuos sólidos en América Latina y El Caribe

A continuación, (1) se revisan los tipos de normativas sobre residuos sólidos de algunos países de América Latina y El Caribe, (2) se realiza una revisión de normas específicas desde la perspectiva de su composición,

(3) se presentan los cuadros asociados a los límites de emisiones para el coprocesamiento y un cuadro sobre normas sobre composición del cemento, generalmente denominadas normas técnicas.

³⁹ Considerando 31 Directiva 2008/98/CE

4.2.1. Tipos de Normativas que regulan los residuos

Desde el punto de vista formal, las normativas generales que regulan los residuos son de distintos tipos, jerarquías y alcances. Desde el punto de vista de la jerarquía normativa, encontramos tratados internacionales, constituciones, leyes, reglamentos y normas técnicas, donde cada una de ellas tiene su propia jerarquía y, por tanto, su propio ámbito de aplicabilidad, lo que permite su adecuada interpretación y aplicación, en caso de eventuales contradicciones o anomías.

Desde el punto de vista del contenido, las normativas de residuos han ido ampliando su alcance como parte de su evolución histórica. Lo anterior, puesto que han pasado de ser normas asociadas a la gestión de residuos más básicas, que regulan la recolección y transporte de residuos a rellenos sanitarios, hasta normas más modernas como las de fomento a la valorización de residuos y la Responsabilidad Extendida del Productor. Una adecuada y moderna gobernanza de residuos debe abarcar todos estos alcances. Desde la perspectiva de la industria del cemento, se considera que a las normas indicadas se deben sumar regulaciones a la valorización de residuos relevantes, como, por ejemplo, aquellas que fomentan el coprocesamiento y aquellas que definen los contenidos del cemento.

De acuerdo con su contenido, una herramienta normativa que no se encuentra en América Latina y El Caribe, y que ha permitido un mayor avance en la valorización de residuos, son los impuestos a la disposición de residuos en rellenos sanitarios. Estos impuestos, que se aplican en Nueva Zelanda, Reino Unido, Finlandia y Alemania, entre otros países, tienen como objetivo promover la recuperación de residuos y reducir las cantidades de residuos que terminan en los rellenos. El propietario del relleno paga los impuestos sobre los residuos y transfiere el costo a través de las tarifas cobradas por la recepción de los residuos. Lo importante de esta medida es que impone un costo adicional, que en conjunto con leyes como las REP, tiende a incentivar las alternativas más eficientes y económicas que el uso de rellenos como es el Coprocesamiento.⁴⁰

4.2.1.1. Normas de residuos según su nivel normativo

El nivel normativo es un principio legal por el cual las normas de un ordenamiento jurídico se estructuran mediante un sistema de prioridad, según el cual unas normas tienen preferencia sobre otras. En América Latina y El Caribe, en el lugar más alto del ordenamiento se encuentran los tratados internacionales y las Constituciones Políticas de los Estados, luego vienen las leyes, y finalmente los reglamentos y normas técnicas.

Lo relevante de lo antes mencionado, es que permite determinar el peso legal dentro de la sociedad de una determinada regulación. Con la cada vez más creciente importancia de los temas ambientales, estos han sido reconocidos en la parte más alta de esta pirámide, ya sea por su incorporación a las constituciones o por la ratificación de los tratados internacionales por diversos países. No obstante, pese a este avance, son las leyes y reglamentos las que dan operatividad a los principios legales y políticas públicas.

4.2.1.2. Normas generales de gestión de residuos

La gestión de residuos abarca las distintas formas de enfrentar el tema de los residuos en sus diversas etapas, desde su generación hasta posibles disposiciones finales. Hasta hace unas décadas, estas normas estaban referidas sólo a la recolección de los residuos, la forma de almacenamiento, transporte y disposición final. En sus formas más actuales, la gestión incluye la valorización, la minimización de residuos en su origen, y la responsabilidad del productor.

⁴⁰ En el caso de Alemania, hay disposiciones constitucionales que autorizan a los municipios a cobrar impuestos vía tarifas por la gestión de los residuos municipales (Green Budget Germany, 2010). La regla general indica que la tarifa para los usuarios se divide en dos partes: una parte fija que se basa en el servicio total que se presta y una parte variable que se basa en la cantidad de residuos producida. Para establecer la cantidad de residuos se hacen estimaciones ya sea a partir de su peso o a partir del tamaño o cantidad de contenedores, siendo esta la forma más frecuente. Fuente: "Legislación Internacional Aplicable a la Valorización Energética de los Residuos y el Coprocesamiento", AVAL AMBIENTAL - FICEM 2017.

En América y El Caribe, la mayoría de la gestión de recolección de residuos está a cargo de sistemas municipales. Otros tipos de residuos como los industriales están a cargo del almacenamiento y el transporte por parte del propio generador.

La disminución de los residuos dispuestos en los rellenos implica la reducción de GEI por la disminución de la emisión de metano y de CO₂ en la producción industrial por la valorización de los residuos.

Una de las figuras legales actuales para enfrentar adecuadamente los desafíos de la gestión de residuos es la Responsabilidad Extendida del Productor (REP). *“La figura de la Responsabilidad Extendida del Productor es un esquema dentro de la Gestión Integral de Residuos Sólidos (GIRS), cuyo objetivo principal es la disminución de los mismos, así como la reducción del consumo de recursos naturales y económicos, a través del diseño eficiente del producto y la gestión que logra que el residuo remanente retorne a las manos del fabricante del producto. A través de este esquema se consigue una recuperación significativa de material utilizado para la elaboración del producto, en el que se evita que el mismo muera como residuo, mejor aún, que renazca como materia prima. De igual forma, a través de este esquema, se fomenta el reciclaje y la recuperación energética de los residuos dotados de valor de esta índole, a la vez que conlleva establecer estrategias de gestión sostenible de residuos y de reciclaje”*⁴¹

Un tema normativo abordado por la REP, o a veces de forma independiente, es la recuperación⁴² o valorización de recursos o materiales contenidos en los residuos, pues ello implica una contribución directa a los principios fundamentales de la economía circular, basada en la conservación y mejora del capital natural y la optimización del uso de los recursos naturales. Además, es una herramienta útil para disminuir la cantidad y

peligrosidad de los residuos que se destinan a rellenos sanitarios, y particularmente en la región, donde se añade el problema de la carencia, en numerosas ciudades, de sitios controlados para la disposición final.

Las leyes REP se ha preocupado de algunos residuos en específico lo que ha permitido su consideración e incentivo para su reciclaje y valorización. Dependiendo del país, los residuos que buscan ser gestionados son papeles y cartones, neumáticos, residuos electrónicos, entre otros.

En Alemania, “el punto de quiebre en la estrategia de gestión avanzada de los residuos se dio al establecer por norma la prohibición de que aquellos residuos con un alto poder calorífico fueran a los vertederos o rellenos sanitarios. Esta directriz exigió que se buscaran otras alternativas para el manejo de estos residuos y que se generaran nuevos flujos o corrientes que al mismo tiempo podrían fomentar escenarios de oferta y demanda en un mercado que para ese entonces estaba apenas surgiendo.”⁴³

Si bien un tercio de los países de América Latina y El Caribe incluyen en sus normas alguna referencia a la recuperación de recursos, esta previsión se expresa de manera general como parte de los principios u objetivos en las leyes, sin que se establezcan medidas concretas para evitar la disposición final de ciertos materiales. En este sentido, aún queda camino por recorrer en lo que respecta a las obligaciones concretas referidas a que determinadas fracciones de residuos reciban una gestión que implique la reincorporación de materiales al circuito económico. El establecimiento de prohibiciones, metas o plazos específicos puede ser el modelo normativo que se debe seguir, teniendo en cuenta también que otros instrumentos (como los económicos) deberán sumarse a una estrategia que promueva y consolide esta gestión integral de los residuos.⁴⁴

⁴¹ “ Responsabilidad Extendida del Productor. Estudio Regional sobre la figura REP en América Latina y El Caribe en comparación con Alemania y España bajo el Marco Legal de la Unión Europea” GIZ- Gobierno-R. Dominicana, 2018.

⁴² Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. ONU Ambiente, 2018.

⁴³ Legislación Internacional Aplicable a la Valorización Energética de los Residuos y el Coprocesamiento” AVAL AMBIENTAL-FICEM 2017.

⁴⁴ Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. ONU Ambiente, 2018.

4.2.1.3. Normas de residuos peligrosos

A partir del Convenio de Basilea, muchos países empezaron a incluir normas especialmente dedicadas al manejo de residuos peligrosos. Lo anterior, para regular la cadena de generación, almacenamiento, transporte y disposición. Esto tiene especial influencia para la valorización de residuos, toda vez que esto permitió que residuos como aceites y solventes usados, materiales impregnados con sustancias peligrosas y otros similares, se consideraran para su tratamiento y valorización energética⁴⁵, facilitando el uso de estos residuos como combustibles en nuestra región. Países como Argentina, Colombia, Chile, Perú y República Dominicana, cuentan con reglamentos o leyes asociados a la gestión de residuos peligrosos.

4.2.1.4. Normas específicas relacionadas a la valorización de residuos en la industria del cemento

Tal como se revisó en el capítulo 3, el uso de residuos para la fabricación de cemento y clínker, a nivel global, se ha vuelto una práctica habitual y relevante para una moderna gestión y valorización de residuos, debido a los beneficios económicos, ambientales y sociales que se generan. Esto ha significado la aparición de normativas específicas que regulan el Coprocesamiento, las cuales contienen, entre otros aspectos: qué residuos se pueden coprocesar, los requisitos técnicos y, especialmente, las normas de emisión a que será sometida esta tecnología del coprocesamiento.

Por último, las normas técnicas de cemento permiten tener un patrón de referencia asociado a la calidad de un determinado producto, lo que garantiza al usuario la homogeneidad y calidad de este en el proceso de producción. Estas normas son relevantes pues, generalmente, son reconocidas tácita o expresamente por los códigos de construcción de los distintos países y norman, entre otros aspectos, las adiciones al cemento. Dentro de estas adiciones derivadas de residuos se encuentran en América Latina y El Caribe el humo de sílice, cenizas y escorias de alto horno, principalmente.

4.2.2. Ejemplos de normas en América Latina y El Caribe asociadas a combustibles alternativos por composición

A continuación, se muestran ejemplos de normas específicas en América Latina y El Caribe desde la perspectiva del tipo de combustible alternativo, puesto que permite tener una visión de las posibilidades de la industria en esta materia. Es importante mencionar que las normas son referenciales y lo razonable es que estén integradas a las otras normas del país, por lo que no pueden ser evaluadas aisladamente y deben ser aplicadas de acuerdo con el ordenamiento jurídico nacional, para el uso efectivo de dichos combustibles alternativos por una planta en particular. Como Anexo a este estudio se encuentra un listado más detallado de normas para algunos países de América Latina y El Caribe de acuerdo con el tipo de normativa indicada en el punto 4.2.1. anterior.



⁴⁵En algunos casos se señala expresamente al coprocesamiento como alternativa.

4.2.2.1. Aceite fuera de uso, solventes fuera de uso, aserrín Impregnado, otros combustibles fósiles basados en residuos



Tabla 11: Ejemplos de regulaciones que norman el aceite fuera de uso, los solventes fuera de uso, el aserrín impregnado, y otros combustibles fósiles basados en residuos.

ClasificaciónEjemplos de Normativa AsociadaComentario		
<div>COMBUSTIBLES FÓSILES ALTERNATIVOS</div> <div> Por regla general estos son de origen industrial y son calificados de peligrosos. </div>	Argentina Ley 24.051 Residuos peligrosos - Generación, manipulación, transporte y tratamiento, incluye los aceites y solventes y la recuperación de energía como gestión de estos residuos	En general, su uso como combustible está asociado a normas de gestión de residuos peligrosos, que existen en la mayoría de las legislaciones, las normas citadas todas reconocen la valorización energética para estos combustibles y en algunos casos, como Perú, se reconoce expresamente el coprocesamiento.
	Colombia Resolución 415 de 1998 Ministerio del Medio Ambiente que permite la combustión de de los aceites de desecho y las condiciones técnicas para realizar la misma. Decreto 4741 del Ministerio de Ambiente del año 2005 la cual considera como opción la valorización energética	
	Chile Reglamento Sanitario Sobre Manejo de Residuos Peligrosos (DS N° 148/03). Además, se debe tener presente la ley 20920 del año 2016 REP de Chile considera como prioritarios los aceites lubricantes.	
	Perú Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos e incluye al coprocesamiento y considera la mayoría de los combustibles alternativos.	
	República Dominicana Resolución 02/2006 Secretaria e Estado de Medio Ambiente, Reglamento para la Gestión de Sustancias y Desechos Químicos Peligrosos, que regula entre otras la valorización (donde se señala expresamente su uso como combustible).	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.

4.2.2.2. Llantas (neumáticos) fuera de uso



Tabla 12: Ejemplos de regulaciones aplicables a neumáticos fuera de uso

COMBUSTIBLES FÓSILES ALTERNATIVOS	Clasificación	Ejemplos de Normativa Asociada	Comentario
	De acuerdo a su origen pueden ser RSU o industriales, en general no son considerados peligrosos, o se les excluye de esta peligrosidad por su posibilidad de tratamiento	Brasil Resolución CONAMA 416/2009 que Previene la prevención de la degradación ambiental causado por neumáticos de desecho y su destino ambientalmente racional, y de otras medidas.	Las Normas de gestión de llantas (neumáticos) en desuso son bastante extendidas y con alto nivel de aceptación. Las leyes REP tienen incidencia también en su manejo y valorización energética (como Brasil, Colombia y Chile).
		Chile La ley 20920 del año 2016 REP de Chile que considera como prioritarios los neumáticos como también su decreto 8 del Ministerio de Medio Ambiente del año 2020, que establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas en materia de neumáticos.	
		Colombia Resolución 1326 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible del año 2017, por el cual se establecen los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas."	
		Perú Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos Incluye al coprocesamiento y considera la mayoría de los combustibles alternativos como los neumáticos.	
		México NOM-161-SEMARNAT-2011, en la que se establecen los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial. En el Listado de Residuos que pueden presentar Plan de Manejo, se listan los productos que al transcurrir su vida útil se desechan, entre los cuales se encuentran los Neumáticos de desecho.	
		República Dominicana Resolución 0005-2015 que aprueba y emite reglamento Técnico Ambiental para la Gestión de Neumáticos Fuera de Uso Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales considera como actividades de aprovechamiento el Coprocesamiento en Hornos Cementeros	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.



Tabla 13: Ejemplos de regulaciones que norman los CDR (incluyendo plásticos).

COMBUSTIBLES FÓSILES ALTERNATIVOS		
Clasificación	Ejemplos de Normativa Asociada	Comentario
Los CDR son el resultado de tratamiento de una diversidad de tipos de RSU y, generalmente, no son considerados peligrosos pero se debe evaluar caso a caso sus componentes	Argentina Ley 25.916 de Gestión de Residuos Domiciliarios que establece los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, incluye el tratamiento para su valorización.	No encontramos directamente normas que regulen expresamente los CDR, pero si existen normas de manejo de RSU a través de plantas de tratamiento, lo que consideran la preparación de los residuos para ser valorizados como combustibles.
	Colombia Decreto 1713 del Ministerio de Ambiente del 2002 reglamenta el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, y regula plantas de tratamiento, considerando el aprovechamiento energético.	
	Perú Decreto Supremo 057-2004-PCM reglamento de la Ley General de Residuos que regula entre otros las operaciones de tratamiento de residuos municipales, para reaprovechar los residuos y facilitar la disposición final en forma eficiente, segura y sanitaria.	
	República Dominicana Norma para la Gestión Ambiental de Residuos Sólidos no Peligrosos NA-RS-001-03 establece lineamientos para la gestión de los residuos sólidos municipales no peligrosos, considerando su tratamiento y su valorización	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.

4.2.2.4. Lodos de depuradora deshidratado



Tabla 14: Ejemplos de regulaciones que norman los lodos deshidratados de depuradora.

COMBUSTIBLES DE BIOMASA		
Clasificación	Ejemplos de Normativa Asociada	Comentario
Su origen son las plantas de tratamiento y en general no son peligrosos	México Norma Oficial Mexicana NOM-004- SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.	Los lodos son un residuo que tiene relevancia en aquellos países donde existen importantes avances en el tratamiento de aguas servidas, y por ello sus normativas se encuentran en desarrollo.
	Chile Chile en 2009 fue promulgado y publicado el DS N°4/2009 Minsal, "Reglamento para manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas"	
	Colombia Decreto 1287 de 2014, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en tratamiento de aguas residuales municipales, donde se incluye la valorización energética	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.

4.2.2.5. Papeles y cartones, madera, aserrín no impregnado



Tabla 15: Ejemplos de regulaciones que norman los papeles y cartones, madera y aserrín no impregnado.

COMBUSTIBLES DE BIOMASA		
Clasificación	Ejemplos de Normativa Asociada	Comentario
Su origen puede ser RSU e industrial y no son considerados peligrosos, salvo que estén contaminados	Chile La ley 20920 del año 2016 REP de Chile que considera como prioritarios los envases y embalajes.	Estos residuos al no ser peligrosos y ser considerados Biomasa, en muchas legislaciones en base a la normativa general, pueden ser valorizados como combustibles, especial incidencia tiene las normas REP con relación a la valorización de papeles y cartones.
	Colombia Resolución 1407 del año 2018 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable por la cual reglamenta la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón y otros y considera expresamente al coprocesamiento como alternativa de valorización energética.	
	México NOM-161-SEMARNAT-2011, en la que se establecen los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial. En el Listado de Residuos que pueden presentar Plan de Manejo, se listan los productos que al transcurrir su vida útil se desechan, entre los cuales se encuentran los Papeles y Cartones.	
	Perú Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos Incluye al coprocesamiento y considera la opción como combustibles Papeles y cartones, Madera, aserrín no impregnado	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.

4.2.2.6. Harinas animales, Harinas Animales de Huesos, Grasas Animales



Tabla 16: Ejemplos de regulaciones que norman las harinas animales, las harinas animales de huesos y las grasas animales.

COMBUSTIBLES DE BIOMASA		
Clasificación	Ejemplos de Normativa Asociada	Comentario
Son de origen agroindustrial, y no son considerados peligrosos salvo que tengan capacidad infecciosa.	México Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF012-AMBT-2015, que establece las condiciones y especificaciones técnicas para el manejo integral de grasas y aceites de origen animal y/o vegetal residuales en el territorio de la ciudad de México donde se incluye valorización energética.	No encontramos en forma extendida normas asociadas expresas a su uso como combustibles, lo cual se condice con que en América Latina su uso no es tan alto como en otras legislaciones como la Europea, pero al no ser considerados residuos peligrosos por regla general, debiera ser más accesible obtener las licencias asociadas. No obstante, en México y Perú se regulan expresamente, algunos ellos.
	Perú Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos Incluye al coprocesamiento y considera y considera la opción como combustibles para los: "Residuos resultantes de las industrias agroalimentarias-siempre que no sean infecciosos"	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país.

4.2.3. Comparativo normas coprocesamiento en América Latina y El Caribe⁴⁶

Las **Tablas 17, 18 y 19** contienen un comparativo de las distintas normas de emisiones para el Coprocesamiento en América Latina y El Caribe por tipo de contaminante, evidenciando que las condiciones y exigencias son diversas y ajustadas a la realidad de cada país. Existen contaminantes como el material particulado SOx, NOx, HG, Cd y dioxinas y furanos que son regulados en la mayoría de los países, no obstante, las exigencias no son homogéneas existiendo variaciones importantes en los umbrales normativos de cada contaminante. Las normas más recientes, como la de Perú, establecen diferencias para algunos contaminantes, distinguiendo entre instalaciones nuevas y existentes.



Tabla 17: Límites de emisión para actividades de coprocesamiento en América Latina y El Caribe.

TABLA LÍMITES DE EMISIÓN PARA ACTIVIDADES DE COPROCESAMIENTO EN AMÉRICA LATINA
(Expresados en mg/nm³ excepto dioxinas y furanos) al 10% de oxígeno

CONTAMINANTE	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica 2020	Ecuador	Honduras	México	Perú 2020
Material Particulado (MP)	55	50	55	30	62,9	50		80-120
SOx	314,3		550	400	628,6	400	314,3	500-1800
NOx	785,7		605	800	1100	600	628,6	1400
CO				630			2357,1	
TI	0,08		0,055	0,05	0,063	0,04		
Sumatoria de Metales			0,55		0,63	0,5	0,55	
VOC				10	15,7			
HCT							55	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país parte 1.

⁴⁶Este cuadro comparativo de normas de coprocesamiento es la actualización (incluye las nuevas normas del año 2020 Costa Rica y Perú) de los contenidos en el documento “Propuesta de Marco Normativo Genérico sobre Gestión de Residuos y Coprocesamiento para América Latina y el Caribe” AVAL AMBIENTAL- FICEM 2017.



Tabla 18: Límites de emisión para actividades de coprocesamiento en América Latina y El Caribe.

TABLA LÍMITES DE EMISIÓN PARA ACTIVIDADES DE COPROCESAMIENTO EN AMÉRICA LATINA
(Expresados en mg/Nm³ excepto Dioxinas y Furanos) al 10% de oxígeno

CONTAMINANTE	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica 2020	Ecuador	Honduras	México	Perú 2020
NH ₃	0,14				23,6			
Carbono Orgánico Total (COT)		20	11	15				40
Mercurio y sus compuestos (Hg)		0,1	0,055	0,05	0,063	0,04	0,055	0,1
Cadmio y sus compuestos, (Cd)	0,08	0,1	0,055		0,063	0,04	0,055	0,08
Berilio y sus compuestos, i(Be)		0,1						
Plomo y sus compuestos, i (Pb)	0,28	1				0,4	0,6	

Fuente: Elaboración propia con base a normativas de cada país parte 2.



Tabla 19: Límites de emisión para actividades de coprocesamiento en América Latina y El Caribe.

TABLA LÍMITES DE EMISIÓN PARA ACTIVIDADES DE COPROCESAMIENTO EN AMÉRICA LATINA
(Expresados en mg/Nm³ excepto Dioxinas y Furanos) al 10% de oxígeno

CONTAMINANTE	Brasil	Chile	Colombia	Costa Rica 2020	Ecuador	Honduras	México	Perú 2020
Arsénico (As) + Cobalto (Co) + Níquel (ni) + Selenio (Se) + Telurio (Te) y sus compuestos,		1		0,5				0,8
Antimonio (Sb) + Cromo (Cr) + Manganeso (Mn) + Vanadio (V)		5		0,5				0,8
Compuestos inorgánicos clorados gaseosos indicados como ácido clorhídrico (HCl)	0,05	20	11	10	7,9	10	55	20
Compuestos inorgánicos fluorados gaseosos indicados como ácido fluorhídrico (HF)	3,9	2	1,1	1		1		1
Benceno (C ₆ H ₆)		5						
Dioxinas y furanos (ng - TEQ /Nm ³)	20	0,2	0,11	0,1	0,16	0,1	1,16	0,2

4.2.4 . Comparativo Normas Técnicas de Cemento en América Latina y El Caribe

La **Tabla 20** muestra un comparativo de las distintas normas de cemento en América Latina y El Caribe con relación a las adiciones aceptadas, en particular las adiciones referidas a residuos. Es importante mencionar que, desde el punto vista normativo, las normas técnicas pueden ser solo referenciales o tener rango legal por el reconocimiento por los códigos de construcción del país respectivo.



Tabla 20: Comparativo normas técnicas de cemento en América Latina y El Caribe.

COMPARATIVO NORMAS TÉCNICAS DE CEMENTO EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

PAÍS	Denominación	Año	Composición	Componentes minoritarios	Tipo de Adicciones/Residuos	Amplitud Norma
ARGENTINA	IRAM 50000	2017	Hasta 50% Puzolona y/o Ceniza Hasta 35% Escoria Alto Horno Hasta 25% Filler Calcareo	Hata 5%	Escoria Granulada de alto Horno. Ceniza Volante Silicea	Taxativa
COLOMBIA	NTC 121/NTC 128	2018			No hay restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes	Por desempeño
COSTA RICA	INTE 06-11-15:2015 Cementos Hidráulicos	2015	Hasta 80% Puzolona Hasta 95% Escoria Alto Horno Hasta 95% Humo de Silice Hasta 55% Caliza	Hata 5%	Escorias	Taxativa
CHILE	NCh 148	1968	Hasta 50% Puzolona Hasta 30% Escoria Alto Horno *La ceniza se asimila a Puzolona	Hata 3%	Escorias. La cenizas se han homologado a una especie de puzolona para ser usada	Taxativa
ECUADOR	INTE INEN 2380 Hidráulicos NTE INEN 152:2012 Portland	2011 2012			No se establecen restricciones sobre la composición del cemento hidráulico	Por desempeño
GUATEMALA	NTG-41095	2018			No contiene restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes	Por desempeño
MÉXICO	Norma Técnica Mexicana NMX-C-414-ONNCCE-2017	2017	Hasta 50% Puzolona Hasta 80% Escoria Alto Horno Hasta 10% Humo de Silice Hasta 35% Caliza *La ceniza se asimila a Puzolona	Hata 5%	Escoria de alto horno y las cenizas volantes	Taxativa
PERÚ	NTP 334.090:2018	2018	Hasta 25% Puzolona Hasta 20% Escoria Hasta 10% Caliza		Escorias. Filler Calcareo	Taxativa
REPÚBLICA DOMINICANA	RTD 178	2009	Hasta 35% Puzolona Hasta 35% Ceniza Hasta 10% Humo de Silice Hasta 35% Caliza	Hata 5%	Ceniza Volante. Humo de Silice	Taxativa
EL SALVADOR	PNTS 91.86.01:14	2015	Hasta 35% Puzolona Hasta 35% Ceniza Hasta 10% Humo de Silice Hasta 35% Caliza		No existen restricciones en la composición del cemento o de sus componentes	Por desempeño



De acuerdo con la información de la **Tabla 20** los residuos reconocidos expresamente como materias primas son el Fly Ash (Ceniza), la Escoria Granulada de Alto Horno y el Humo de Sílice. Se debe precisar que la escoria granulada de alto horno es crecientemente considerada un sub-producto o co-producto, incluso en algunas legislaciones como la europea.

Los denominados componentes minoritarios son aceptados hasta un 5%, con excepción de Chile que permite sólo un 3% de estos componentes.

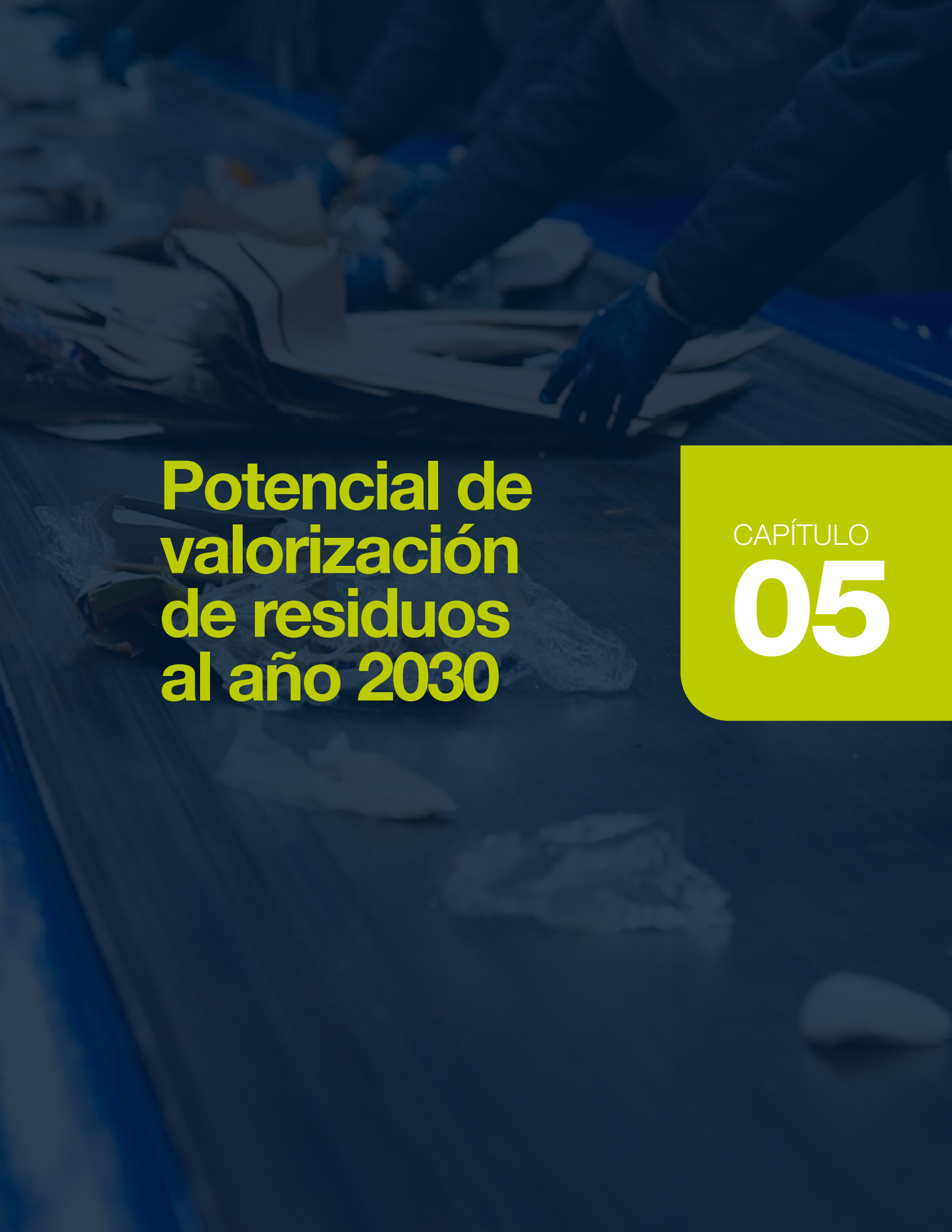
Por otra parte, Colombia, Ecuador, Guatemala y El Salvador cuentan con normas de desempeño, lo que facilitará el ingreso de nuevos residuos como materias primas al permitir contenidos de clinker menores a los límites de sustitución que aceptan por defecto las normas de base prescriptiva.

De acuerdo con las Hojas de Ruta FICEM, GNR y la Hoja de Ruta Brasil, el porcentaje de Coprocesamiento en la región es de un 15%, con variaciones desde el 5% en Argentina hasta el 19% en Brasil, lejos del 40% de Europa y aún más distantes de los niveles de coprocesamiento de Alemania y Austria que superan el 60%. Aunque existen países con sistema de gestión normativo avanzado, como Brasil, Colombia, Chile, Perú, no hay una diferencia sustancial entre ellas con relación al nivel de Coprocesamiento a nivel mundial.

De lo anterior, se puede inferir que las normas de gestión de residuos, además de regulación más específica como las leyes REP y las normas de coprocesamiento que se han revisado, no generan un salto importante en los niveles de Coprocesamiento en forma inmediata, pero si crean las bases para un sistema que pueda avanzar más fuertemente en esta materia. Las acciones regulatorias de mayor efecto para potenciar la valorización de residuos son aquellas políticas o normas que pueda limitar efectivamente la disposición en rellenos sanitarios, ya sea a través de prohibiciones o de impuestos o tasas, que desincentiven la disposición final de los residuos. Lo anterior, como lo ha demostrado la experiencia europea y alemana en particular.

De todas maneras, se encontraron normas que, de acuerdo con la composición del combustible alternativo, facilitan el uso de este tipo de combustibles en la industria cementera.

Respecto a la biomasa, aún falta una regulación más precisa para combustibles derivados de residuos animales, como en el caso de Perú, a diferencia de Europa donde este tipo de combustibles son de alto consumo y son regulados expresamente.



Potencial de valorización de residuos al año 2030

CAPÍTULO

05

Potencial de valorización de residuos al año 2030

Este capítulo contiene la descripción de los métodos y la información base utilizada para estimar los potenciales de valorización de residuos por la industria del cemento en ALyC, bajo el supuesto de que las barreras identificadas no están presentes o al menos están presentes de manera muy atenuada.

Este potencial de valorización se refiere entonces a las máximas tasas de sustitución de combustibles convencionales a partir de residuos o bien los máximos porcentajes de adiciones minerales al cemento, que pueden lograrse aprovechando al máximo la disponibilidad de tales residuos.

5.1.

Información disponible

5.1.1. Población

A continuación, se describen los residuos, que se consideran para estimar potenciales máximos de valorización, indicando la fuente de los datos, sus estructura y características más relevantes.

En general se utilizan métodos aproximados a partir de datos disponibles que permiten estimar las cantidades de residuos, de manera de tener un alcance a toda la región de América Latina y El Caribe, se recomienda encarecidamente contar con datos directos para cálculos a nivel de plantas o provincias nacionales más específicas. Esto es relevante porque, por ejemplo, las tasas nacionales de generación de residuos y sus composiciones, pueden diferir significativamente de un municipio a otro, a escalas más pequeñas y utilizar promedios nacionales; en estos casos, puede llevar a errores en la disponibilidad de ciertos residuos.

Muchos de los datos utilizados son expresados como tasa per cápita, lo que facilita su comparación entre países de distinta población, pero que requiere contar con los datos de población para calcular los volúmenes totales. Para el presente estudio se contó con la base de datos de población de **World Population Prospects 2019** de Naciones Unidas, la cual incluye un conjunto de indicadores de población y cubre un periodo de tiempo desde el año 1960 hasta 2018 para datos históricos y desde 2019 hasta 2050 con proyecciones. Un detalle de dichos indicadores para algunos años y solo para México, a modo de ejemplo se presenta en la tabla siguiente. La base de datos está disponible para todos los países del mundo e incluye proyecciones hasta el año 2050.



Tabla 21: Detalle de indicadores de población tanto históricos como proyectados provenientes de base de datos de World Population Prospects 2019, para el caso de México.

PAÍS	Indicador	1960	2017	2018	2019
México	Población total	37.771.859	124.777.324	126.190.788	127.576.000
	Población rural	18.601.507	25.121.419	25.041.300	24.949.000
	Población rural (% de la población total)	49	20	20	20
	Crecimiento población rural (% anual)	1,5	-0,3	-0,3	
	Población urbana	19.170.352	99.655.905	101.149.488	102.627.000
	Población urbana (% de la población total)	51	80	80	80
	Crecimiento población urbana (% anual)	4,7	1,5	1,5	

Por otra parte, el estudio incluye estimaciones y modelaciones de diversas variables a nivel local, principalmente utilizando la localización geográfica de las plantas cementeras, por lo que se requiere tener información de la población asociada al territorio.

Para esto se contó con la georreferenciación de los municipios para todos los países de América Latina y El Caribe, obtenida del *Socioeconomic Data and Applications Center SEDAC*, dependiente de **NASA's Earth Observing System Data and Information System**.

En la **Imagen 5** se presenta un mapa de la región de América Latina y El Caribe, con dos cuadros de detalle que muestran los polígonos de los municipios y donde la graduación de color indica la densidad poblacional.

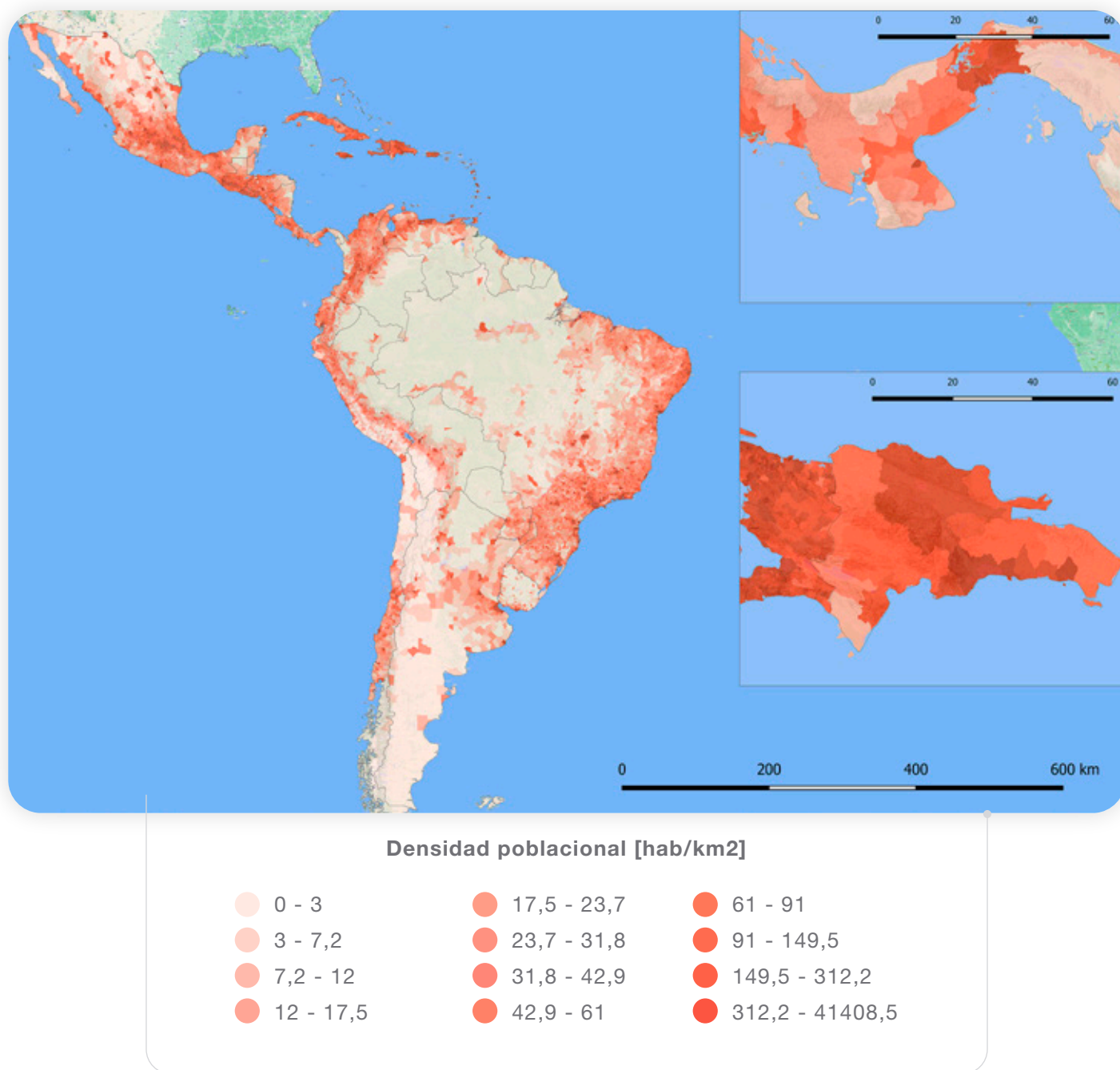


Imagen 5: Representación de cobertura de municipios para Latinoamérica y el Caribe tomada de la base de datos de Socioeconomic Data and Applications Center SEDAC, dependiente de NASA's Earth Observing System Data and Information System.

Esta base de datos de densidad poblacional georreferenciada, que contiene valores para los años 1990 y 2000, es proyectada con los factores de crecimiento de la base de datos de World Population Prospects 2019, lo cual permite obtener una aproximación a las densidades poblacionales para los años a estudiar.

5.1.2. Plantas cementeras

En las imágenes y gráficas a continuación se presentan las plantas cementeras de todos los países de América Latina y El Caribe geolocalizadas, con indicación del tipo de planta y su capacidad instalada al año 2019.

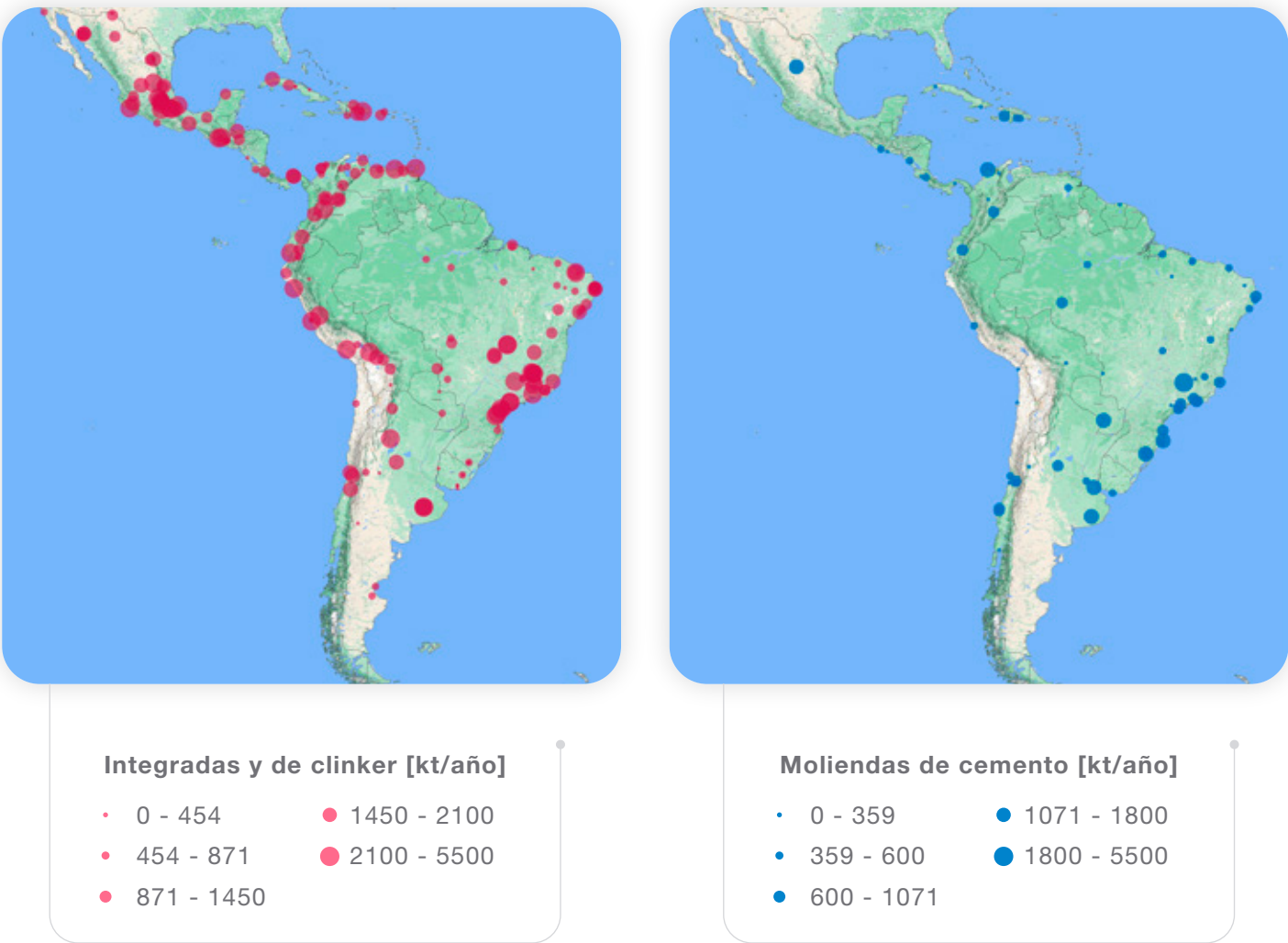


Imagen 6: Mapas de América Latina y El Caribe con la ubicación de plantas cementeras, integradas y de clinker en el mapa de la izquierda, y plantas de molienda en mapa a la derecha.

El tamaño de los círculos es proporcional a la capacidad instalada cuyos rangos se presentan en leyenda respectiva.

Fuente: Elaboración propia.

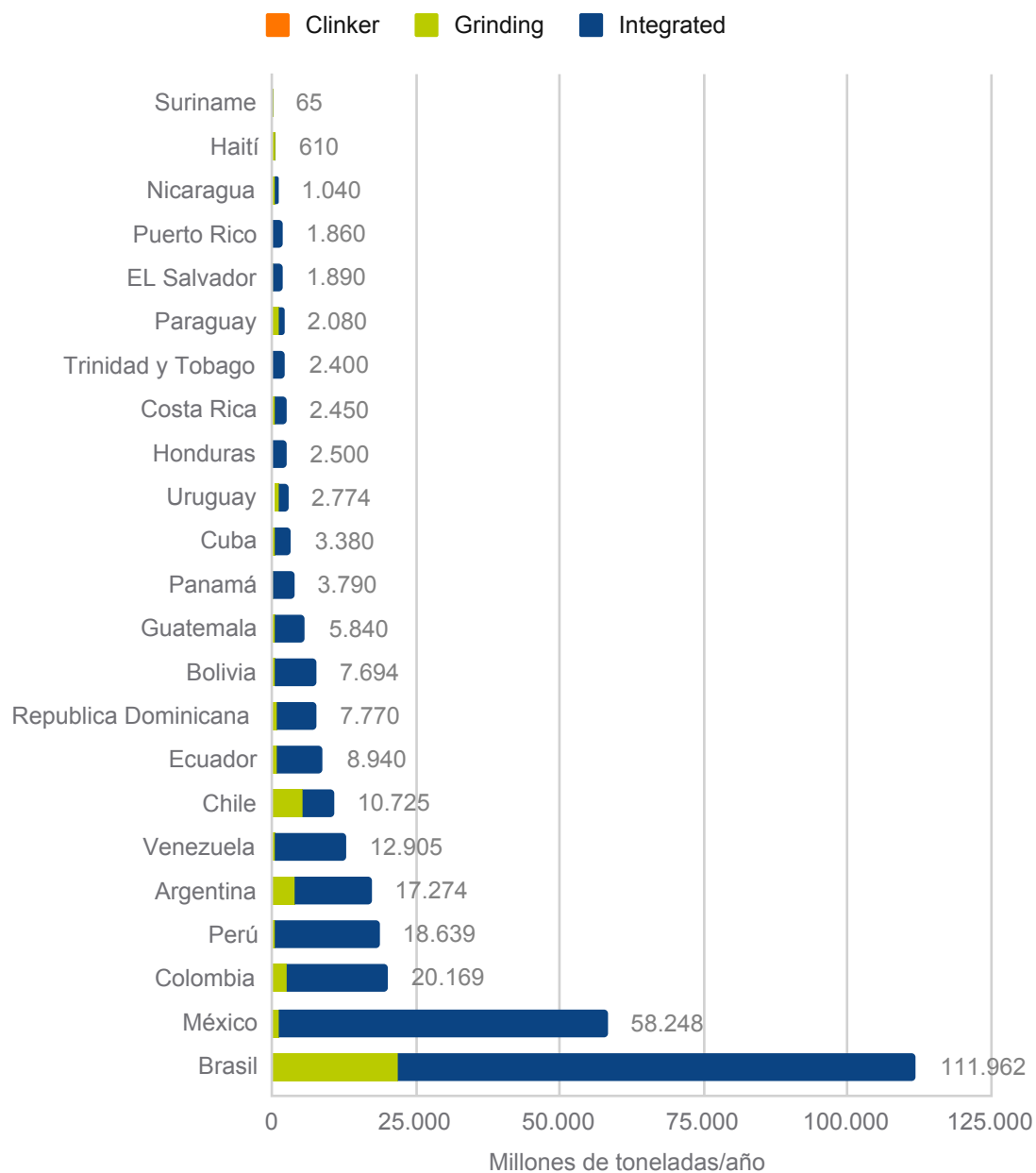


Gráfico 46: Capacidad instalada de producción de cemento por país dividido por tipo de plantas cementeras. **Fuente:** elaboración propia.

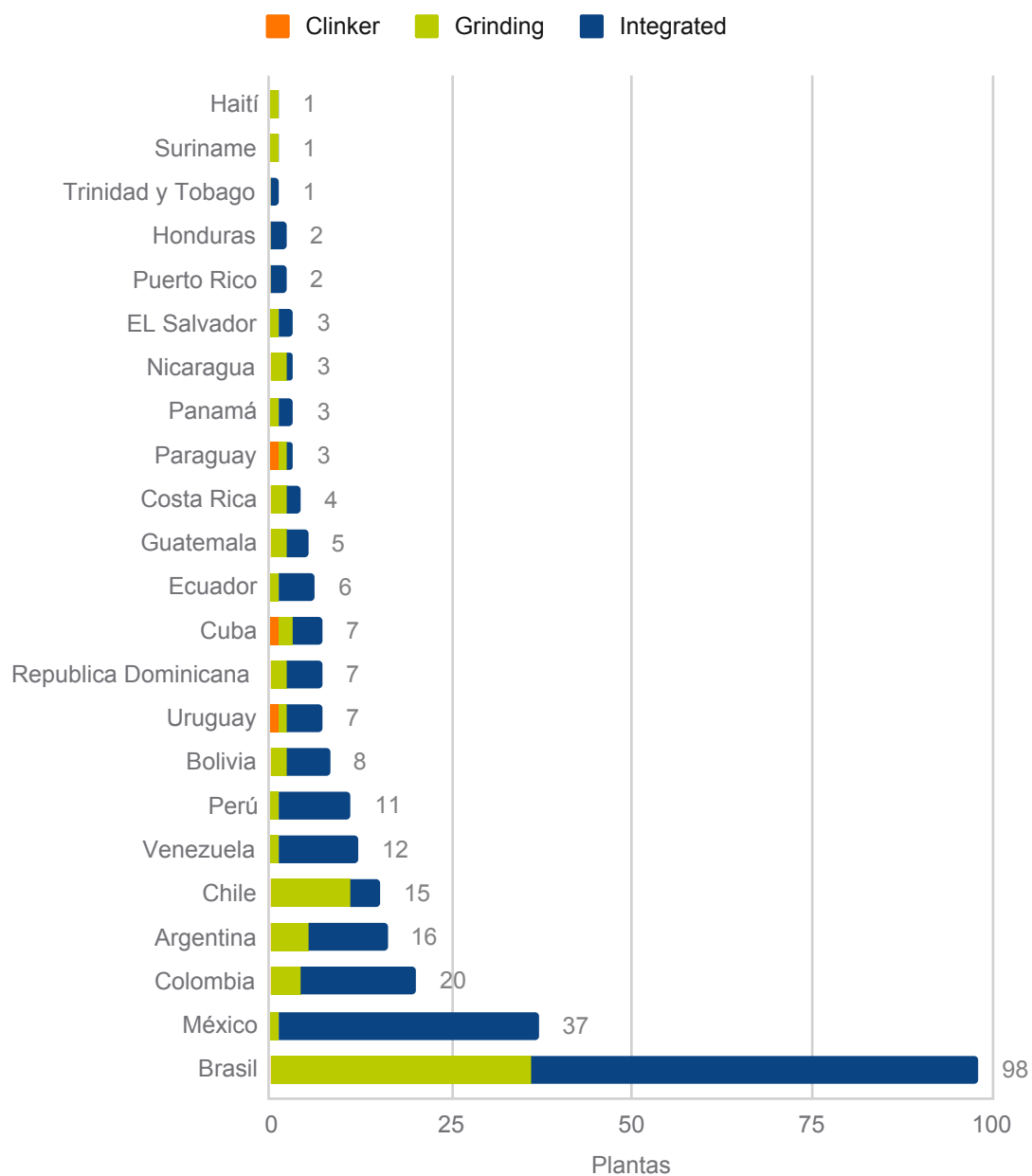


Gráfico 47: Número de plantas cementeras por país dividido por tipos de plantas. **Fuente:** elaboración propia.

5.1.3. Producción de cemento

Para determinar la demanda energética de la industria del cemento de Latinoamérica y El Caribe se necesita la producción de cemento de los países y proyectarla al año 2030. Para esto se contó con datos de CEMNET de

producción de cemento entre los años 2006 y 2019, los cuales fueron contrastados con otras fuentes como USGS y comunicaciones directas de FICEM con institutos y compañías de la región.

En el **gráfico 48** se presenta la producción de cemento para los países de América Latina y El Caribe entre los años 2006 y 2019 y en el **gráfico 49** se presenta solo para el año 2016.

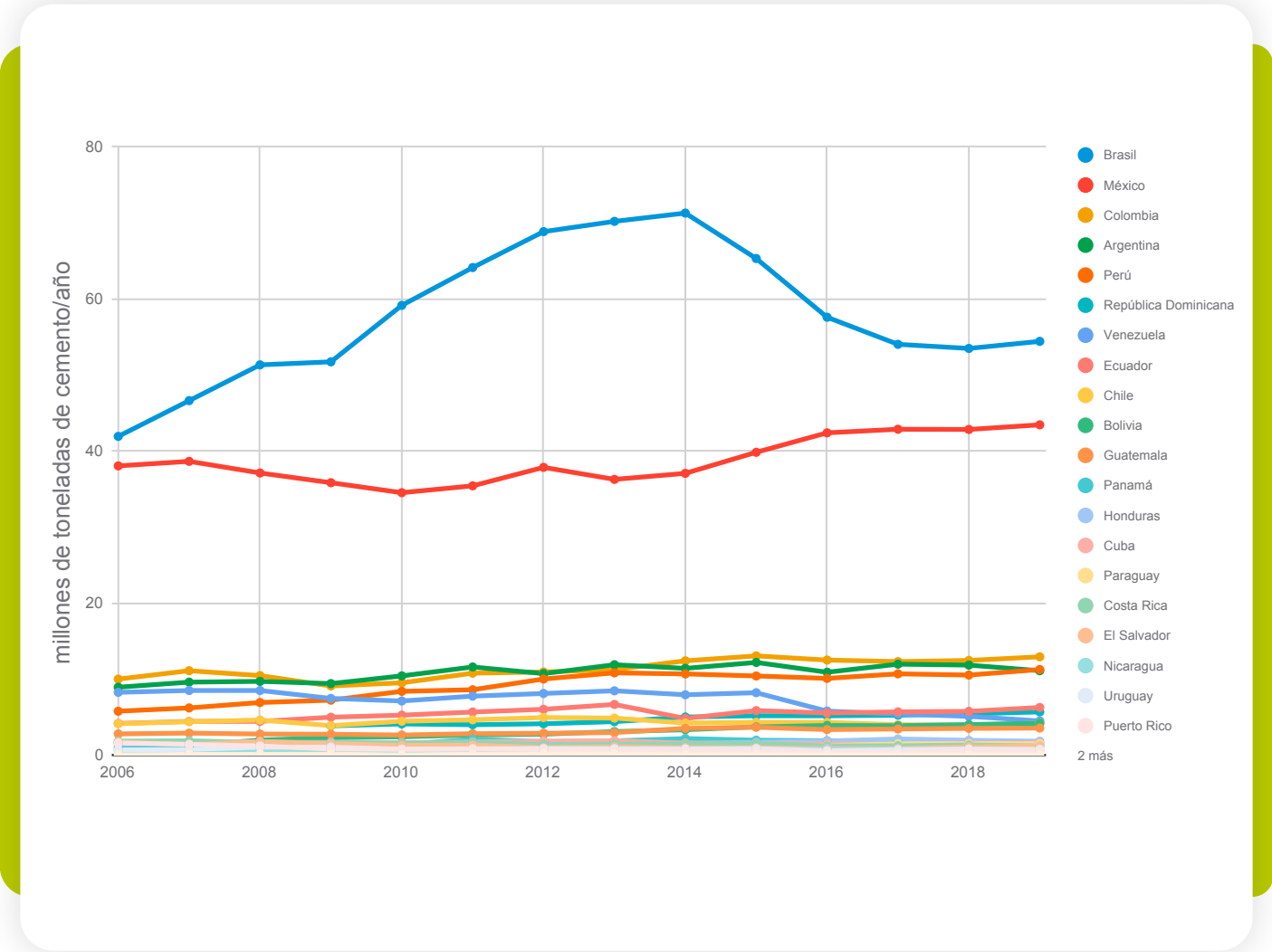


Gráfico 48: Producción de cemento de los mayores países de América Latina y El Caribe entre los años 2006 y 2019. **Fuente** CEMNET/FICEM.

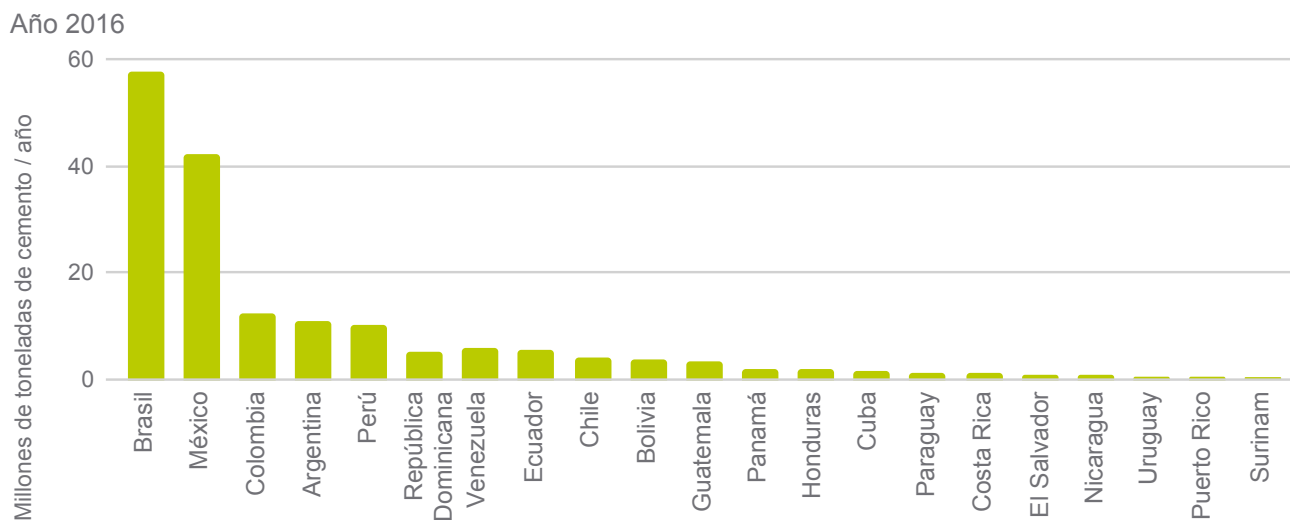


Gráfico 49: Producción de cemento para los mayores países de Latinoamérica y El Caribe. Fuente Cemnet/FICEM.

5.1.4. Residuos

5.1.4.1. Residuos Sólidos Urbanos (RSU)

Como ya fue expuesto en el capítulo 1, se contó con la base de datos adjunta al informe “What’s a waste - A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050” del Banco Mundial, la cual entrega una cobertura mundial a la información de residuos sólidos urbanos (Municipal Solid Waste).

Si bien, para el presente estudio se contó además con el informe “perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y El Caribe” de ONU Medio Ambiente, no se utilizaron sus datos porque, entre otras cosas, no incluye la composición de los RSU para todos los países de ALyC.

Para poder estimar la disponibilidad energética en los residuos, se utilizó la tasa de generación de residuos por habitantes, descompuesta por tipo de residuos, de los cuales se seleccionó aquellos residuos que no requieren de deshidratación para su utilización como combustible alternativo. Si bien los residuos denominados orgánicos, es decir, aquellos biodegradables tales como los restos alimentarios o residuo de podas y jardinería, pueden ser utilizados como combustible alternativo, involucran un

requerimiento energético importante para su deshidratación y por tanto su poder calorífico es menor. Esto no significa que no sean una opción interesante para el coprocesamiento, pero no son la primera línea de aprovechamiento y pueden ser considerados previa evaluación de costo beneficio, considerando además que su potencial de generación de metano, un poderoso gas de efecto invernadero, los hace más nocivos para el cambio climático.

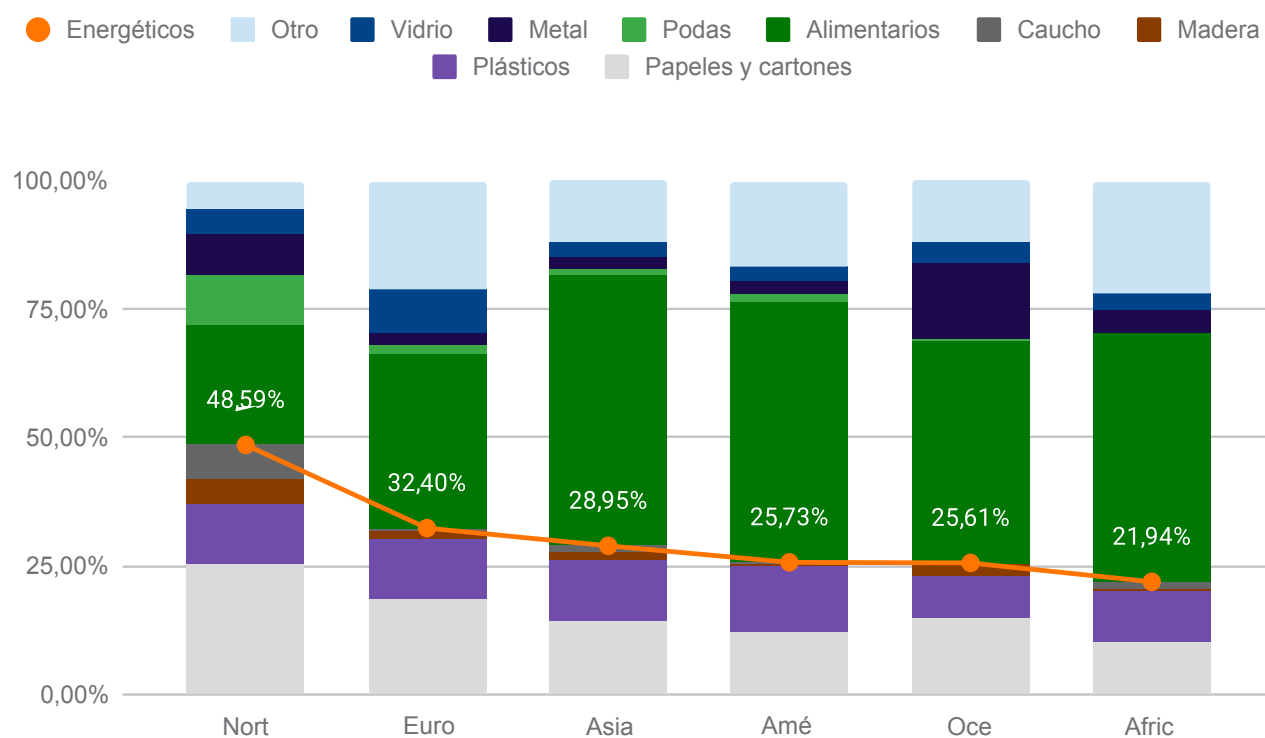


Gráfico 50: Composición de residuos sólidos urbanos RSU para distintas regiones del mundo y la suma de participaciones de los residuos aprovechables energéticamente. **Fuente:** Banco mundial.

5.1.4.2. Neumáticos fuera de uso (NFU)

Para la estimación de neumáticos fuera de uso, se utilizaron datos contenidos en el informe “**Global ELT Management – A global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of recovery and technologies**”⁴⁷ de WBCSD y Tire Industry Project, del año 2019. En este estudio se informa, entre otros datos, la generación de residuos en miles de toneladas al año, lo cual es reproducido en la **Tabla 22**, donde se ha agregado el dato correspondiente a Chile obtenido de la cámara de la industria del neumático de Chile A.G.



Tabla 22: Generación de neumáticos fuera de uso en miles de toneladas para algunos países. Fuente WBCSD

PAÍS	Miles de toneladas de NFU	Año informado
Argentina	150	2018
Brasil	585	2017
Chile	92	2018
Corea del sur	319	2017
India	2.750	2015
Indonesia	684	2017
Japón	849	2017
México	468	2017
Nigeria	113	2017
Rusia	800	2017
Sudáfrica	204	2015
USA	3.700	2017

Se calculó la tasa de generación de neumáticos en Kg/habitante/año dividiendo la cantidad de NFU generado por la población del país, para el año correspondiente, lo cual se presenta en la **Tabla 23**.

⁴⁷ <https://www.wbcds.org/Sector-Projects/Tire-Industry-Project/End-of-Life-Tires-ELTs>



Tabla 23: Tasa de generación de neumáticos fuera de uso para distintos países en Kg/hab/año

PAÍS	NFU per cápita Kg/hab/año
Argentina	3,37
Brasil	2,82
Chile	4,94
Corea del sur	6,21
India	2,10
Indonesia	2,59
Japón	6,70
México	3,75
Nigeria	0,59
Rusia	5,54
Sudáfrica	3,68
Estados Unidos	11,38

Fuente: elaboración propia a partir de datos de WBCSD.

Al graficar esta tasa de generación de NFU con el ingreso per cápita de los países se obtiene el gráfico de correlación presentado en el **Gráfico 51**.

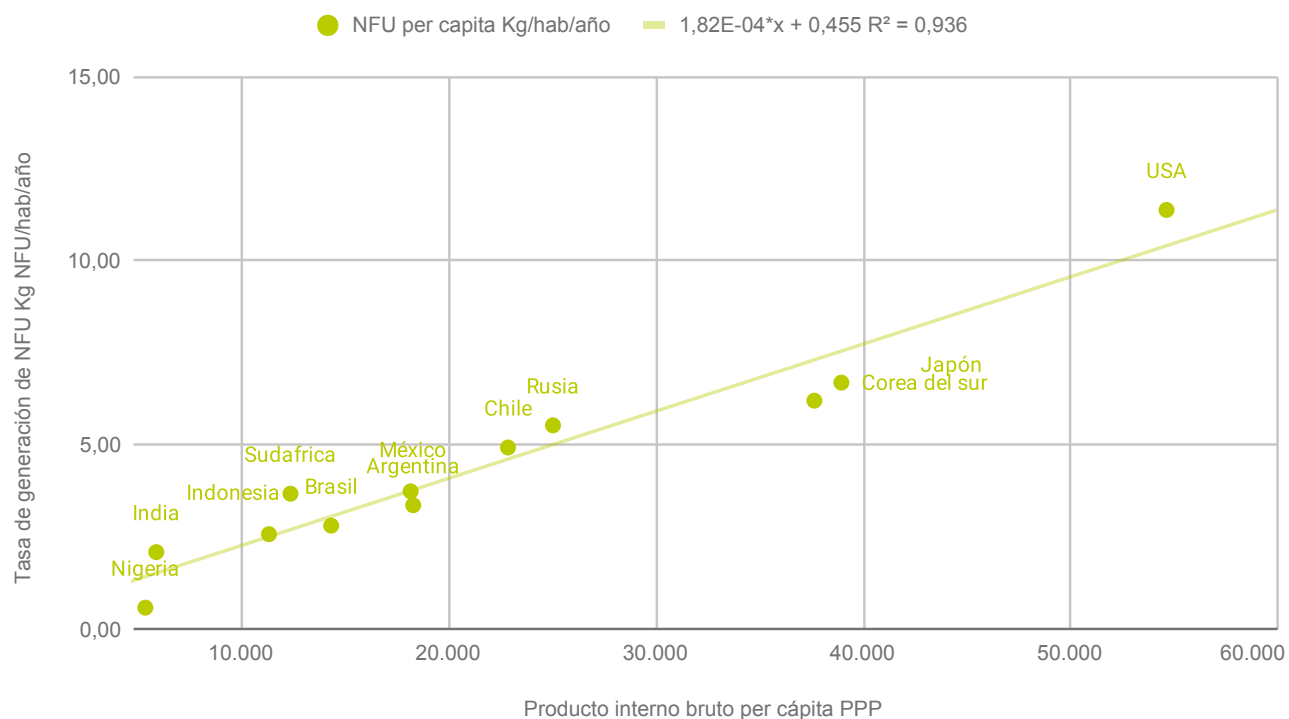


Gráfico 51: Correlación entre la tasa de generación de NFU por habitante y el PIB per cápita PPP para un conjunto de países con datos reportados de generación de NFU. Se incluye en el gráfico la ecuación de la recta de mejor ajuste y el coeficiente de correlación $R^2=0.936$. **[Fuente. Elaboración propia]**

Se puede observar del gráfico que existe una relación entre la cantidad de NFU y el ingreso de los países, lo cual no sorprende, dado que los NFU provienen del uso de automóviles para uso particular por un lado y de vehículos de transporte de carga y pasajeros por otro, los cuales serán mayores según mayor sea el tamaño de la economía. La ecuación de correlación nos permitirá

entonces estimar la tasa de generación de NFU a partir del ingreso per cápita del país y, dado que se cuenta con esta información proveniente de la base de datos World Economic Outlook del Fondo Monetario Internacional, se puede estimar dicha tasa para los países de América Latina y El Caribe.

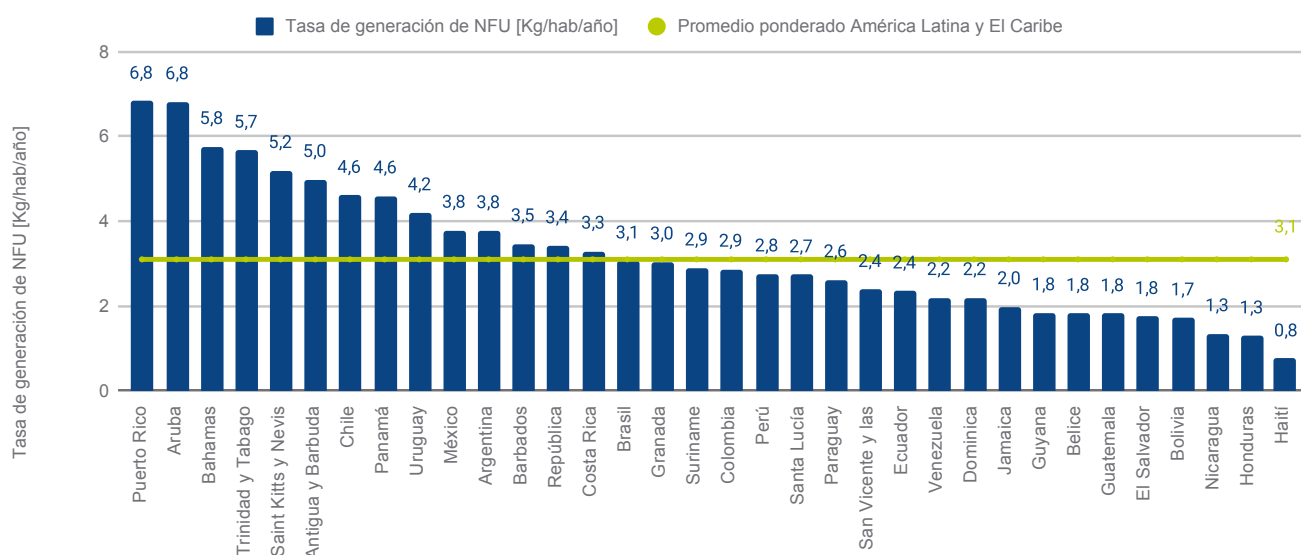


Gráfico 52: Tasa estimada de generación de NFU en los países de Latinoamérica y El Caribe para el año 2018, en kilogramos de neumático por habitante al año, a partir de modelo de regresión lineal. **Fuente:** elaboración propia.



Tabla 24: Tasa de generación de NFU por habitante y cantidad total de NFU generado para el año 2018, por los países de Latinoamérica y El Caribe a partir de modelo de regresión lineal y del ingreso per cápita PPP.

ENTIDAD	PIB per cápita PPP	Tasa de generación de NFU [Kg/hab/año]	Población [hab]	NFU t/año
Puerto Rico	35.032	6,8	3.195.153	21.826
Aruba	34.962	6,8	105.845	722
Bahamas	29.161	5,8	385.640	2.222
Trinidad y Tobago	28.687	5,7	1.389.858	7.889
Saint Kitts y Nevis	26.056	5,2	52.441	273
Antigua y Barbuda	24.892	5,0	96.286	480
Chile	22.837	4,6	18.729.160	86.367
Panamá	22.773	4,6	4.176.873	19.212
Uruguay	20.578	4,2	3.449.299	14.488
México	18.319	3,8	126.190.788	478.155
Argentina	18.261	3,8	44.494.502	168.126
Barbados	16.577	3,5	286.641	995
República Dominicana	16.302	3,4	10.627.165	36.366
Costa Rica	15.609	3,3	4.999.441	16.477
Brasil	14.347	3,1	209.469.333	642.276
Granada	14.214	3,0	111.454	339
Surinam	13.427	2,9	575.991	1.670
Colombia	13.272	2,9	49.648.685	142.514
Perú	12.655	2,8	31.989.256	88.233
Santa Lucía	12.542	2,7	181.889	498
Paraguay	11.907	2,6	6.956.071	18.239
San Vicente y las Granadinas	10.636	2,4	110.210	263
Ecuador	10.449	2,4	17.084.357	40.264
Venezuela	9.595	2,2	28.870.195	63.550
Dominica	9.585	2,2	71.625	158
Jamaica	8.418	2,0	2.934.855	5.832
Guyana	7.625	1,8	779.004	1.435
Belice	7.556	1,8	383.071	701
Guatemala	7.502	1,8	17.247.807	31.398
El Salvador	7.145	1,8	6.420.744	11.271
Bolivia	6.969	1,7	11.353.142	19.565
Nicaragua	4.914	1,3	6.465.513	8.724
Honduras	4.635	1,3	9.587.522	12.450
Haití	1.657	0,8	11.123.176	8.416
Total, América Latina y El Caribe		3,1		1.951.394

Fuente: Elaboración propia.

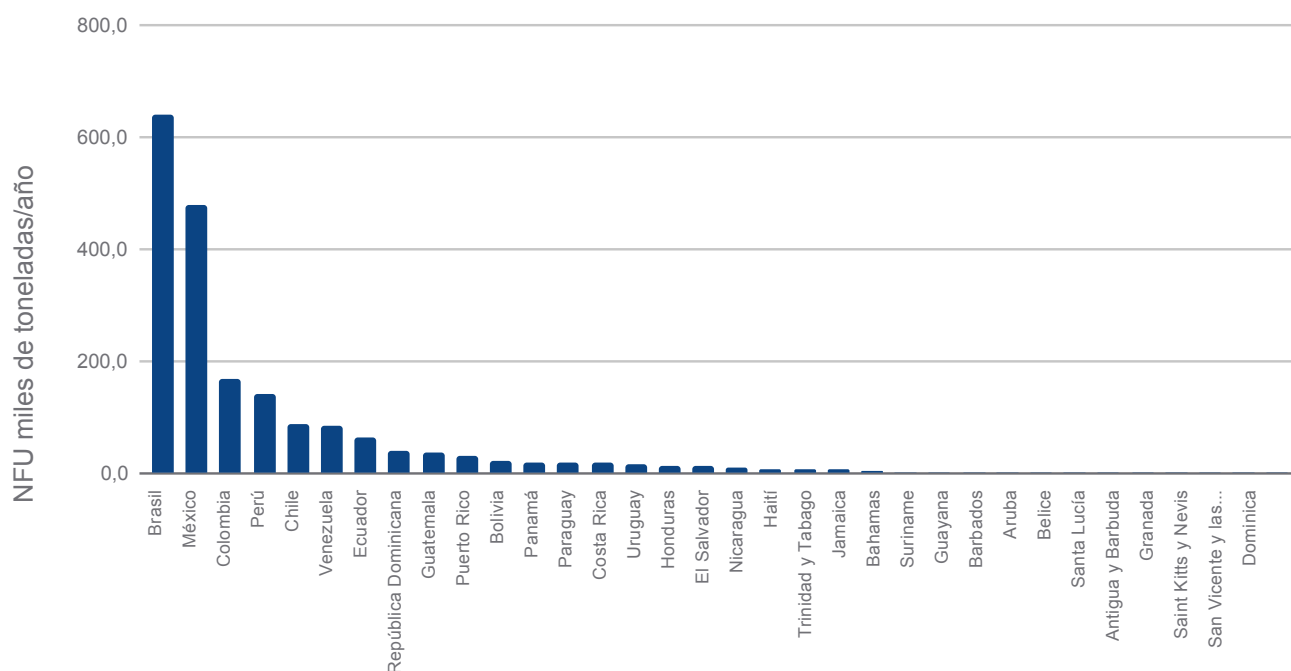
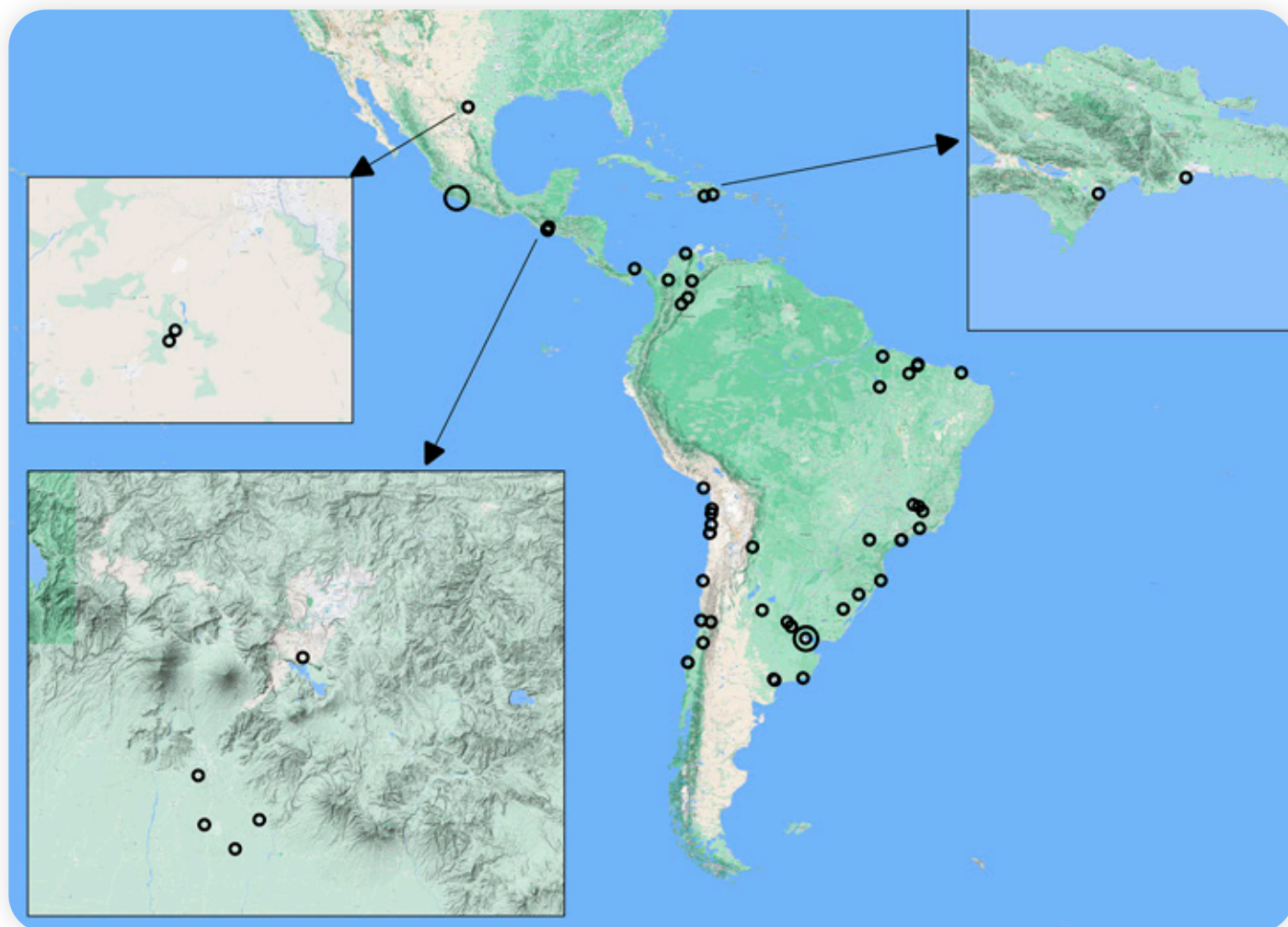


Gráfico 53: Cantidad de NFU generados en los países de América Latina y El Caribe, para el año 2018, en miles de toneladas al año. **Fuente:** Elaboración propia.

5.1.4.3. Cenizas volantes

Las cenizas volantes o fly ash, consideradas en el presente estudio, corresponden a aquellas derivadas de la combustión del carbón en centrales termoeléctricas. Los principales usos del carbón corresponden a la generación de electricidad, la producción de acero, la fabricación de cemento y la producción de combustibles líquidos, de los cuales, los tres primeros implican la combustión del carbón. En la producción de acero, la ceniza queda incorporada en la escoria que se tratará en otro apartado mientras que en la producción de cemento la ceniza queda incorporada al clinker, de manera que solo queda la producción de energía como fuente de cenizas volantes.

Se contó con el informe “A Global Database of Power Plants” de World Resources Institute WRI, del año 2019, el cual incluye una base de datos con las plantas de producción eléctrica del mundo y entre ellas, las plantas generadoras a carbón. La base de datos incluye el nombre de la planta, su ubicación georreferenciada, el tipo de combustible que utiliza, la capacidad instalada y su producción para el año 2017, entre otros atributos. En la **Imagen 7** y la **Tabla 25** se presentan las centrales termoeléctricas a carbón para Latinoamérica y El Caribe indicando el país, el nombre de la planta y su capacidad instalada.



Centrales Carbón [MW]

○ 1 - 1401

○ 1401 - 2801

Google Terrain

Imagen 7: Mapa de localización de las centrales termoeléctricas a carbón en América Latina y El Caribe. El tamaño del símbolo representa la capacidad instalada en MW. Fuente WRI.



Tabla 25: Plantas termoeléctricas a carbón de América Latina y el Caribe con su capacidad instalada

PAÍS	Nombre central termoeléctrica	Capacidad instalada [MW]
Argentina	Central Bahía blanca (piedra buena) Sa	620
	Central Térmica Güemes SA	361
	Costanera	1.982
	Ct Ecoenergía (Petrobras)	13
	Necochea	206
	Pilar Zanichelli	216
	Puerto Nuevo	589
	San Nicolas	644
	Sorrento	226
Brasil	Alumar	75
	Alunorte	103.854
	Açominas	103
	Brasil Verde	1
	Candiota III	350
	Cosima	5
	Cosipa II	19
	Cosipar	14
	Figueira	20
	Jorge Lacerda I e II	232
	Jorge Lacerda III	262
	Jorge Lacerda IV	363
	Metalsider	9
	Negro de Fumo	24
	Porto do Itaqui (Antiga Termomaranhão)	360.137

PAÍS	Nombre central termoeléctrica	Capacidad instalada [MW]
Brasil	Central BPorto do Pecém II	365
	Presidente Médici A B	446
	São Jerônimo	20
	TRT	21
Chile	Bocamina	478
	Campiche	2.489.888
	Diesel Iquique	43
	Guacolda	760
	Nueva Ventanas	2.489.888
	Planta Curicó	2
	Santa María	341.991
	Termoeléctrica Angamos 1	488
	Termoeléctrica Hornitos	154
	Termoeléctrica Mejillones	319
	Termoeléctrica Norgener	259
	Termoeléctrica Tarapacá	172
	Termoeléctrica Tocopilla	1.002
	Ventanas	322
Colombia	Gecelca Power Station	164
	Termoguajira Power Station	330
	Termopaipa Power Station	346
	Termotasajero Power Station	323
	Termozipa Corral Power Station	230

PAÍS	Nombre central termoeléctrica	Capacidad instalada [MW]
República Dominicana	Barahona Power Station	45
	Itabo Power Station	260
Guatemala	Costa Sur	30
	Jaguar Energy Power Station	300
	La Libertad	20
	Las Palmas II	83
	San José	139
México	Carbón II	1.400
	José López Portillo (Río Escondido)	1.200
	Plutarco Elías Calles (Petacalco)	2.778
Panamá	Bahía las Minas Coal Power Plant Panamá	120
Perú	Ilo 1	132

Fuente: WRI.

La cantidad de ceniza producida en la combustión de carbón oscila entre 8% y 25% [Progres 1997] o incluso tasas mayores dependiendo de la tecnología de combustión y la calidad del carbón. Para efectos del siguiente ejercicio se considera una tasa conservadora de 10% de la masa del carbón que se convierte en ceniza.

Asimismo, el contenido de energía térmica del carbón es de 6.150 kWh/ton. Aunque los generadores de energía de carbón son muy eficientes, todavía están limitados por las leyes de la termodinámica. Solo alrededor del 40 por ciento de la energía térmica del carbón se convierte en electricidad. Entonces, la electricidad generada por tonelada de carbón es $0,4 \times 6,150$ kWh o 2,460 kWh/tonelada.

A partir de estos dos factores de conversión podemos estimar la cantidad de ceniza generada mediante la siguiente relación:

$$M_{\text{ceniza}} = E_e * 406,5 \times 0,1$$

Donde:

M_{ceniza}

Cantidad de ceniza generada en toneladas.

E_e

Energía eléctrica generada en GWh.

406,5

Cantidad de carbón en toneladas necesarias para generar un GWh de energía eléctrica.

0,1

Cantidad de cenizas en toneladas producidas por la combustión de una tonelada de carbón.

En la **Tabla 26** y el **Gráfico 54** se presentan los resultados de la cantidad de ceniza estimada que se genera en las plantas termoeléctricas a carbón de América Latina y El Caribe, mediante el método de estimación anteriormente descrito.



Tabla 26: Generación de cenizas para los países de América Latina y El Caribe que cuentan con plantas termoeléctricas a carbón.

SUB REGIÓN	País	Generación eléctrica [GWh]	Consumo de carbón [toneladas]	Generación de cenizas [toneladas]
América central	México	33.881	13.772.627	1.377.263
América del Sur	Brasil	26.754	10.875.501	1.087.550
	Chile	26.006	10.571.439	1.057.144
	Colombia	7.136	2.900.784	290.078
	Argentina	4.038	1.641.447	164.145
Caribe	República Dominicana	2.476	1.006.494	100.649
América central	Guatemala	1.855	754.058	75.406
	Panamá	687	279.266	27.927
América del Sur	Perú	312	126.828	12.683
Total, América Latina y El Caribe		103.145	41.928.443	4.192.844

Fuente: elaboración propia a partir de datos de WRI.

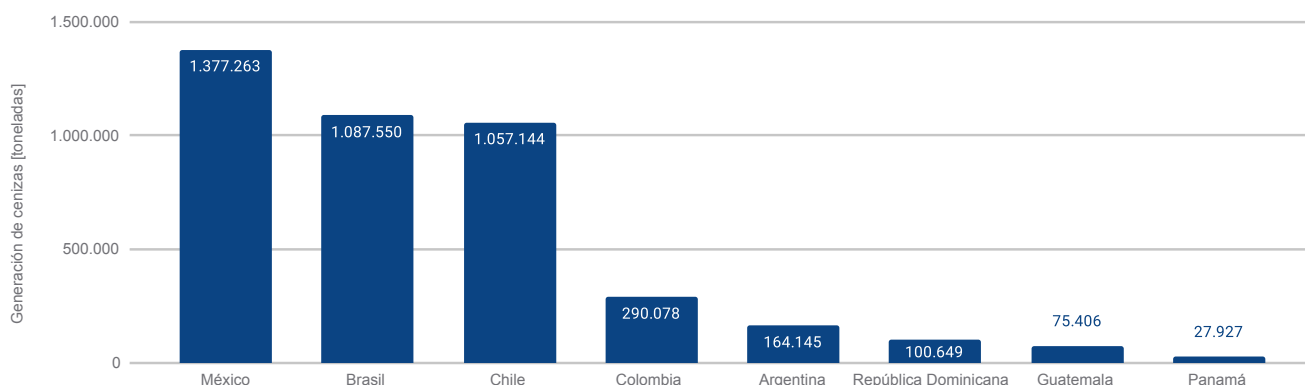


Gráfico 54: Generación de cenizas las centrales termoeléctricas a carbón en América Latina y El Caribe. **Fuente:** Elaboración propia a partir de satsos de WRI.

5.1.5. Área de influencia plantas cementeras

Hasta el momento se han expuesto las estimaciones de generación de residuos a escala nacional, a partir de factores de generación para RSU, NFU y cenizas volantes. Sin embargo, la distancia desde los centros de generación de residuos hacia las plantas cementeras puede ser determinante en la viabilidad económica del uso de estos elementos, siendo los costos de transporte una de las variables más importantes a considerar.

Para incluir este elemento en el análisis, se ejecutó un proceso a partir de los datos de la población a nivel de municipios y la localización de las plantas cementeras y que consistió en determinar la población existente dentro de un área circular de 100 Km de radio alrededor de cada planta cementera. El proceso se describe a continuación:

Paso 1: Mediante herramientas de geoprocetos del software QGIS de Sistema de Información Geográfica SIG, se generan buffers de 100 km alrededor de las ubicaciones de las plantas cementeras. Un ejemplo de esto se muestra en la **Imagen 8** para una zona de Brasil. A continuación, y considerando que las moliendas no utilizan combustibles para horno, se dejan solo las áreas buffer centradas en plantas integradas.

Posteriormente se fusionan aquellas áreas que se superpongan, pudiendo formarse áreas mayores alrededor de dos o más plantas. A estas áreas se les llamará clústeres

y su formación dependerá de la longitud que se asigne como radio a las áreas de influencia de cada planta. Adicionalmente, a estos clústeres se recortó las porciones de territorio que superaban fronteras nacionales. Este resultado se presenta en el ejemplo de la **Imagen 9**.

Paso 2: Corresponde ahora determinar la población dentro de cada clúster, para lo cual se ejecuta otro geoproceto, esta vez asignando la población de todos los centros poblados ubicados dentro de un clúster a ese clúster, como un atributo. En la **Imagen 10** se muestran los municipios, representadas por puntos negros correspondientes a los centroides del polígono correspondiente al municipio, dentro de cada clúster. El geoproceto suma la población de cada uno de esos puntos y la asigna como atributo al clúster que los contiene.

Paso 3: Se ejecuta el mismo procedimiento para las distancias de 50Km y 150km desde una planta cementera. El número de clústeres elementos resultantes no es el mismo para las distintas distancias, dado que a medida que crecen las áreas de influencia, se intersecan con otras y se unen, como lo muestra la **Imagen 11**.

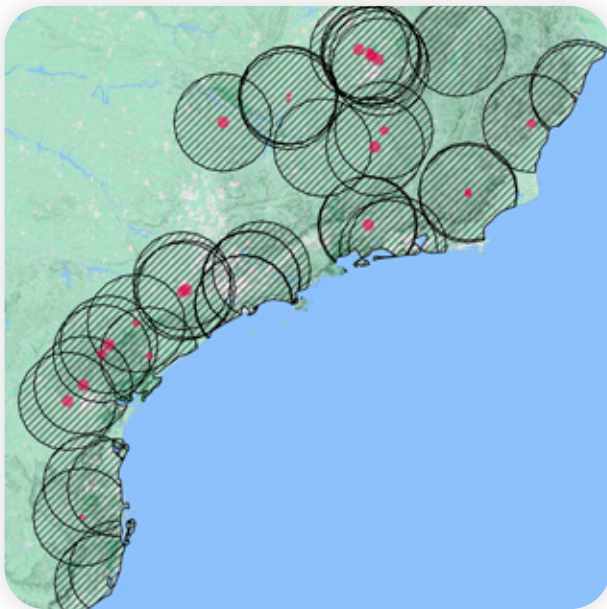


Imagen 8: Áreas buffer de 100 Km. Alrededor de las plantas cementeras. Detalle para una zona de Brasil. Fuente: elaboración propia.

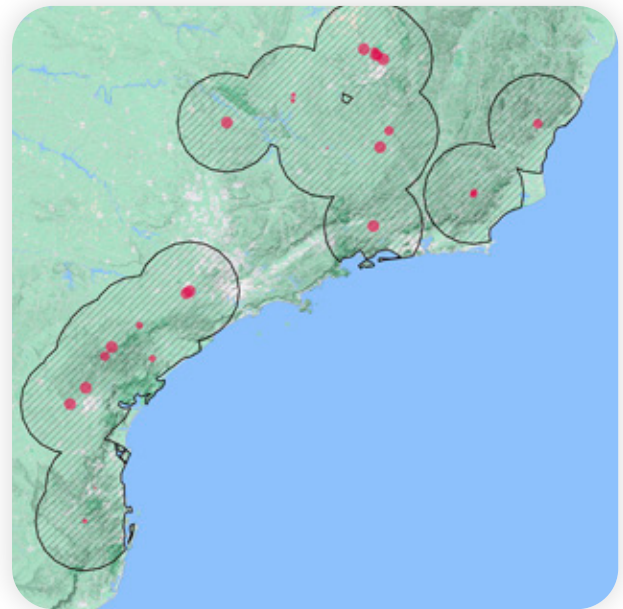
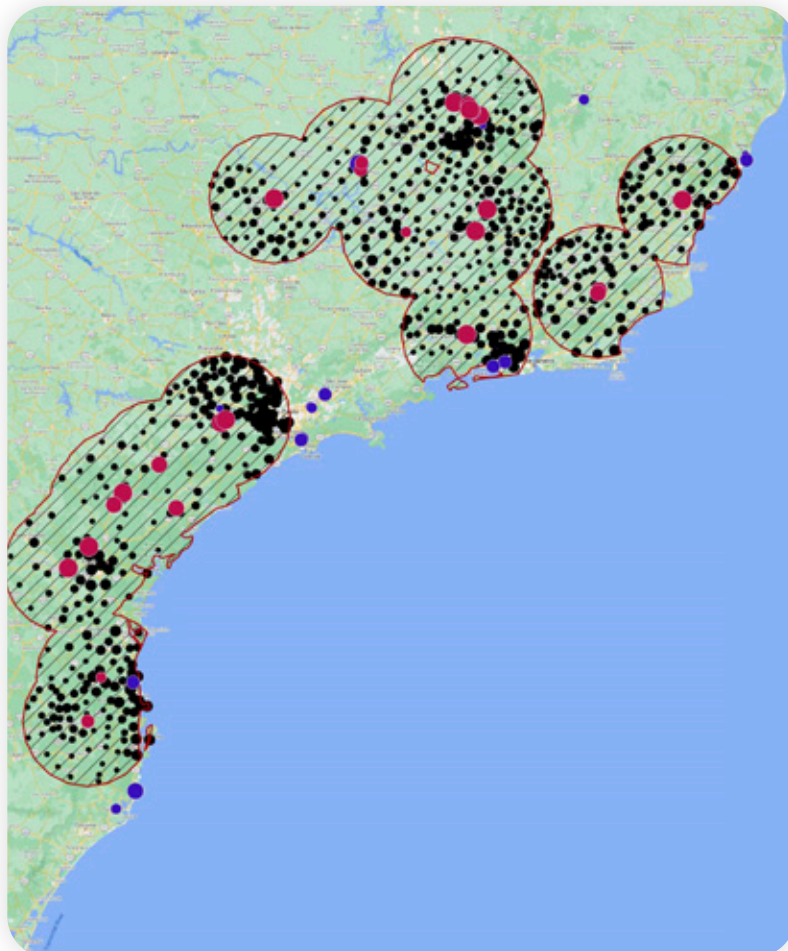


Imagen 9: Áreas buffer consolidadas en torno a plantas cementeras integradas colindantes, conformando clústeres de plantas cementeras.



Integradas y de clinker [kt/año]

- 350 - 600
- 600 - 1071
- 1071 - 1800
- 1800 - 5500

Moliendas de cemento [kt/año]

- 0 - 350
- 350 - 600
- 600 - 1071
- 1071 - 1800
- 1800 - 5500
- Áreas buffer plantas integradas

Centroides municipios [hab/km2]

- 0 - 18
- 18 - 40
- 40 - 81
- 81 - 208
- 208 - 41408

Imagen 10: Centroides de los municipios dentro de los clústeres de áreas buffer a plantas cementeras integradas, para el caso de la región costa sur de Brasil. Fuente: Elaboración propia.



Imagen 11: Conformación de clústeres en función del radio del área de influencia de cada planta cementera, para las distancias de 50Km, 100km y 150km. Las plantas cementeras se ubican al centro de cada área.

A la población de cada área se le aplica un factor de crecimiento, obtenido del crecimiento proyectado de la población para cada uno de los países de América Latina y

El Caribe, de ONU Population, para los años 2030, 2040 y 2050. Así se obtienen las poblaciones totales por cada país, contenida dentro de los clústeres como se presenta en la tabla .

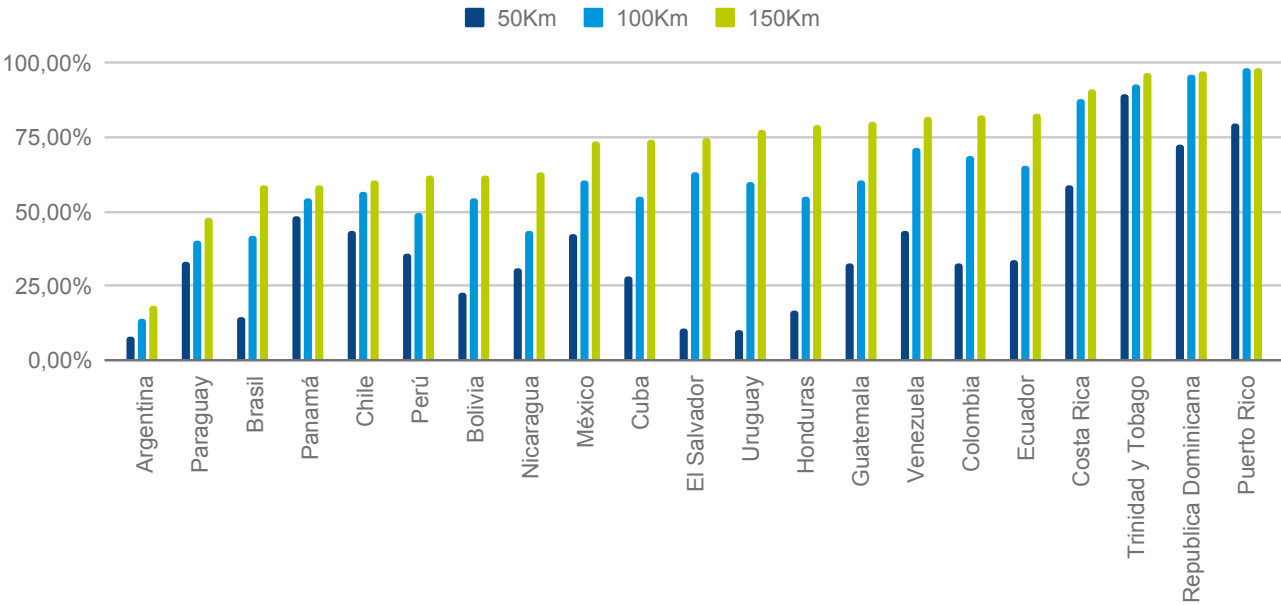
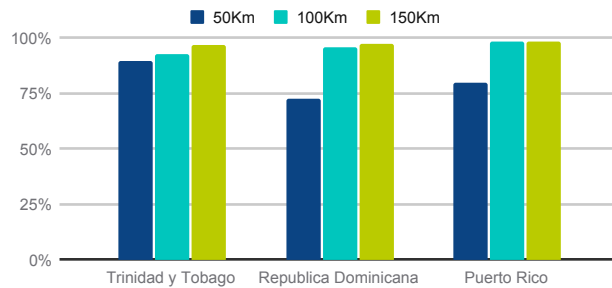


Gráfico 55: Población al año 2020 dentro de los clústeres conformados por las áreas de influencia de las plantas cementeras, por país, bajo escenarios de distancia radial; 50km, 100 km y 150 km. **Fuente:** Elaboración propia.

En el **Gráfico 55** se muestra la representación porcentual de la población dentro de los clústeres, en sus distintos tamaños, respecto de la población total del país. Se pueden distinguir en el gráfico distintos comportamientos que pueden ser categorizados, lo cual permite hacer evaluaciones, definir estrategias de implementación, requerimientos logísticos y contextos normativos, etc.

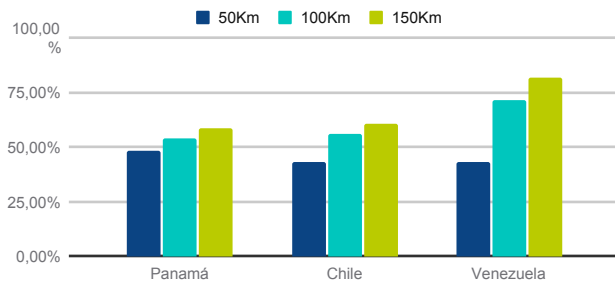


Tabla 27: Configuraciones posibles de las plantas cementeras en relación con los centros de población en los países de América Latina y El Caribe, a través del análisis de representatividad de clústeres de distintos tamaños.



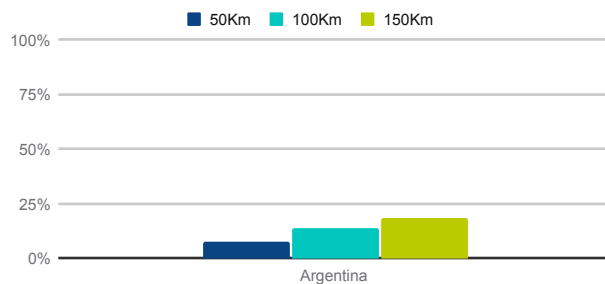
Plantas están cercanas a grandes centros poblados

%50Km > 75%



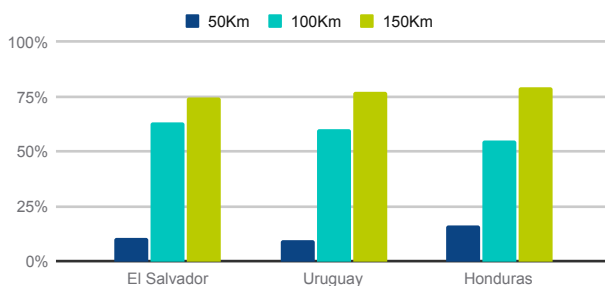
Plantas están cercanas a centros poblados medios

%50Km ≈ %100Km ≈ %150Km



Plantas lejanas a grandes centros poblados

%150Km < 25%



Plantas con grandes centros de población a mediana distancia

%50Km <><> 150Km



Tabla 28: Población total de países de América Latina y El Caribe [ONU] y la población dentro de los clústeres de distintos tamaños

PAÍS	Población total país	50Km	100Km	150Km
Argentina	45.303.000	3.561.302	6.273.928	8.303.089
Bolivia	11.673.000	2.672.713	6.330.106	7.268.799
Brasil	212.559.000	31.363.985	89.089.381	124.554.657
Chile	19.116.000	8.301.468	10.784.745	11.597.977
Colombia	50.883.000	16.514.094	34.996.857	41.790.838
Costa Rica	5.094.000	2.997.590	4.484.321	4.631.071
Cuba	11.327.000	3.214.935	6.227.149	8.403.999
Ecuador	17.643.000	5.981.165	11.498.134	14.653.725
El Salvador	6.486.000	703.065	4.100.273	4.860.329
Guatemala	17.916.000	5.881.215	10.859.954	14.371.266
Honduras	9.905.000	1.647.798	5.466.847	7.849.517
México	128.933.000	54.473.366	78.015.335	94.820.355
Nicaragua	6.625.000	2.042.983	2.881.356	4.202.712
Panamá	4.315.000	2.081.944	2.345.963	2.540.937
Paraguay	7.133.000	2.364.273	2.867.985	3.403.321
Perú	32.972.000	11.800.790	16.258.675	20.398.244
Puerto Rico	3.184.000	2.536.616	3.134.455	3.134.455
República Dominicana	10.848.000	7.865.908	10.405.276	10.568.540
Trinidad y Tobago	1.399.000	1.251.655	1.295.513	1.352.565
Uruguay	3.474.000	345.507	2.088.451	2.684.908
Venezuela	28.436.000	12.303.515	20.384.330	23.328.208



Tabla 29: N° de clústeres que se producen en cada país, en función del radio de influencia que se considera para cada planta cementera integrada.

PAÍS	N° de clústeres a 50Km	N° de clústeres a 100Km	N° de clústeres a 150Km
Trinidad y Tobago	1	1	1
Panamá	1	1	1
Puerto Rico	1	1	1
Nicaragua	1	1	1
El Salvador	1	1	1
Costa Rica	2	1	1
Honduras	2	1	1
República Dominicana	3	1	1
Ecuador	4	2	1
Cuba	4	4	1
Colombia	7	3	1
Venezuela	9	6	1
Guatemala	1	1	2
Paraguay	2	2	2
Uruguay	3	2	2
Chile	3	3	2
Bolivia	6	3	2
Perú	7	5	3
Argentina	9	8	7
México	16	12	9
Brasil	32	24	16

5.2.

Estimaciones de potencial de valorización al año 2030

El potencial de valorización de residuos, para el presente estudio, expresa cuál es el máximo de combustible alternativo o componente mineral que requiere una planta, grupo de plantas (clúster) o país, que

puede ser cubierto por residuos y se define operacionalmente como la relación porcentual entre la oferta de residuos y la demanda de este material para la fabricación de cemento.

$$\text{PotencialValorización} = 100 \times \frac{\text{Oferta}_{\text{residuos}}}{\text{Demanda}_{\text{residuos}}}$$

De manera que, para cada uno de los tres residuos estudiados en este capítulo, se determinará primero la oferta del residuo y posteriormente su demanda a partir de toda la información ya expuesta. Tanto la oferta como la demanda pueden ser energéticas ($\text{Oferta}_{\text{Energética}}$, $\text{Demanda}_{\text{Energética}}$), cuando se hable de combustibles alternativos, o mineral ($\text{Oferta}_{\text{Mineral}}$, $\text{Demanda}_{\text{Mineral}}$) cuando se hable de adiciones o componentes minerales al cemento.

5.2.1. RSU

5.2.1.1. Oferta energética de RSU

Para determinar la oferta energética de RSU en Terajoule por año (TJ/año) se utiliza la siguiente relación:

$$\text{Oferta}_{\text{Energética}} = 0,000365 \times \text{TasaResiduos} \times \text{Habitantes} \times \text{PoderCalorífico} \left[\frac{\text{TJ}}{\text{año}} \right]$$

Donde

TasaResiduos:

Tasa de generación de residuos en Kilogramos/habitante/día.

Habitantes:

Población de habitantes

PoderCalorífico:

Cantidad de energía por unidad de masa o unidad de volumen de combustible que se puede desprender al producirse una reacción química de oxidación en GJ/tonelada.

Para el Coprocesamiento se consideran, solo aquellos residuos con contenido energético que no requieren deshidratación, es decir; papeles, cartones, plásticos, madera y caucho. Es posible incluir residuos orgánicos, pero se debe considerar el balance entre la energía necesaria para su secado y la energía posible de extraer y pasaría de ser un coprocesamiento de recuperación a un coprocesamiento de eliminación.

Considerando además que la mayor parte de los residuos energéticos deben ser reciclados o reutilizados, se usarán tres escenarios de reciclaje, lo cual significa que los residuos disponibles para coprocesamiento serían el resto de los RSU no reciclados. Dentro de lo reciclado se incluye también la recuperación biológica como el compost, dado que corresponde a una categoría de solución superior a la recuperación energética y lo que se busca es diferencias entre las mejores soluciones (reciclaje, reutilización, compost) a recuperación energética y peores que ésta (rellenos sanitarios y vertederos).

Estos escenarios se definen por corresponder a;

- la tasa actual de reciclaje y compost en Latinoamérica y El Caribe,
- la tasa de reciclaje y compost en Europa Occidental que es la más alta como región en el mundo,
- una tasa elevada del 90% entre reciclaje y compost que dejaría un 10% para recuperación energética.



Tabla 30: Escenarios de reciclaje y recuperación que determinan la porción de RSU disponible para coprocesamiento.

ESCENARIOS	Tasa reciclaje y recuperación	Tasa de RSU valorizable energéticamente
Bajo reciclaje – Latinoamérica y El Caribe	4%	96%
Medio reciclaje – Europa Occidental	55%	45%
Alto Reciclaje – Corea del Sur	90%	10%

Así, en términos de tasa de generación de RSU se utilizará el valor expresado en Kg/hab/día que se presenta para cada país en línea continua en el **Gráfico 59**. En barras se representa la tasa de generación por tipo de residuo, con mayor presencia para papeles y plásticos. En líneas se representa la tasa disponible de RSU para recuperación energética, bajo los tres escenarios de tasas de reciclaje, asumiendo que ninguna tonelada de RSU debe ser eliminada sin recuperación en un relleno sanitario o vertedero.

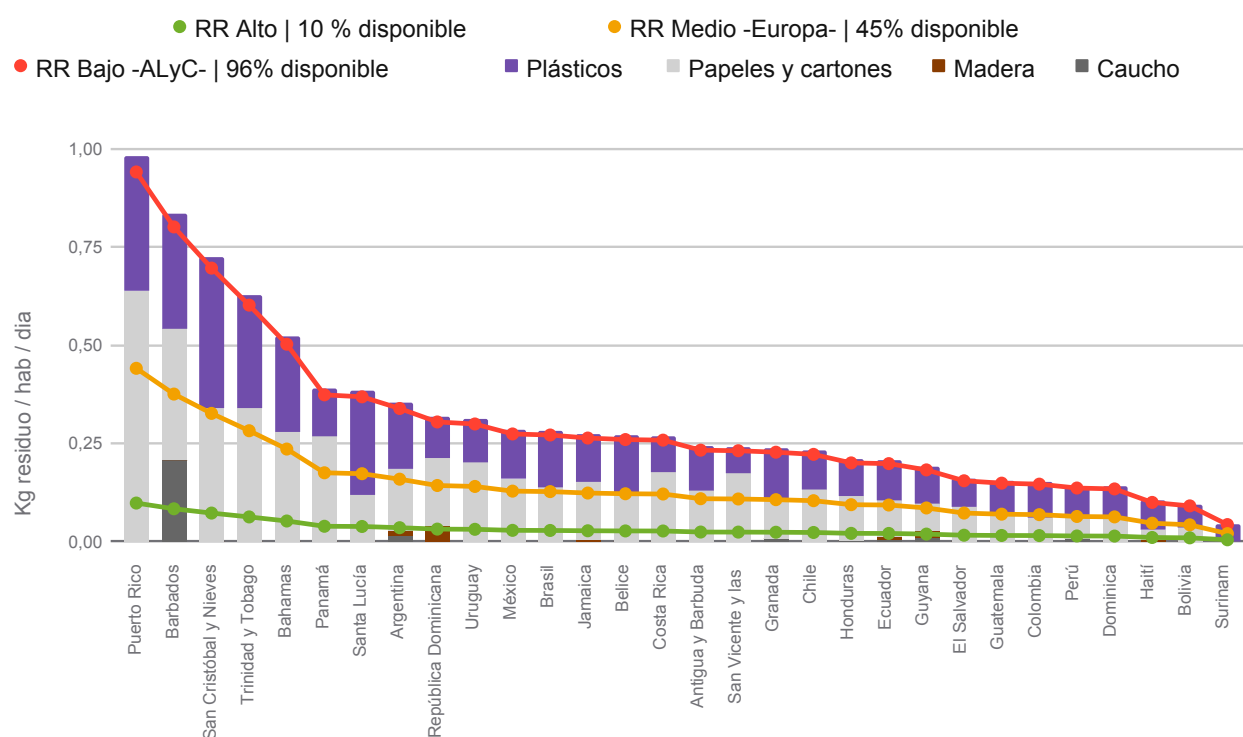


Gráfico 56: Tasa de generación de residuos energéticos por tipo (barras apiladas) y el total disponible para recuperación energética (líneas), considerando tres escenarios de tasas de reciclaje. A mayor reciclaje menor disponibilidad de RSU para recuperación energética, bajo el supuesto de que ninguna tonelada de residuos deba ser eliminada en relleno u otra solución sin recuperación. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de World Bank.



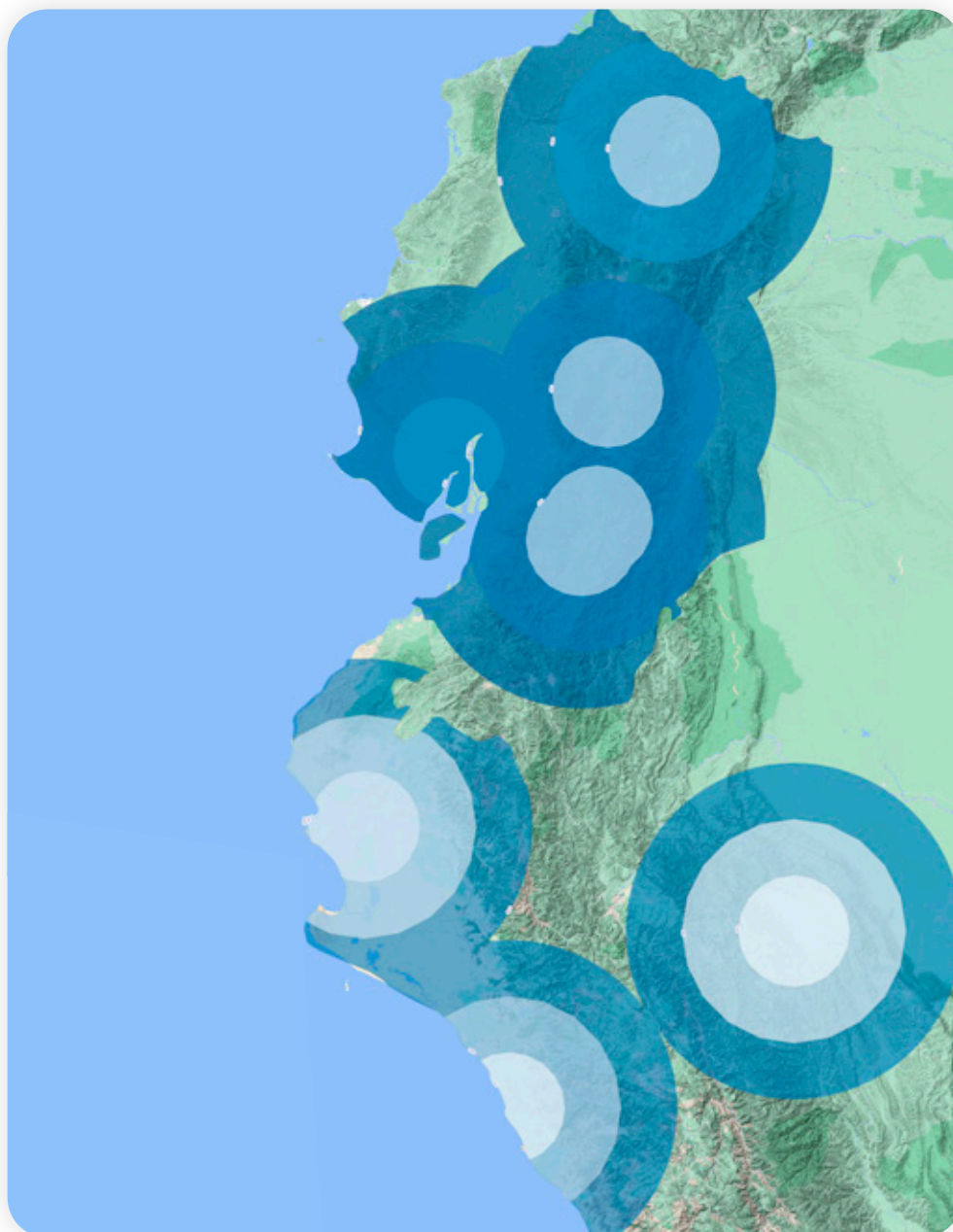
Tabla 31: Tasa de generación de residuos energéticos en Kg/hab/día para los países de América Latina y El Caribe y su equivalente energético para los años 2030, 2040 y 2050. Se asume que la composición de RSU se mantiene al aumentar el PIB, lo cual es una simplificación para el modelo. El poder calorífico es el promedio ponderado de los poderes caloríficos de los distintos residuos incluidos; papeles, cartones, plásticos, caucho, madera.

PAÍS	Tasa de generación de RSU recuperable energéticamente [Kg/hab.]			Poder calorífico [MJ/Kg]	Energía [GJ/habitante]		
	2030	2040	2050		2030	2040	2050
Argentina	0,360	0,379	0,397	21,89	2,9	3,0	3,2
Bolivia	0,107	0,115	0,122	23,71	0,9	1,0	1,1
Brasil	0,305	0,323	0,339	21,65	2,4	2,6	2,7
Chile	0,257	0,275	0,292	20,12	1,9	2,0	2,1
Colombia	0,174	0,189	0,202	23,59	1,5	1,6	1,7
Costa Rica	0,297	0,316	0,333	18,38	2,0	2,1	2,2
República Dominicana	0,392	0,432	0,466	18,63	2,7	2,9	3,2
Ecuador	0,212	0,219	0,226	21,97	1,7	1,8	1,8
Guatemala	0,167	0,175	0,182	21,87	1,3	1,4	1,5
Honduras	0,229	0,242	0,254	20,68	1,7	1,8	1,9
México	0,301	0,312	0,323	20,33	2,2	2,3	2,4
El Salvador	0,173	0,179	0,185	20,59	1,3	1,3	1,4
Panamá	0,442	0,464	0,485	17,77	2,9	3,0	3,1
Perú	0,157	0,165	0,172	23,75	1,4	1,4	1,5
Puerto Rico	0,991	1,001	1,011	18,48	6,7	6,8	6,8
Trinidad y Tobago	0,642	0,656	0,669	20,68	4,8	5,0	5,0
Uruguay	0,333	0,343	0,352	18,6	2,3	2,3	2,4

La energía por habitante [GJ/hab], es entonces, el total de energía térmica disponible a partir de los residuos sólidos urbanos; papeles y cartones, plásticos, madera y caucho, por cada habitante para un país determinado, que depende de la tasa de generación de residuos del país, de la composición de estos residuos y del poder calorífico de cada uno de los tipos de residuos. Multiplicando este valor por el número de habitantes dentro de cada clúster, obtenemos la cantidad total de energía térmica disponible en el clúster. En la imagen 14 se

puede apreciar, en un zoom a Colombia, la energía térmica disponible a partir de los RSU energéticos, generados dentro de cada clúster.

Este total de energía térmica disponible se verá reducido por la tasa de reciclaje esperada, de acuerdo con los escenarios definidos en la **Tabla 30**, donde la energía a considerar será la energía total disponible por la tasa de RSU valorizable energéticamente.



**Oferta energética a partir de RSU al año 2030
por tamaño de clúster [TJ/año]**

0 - 841	3917 - 4847	8317 - 16155
841 - 2722	4847 - 6061	16155 - 28846
2722 - 3917	6061 - 8317	28846 - 181062

Imagen 14: Energía térmica disponible en los RSU energéticos generados dentro de cada clúster, en función de las tasas y composiciones de los RSU en cada país y de la población habitante. Fuente: elaboración propia.



Tabla 32: Energía total disponible en [TJ/año] para los años 2030 y 2050, por país y en función del tamaño de los clústeres. Los valores presentados corresponden la suma de la energía de cada clúster.
Fuente: elaboración propia.

PAÍS	2030			2050		
	50Km	100Km	150Km	50Km	100Km	150Km
Brasil	79.609	226.130	316.149	90.511	257.095	359.442
México	132.913	190.355	231.359	157.080	224.967	273.426
Colombia	25.970	55.036	65.721	31.584	66.932	79.926
República Dominicana	22.753	30.098	30.571	29.406	38.899	39.509
Perú	17.554	24.185	30.343	21.549	29.689	37.248
Ecuador	11.422	21.958	27.984	14.325	27.539	35.096
Argentina	11.095	19.545	25.867	13.687	24.113	31.911
Guatemala	9.284	17.144	22.687	12.841	23.711	31.377
Chile	15.951	20.723	22.286	18.926	24.587	26.441
Honduras	3.293	10.925	15.686	4.412	14.639	21.019
Puerto Rico	16.594	20.505	20.505	15.315	18.925	18.925
Costa Rica	6.409	9.588	9.903	7.587	11.350	11.724
Panamá	6.815	7.679	8.317	8.882	10.008	10.840
Bolivia	2.807	6.649	7.635	3.829	9.069	10.414
El Salvador	955	5.572	6.605	1.046	6.097	7.228
Uruguay	802	4.850	6.235	865	5.227	6.720
Trinidad y Tobago	6.126	6.340	6.620	6.072	6.285	6.561

Fuente: Elaboración propia

5.2.1.2. Demanda energética de RSU

Para determinar la demanda energética de RSU en Terajoule por año (TJ/año) se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Demanda}_{\text{Energética}} = \text{ProducciónCemento} \times F_k \times \frac{\text{ConsumoTérmicoEspecífico}}{1.000.000} \quad [\text{TJ/año}]$$

Producción de Cemento: Se necesita la producción de cemento en cada clúster, que debería corresponder a la suma de la producción de cada una de las plantas contenidas dentro del clúster. Dado que se carece de ese detalle de datos, pero se cuenta con la capacidad instalada de cada

una de las plantas, se calculará el factor de uso f_{uso} de las plantas a nivel país dividiendo la capacidad instalada total del país por la producción total del país. Ese factor multiplicará la capacidad instalada total del clúster y nos entregará una aproximación de la producción total en ese clúster.

Esta aproximación asume que todas las plantas operan con el mismo factor de uso, lo cual no necesariamente será cierto en la práctica, pero es una generalización necesaria para la aplicación de la metodología. En el **Gráfico 59** presenta los valores de f_{uso} para los países de ALyC para el año 2019, año para el cual se cuenta con datos de capacidad instalada.

$$\text{CementoProducido}_i = \text{CapacidadInstalada}_i \times f_{\text{uso}}$$

Donde

CementoProducido_i:

Producción anual de cemento en el clúster **i**.

CapacidadInstalada_i:

Capacidad instalada total de las plantas dentro de un clúster **i**. Incluye tanto molinos como plantas integradas.

f_{uso} :

Factor de uso de la capacidad instalada de producción de cemento de un país.

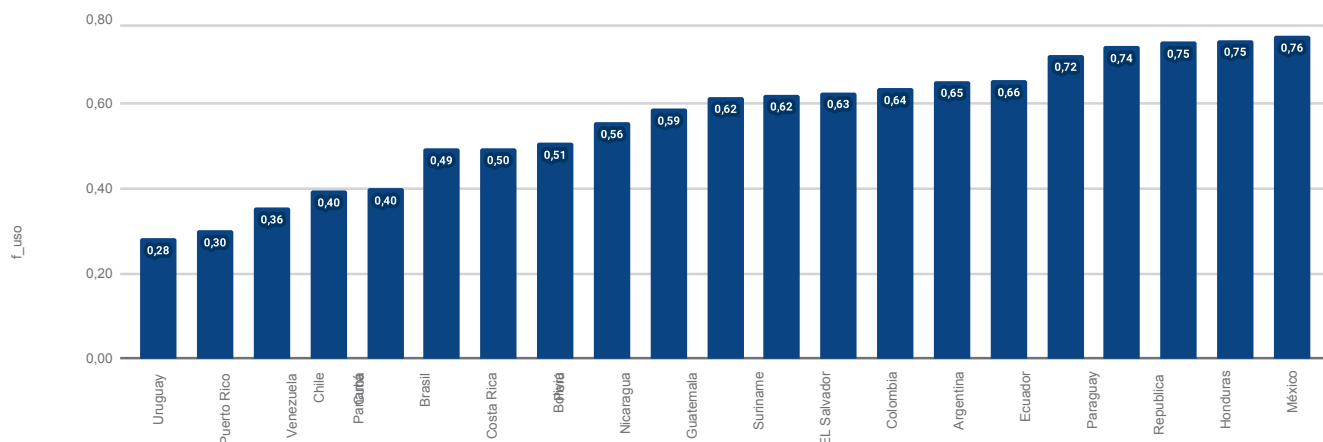


Gráfico 57: Factor de uso de la capacidad instalada como el cociente entre la capacidad instalada total del país y la producción de cemento anual. **Fuente:** elaboración propia.

Para proyectar la producción de cemento al año 2030 y al 2050 se examinó series de datos de producción y consumo de cemento de países de ALyC desde el año 2006, sus valores per cápita y la correlación con el producto interno bruto. Los resultados no lograron ser

consistentes y se encontraron situaciones muy dispares como se presentan en el Gráfico 61, donde Bolivia correlaciona bien la producción de cemento con el PIB y Panamá tiene una correlación positiva en un período hasta 2014 y una correlación negativa en adelante.

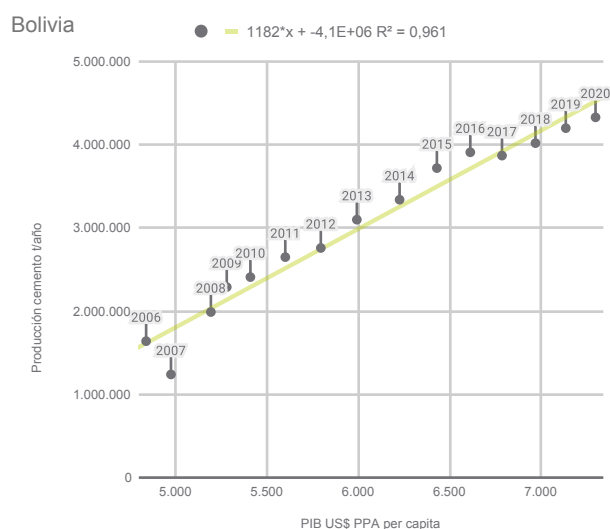
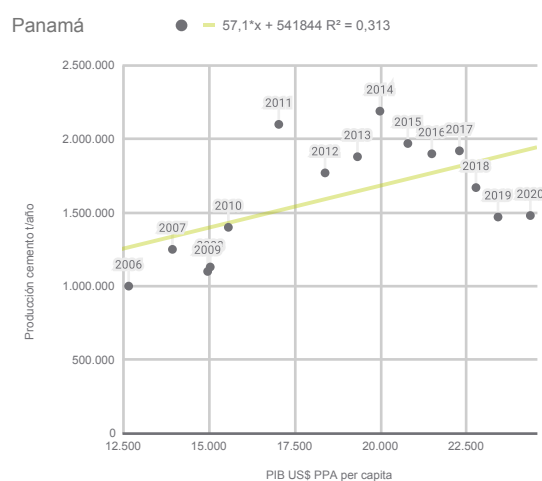


Gráfico 58: Gráficos de dispersión de producto interno bruto per cápita de los países de ALyC y la producción de cemento. Fuente CEMNET.

Por otro lado, el stock de cemento en uso en Latinoamérica es un tercio del de Europa (**Gráfico 62**) y su crecimiento ha sido lento en las últimas décadas comparado con otras zonas como Europa, Medio oriente o China (**Gráfico 63**). El stock de cemento en uso de cemento se considera una representación física explícita de la prestación de servicios frente a las diversas necesidades humanas en sociedades maduras, que incluyen refugios, redes de transporte, fábricas, oficinas, así como instalaciones

comerciales, educativas, sanitarias y gubernamentales. Para contar con proyecciones más elaboradas del crecimiento de la producción de cemento se requiere de un modelo que considere las estrategias de desarrollo de los países de ALyC, su rezago en relación a Norteamérica, Europa o Asia Desarrollada, además de series más largas de datos, para evitar que momentos de inestabilidad en la vida de los países haga predecir tendencias erróneas.

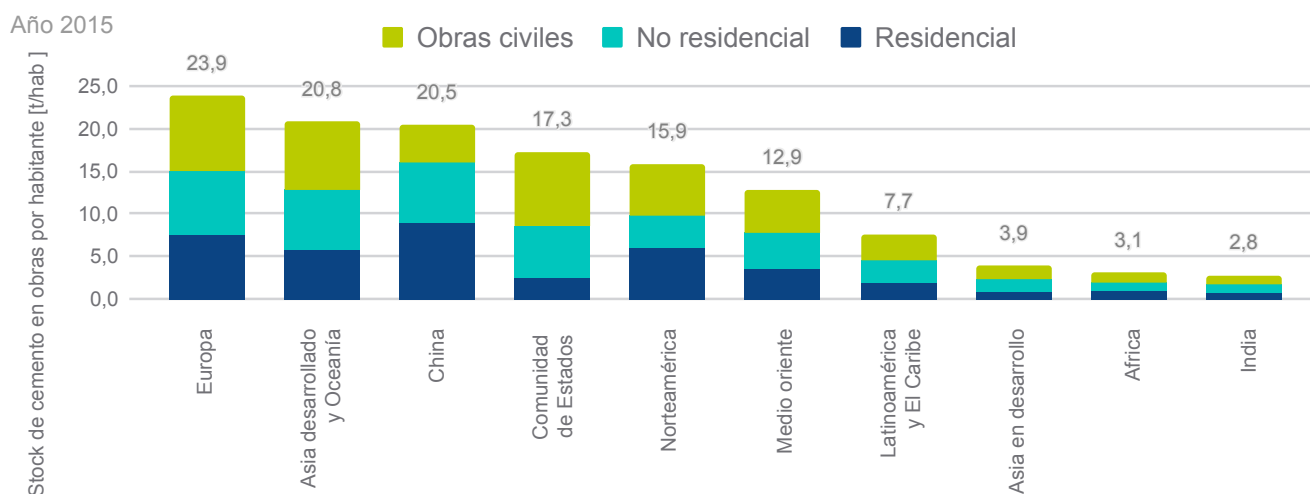


Gráfico 59: Stock de cemento per cápita en uso, por región, para el año 2014. **Fuente** [CEO et al]

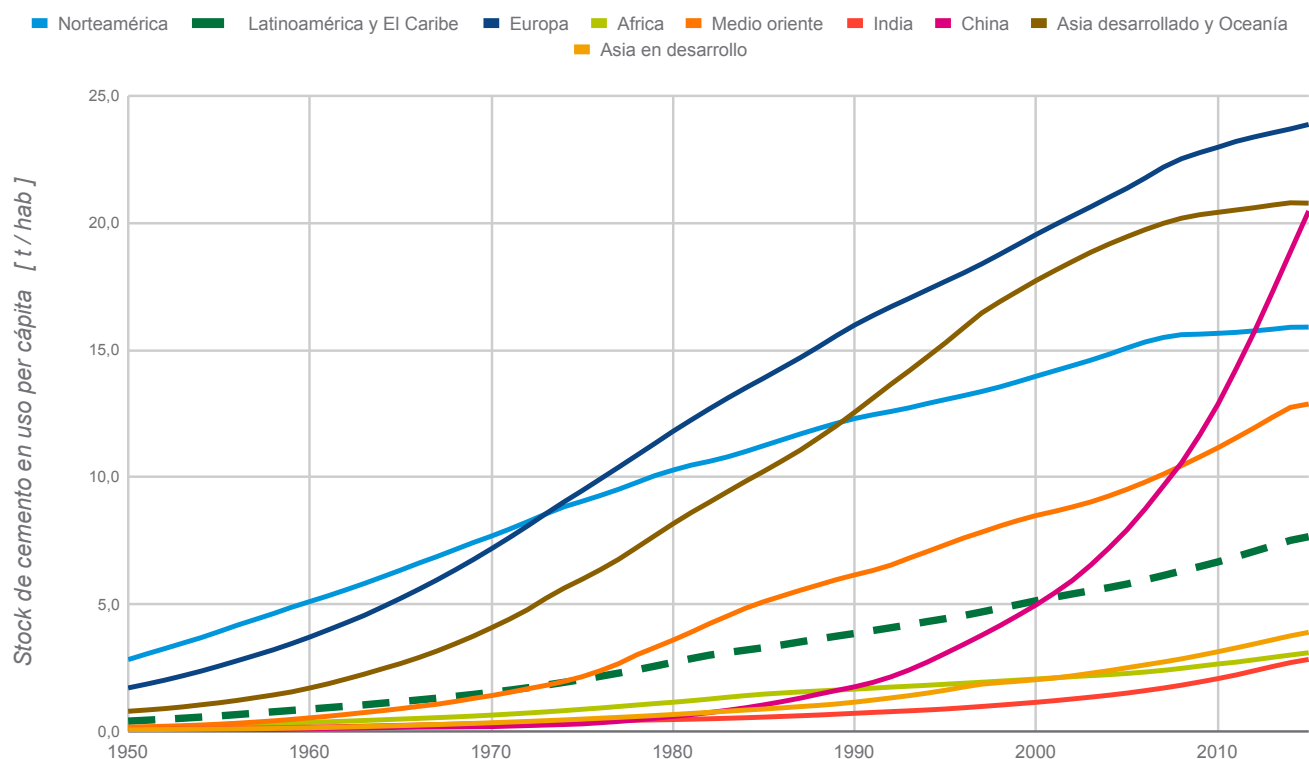


Gráfico 60: Stock de cemento en uso per cápita, por región entre 1950 y 2015. [CEO et al]

Se adoptará entonces un escenario de criterio experto de FICEM para la producción de cemento, que será asignar un crecimiento de 2% entre los años 2020 y 2030 y 1% hasta el año 2050. Para esto se tomará como base el año 2018 de producción de cemento y se proyectará los valores de producción a los años 2030, 2040 y 2050. Como se aprecia en el **Gráfico 64**, es un escenario conservador de crecimiento, pero mayor al proyectado en economías desarrolladas. En la medida que se disponga de proyecciones más refinadas se pueden incluir en la metodología a nivel de países, clústeres o a nivel de planta.

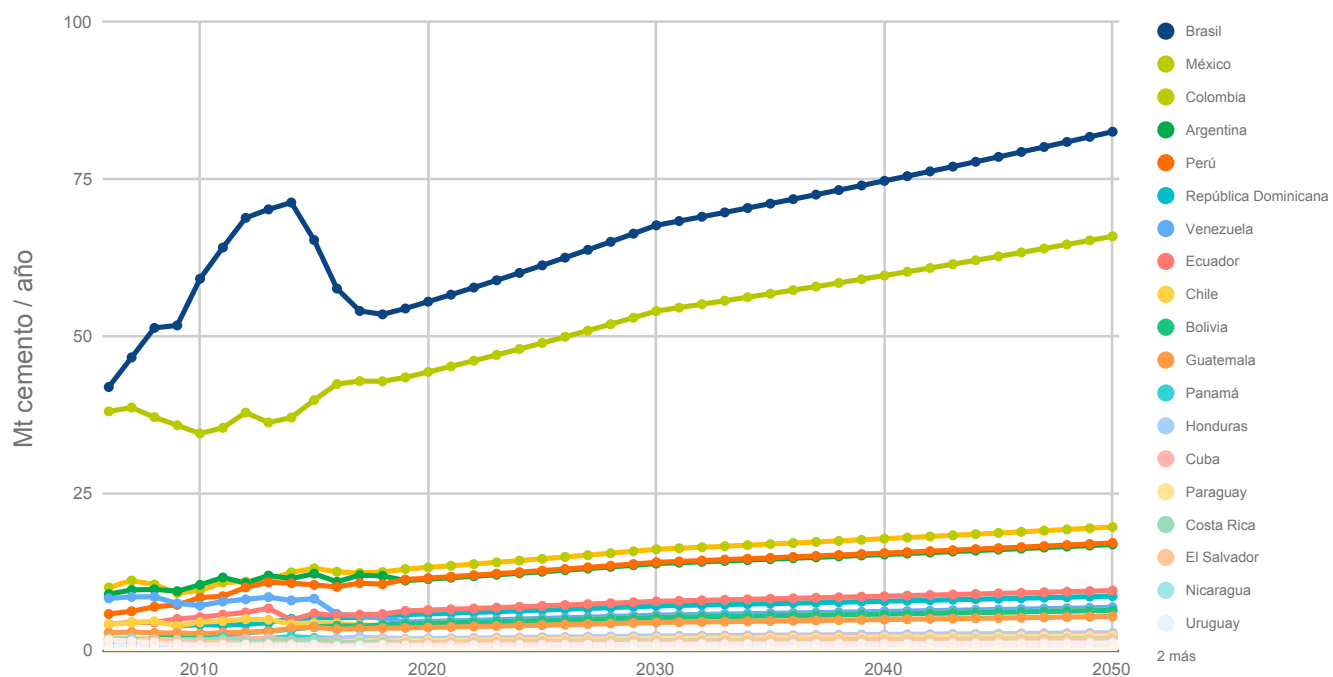


Gráfico 61: Proyección de producción de cemento para los países de Latinoamérica y El Caribe de acuerdo a escenario de criterio experto FICEM de 2% de crecimiento anual entre 2020 y 2030 y de 1% de crecimiento anual entre 2031 y 2050. **Fuente:** Elaboración propia.

Los parámetros técnicos de factor clínker y consumo térmico específico para el año 2030 y 2050 se toman de la “Technology Roadmap - Low-Carbon Transition

in the Cement Industry” para el escenario 2DS caso de baja variabilidad, presentados en la **Tabla 10**.



Tabla 33: Demanda energética en TJ/año de las plantas integradas de los países de América Latina y El Caribe para los años 2030 y 2050 y para los tres tamaños de clústeres.

PAÍS	2030	2040	2050
Brasil	114.738	120.981	123.297
México	111.476	117.542	119.792
Perú	28.776	30.341	30.922
Colombia	26.616	28.064	28.601
Argentina	22.858	24.101	24.563
Ecuador	15.084	15.905	16.209
República Dominicana	13.062	13.772	14.036
Venezuela	11.478	12.103	12.334
Bolivia	10.446	11.014	11.225
Guatemala	8.324	8.777	8.945
Chile	5.463	5.761	5.871
Honduras	4.832	5.095	5.192
Panamá	3.769	3.974	4.050
Cuba	3.542	3.735	3.806
El Salvador	2.902	3.060	3.118
Costa Rica	2.354	2.482	2.529
Puerto Rico	1.444	1.523	1.552
Paraguay	1.420	1.498	1.526
Uruguay	1.232	1.299	1.324
Nicaragua	636	671	684

5.2.1.3. Potencial de valorización

El porcentaje de la demanda energética de las plantas cementeras, que puede ser cubierto con la oferta energética de los RSU, es el potencial de valorización de RSU y puede interpretarse también como el coprocesamiento máximo alcanzable con RSU para una planta, clúster, países, compañía, etc. Considerando que carece de sentido un coprocesamiento mayor al 100%, se utilizará también el potencial “normalizado” que mantiene en 100% aun cuando la oferta disponible de energía supere a la demanda energética.

En los **gráficos 62 y 63** se presenta los potenciales máximos de valorización si todos los residuos energéticos identificados (papeles, cartones, plásticos y caucho) fueran destinados a recuperación energética en plantas cementeras, sin normalizar y normalizado a un máximo de 100%. La cantidad de residuos aumenta a una mayor velocidad que el crecimiento de la demanda energética de la industria y entonces al 2030, aun considerando áreas de 50K de radio de influencia, se cubriría sobre el 80% de la demanda.

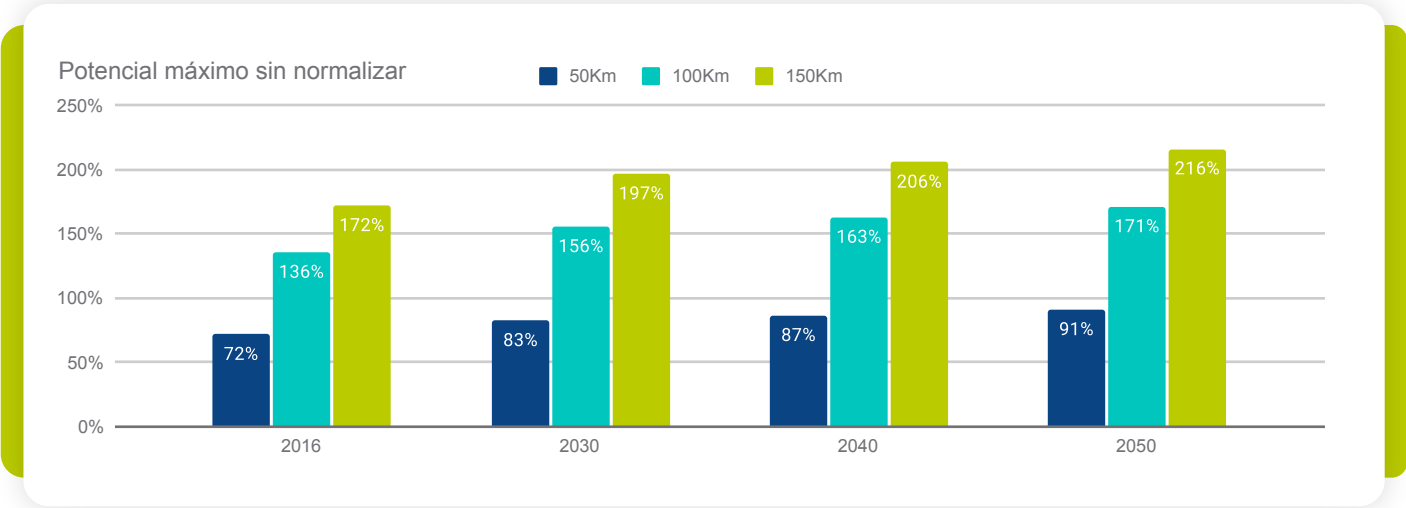


Gráfico 62: Potencial de valorización máxima sin normalizar de RSU en plantas cementeras en ALyC para clústeres con radios de influencia de 50, 100 y 150 Km, para el año 2016 y bajo proyección para los años 2030, 2040 y 2050. **Fuente:** elaboración propia.

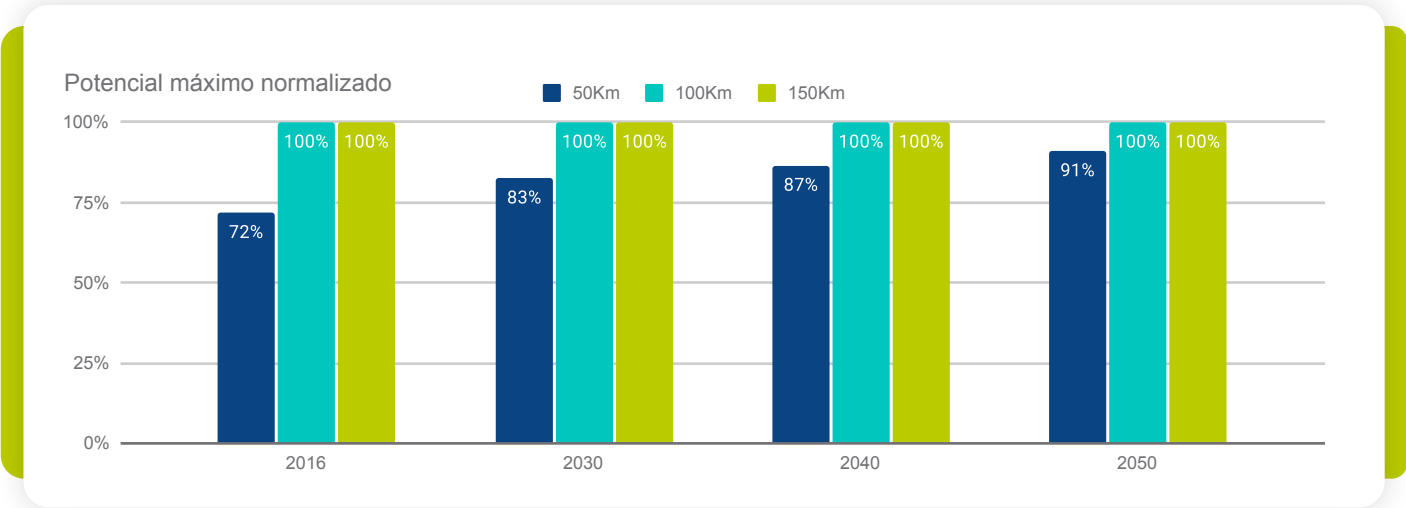


Gráfico 63: Máximo coprocesamiento posible o Potencial máximo normalizado de valorización de RSU en plantas cementeras en ALyC para clústeres con radios de influencia de 50, 100 y 150 Km, para el año 2016 y bajo proyección para los años 2030, 2040 y 2050. **Fuente:** elaboración propia.

En los gráficos 64, 65 y 66 se muestra el potencial máximo normalizado de coprocesamiento para el año base 2016 y los años proyectados 2030, 2040 y 2050 bajo tres escenarios de tasas de reciclaje y recuperación. En el peor de los casos para el coprocesamiento, podría llegar al 9% al año 2050, con un 90% de tasa de reciclaje y para la población a menos de 50 Km de la planta. Si se considera distancias hasta 150km, se puede llegar al 22% de coprocesamiento solo a partir de RSU y sin considerar aún la parte orgánica de los RSU y otros tipos de residuos industriales.

Clústeres 50 Km

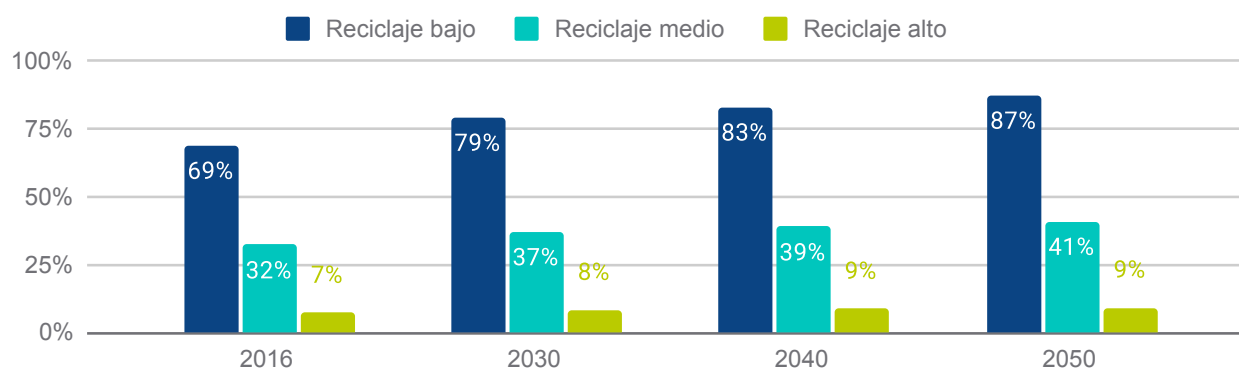


Gráfico 64: Potencial máximo de coprocesamiento para los años 2016, 2030, 2040 y 2050, considerando clústeres de 50Km, para tres escenarios de reciclaje bajo (4%), medio (55%) y alto (90%).

Clústeres 100Km

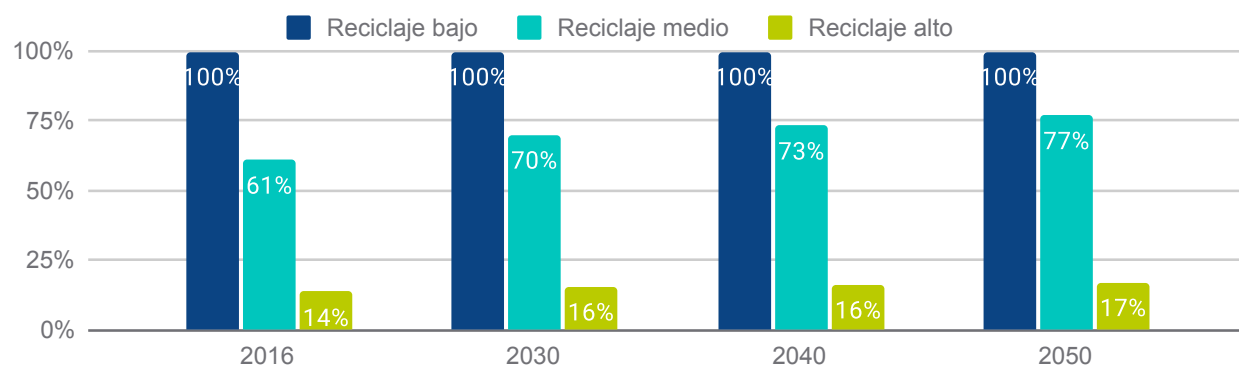


Gráfico 65: Potencial máximo de coprocesamiento para los años 2016, 2030, 2040 y 2050, considerando clústeres de 100Km, para tres escenarios de reciclaje bajo (4%), medio (55%) y alto (90%).

Clústeres 150Km

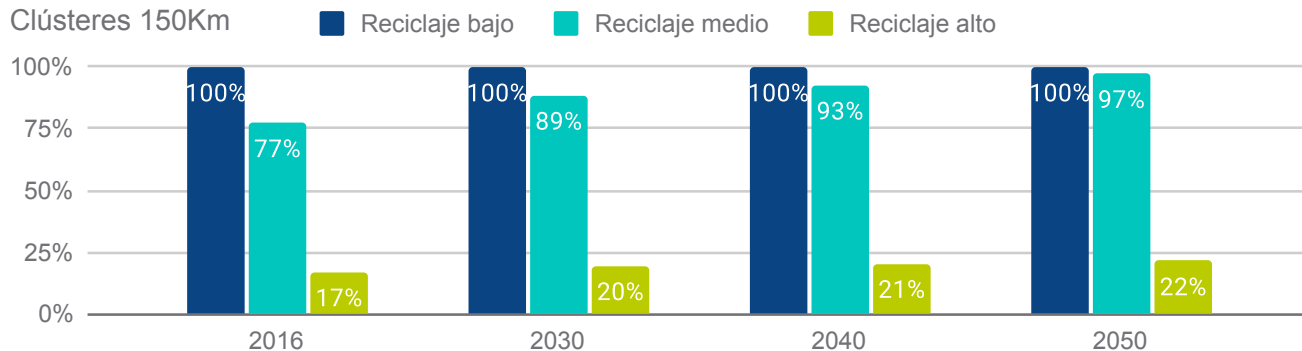


Gráfico 66: Potencial máximo de coprocesamiento para los años 2016, 2030, 2040 y 2050, considerando clústeres de 100Km, para tres escenarios de reciclaje bajo (4%), medio (55%) y alto (90%).

Considerando que la tasa de reciclaje y recuperación puede evolucionar en el tiempo, especialmente considerando el bajo nivel que exhibe ALyC en esta materia, se plantean dos trayectorias de evolución de la tasa de reciclaje y recuperación, que consisten en llevar el nivel actual a una tasa de 90% de reciclaje y recuperación al año 2050, denominada trayectoria optimista, y llevar el

nivel actual a una tasa de 40% de reciclaje y recuperación al año 2050, denominada trayectoria conservadora. Los gráficos 67 y 68 presentan los potenciales máximos de coprocesamiento a partir de RSU en función de la disponibilidad que dejan las trayectorias de reciclaje y recuperación, bajo la condición, como ya se ha señalado, que no exista formas de disposición en suelo, sin recuperación.

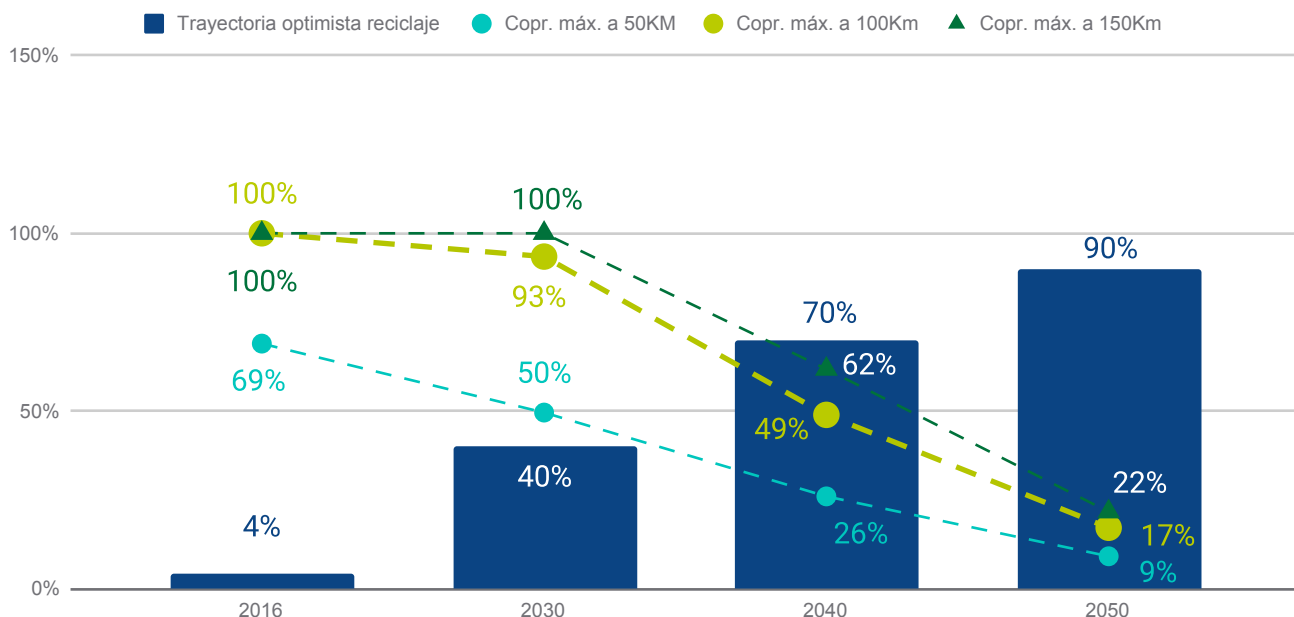


Gráfico 67: Máximo potencial de coprocesamiento (sin normalizar) a partir de RSU, en Latinoamérica y El Caribe, en función de una trayectoria de aumento de tasa de reciclaje optimista de alcanzar el 90% al año 2050.



Gráfico 68: Máximo potencial de coprocesamiento (sin normalizar) a partir de RSU, en Latinoamérica y El Caribe, en función de una trayectoria de aumento de tasa de reciclaje y recuperación conservadora, de alcanzar 40% al año 2050.

Clústeres 50 Km / Año 2030

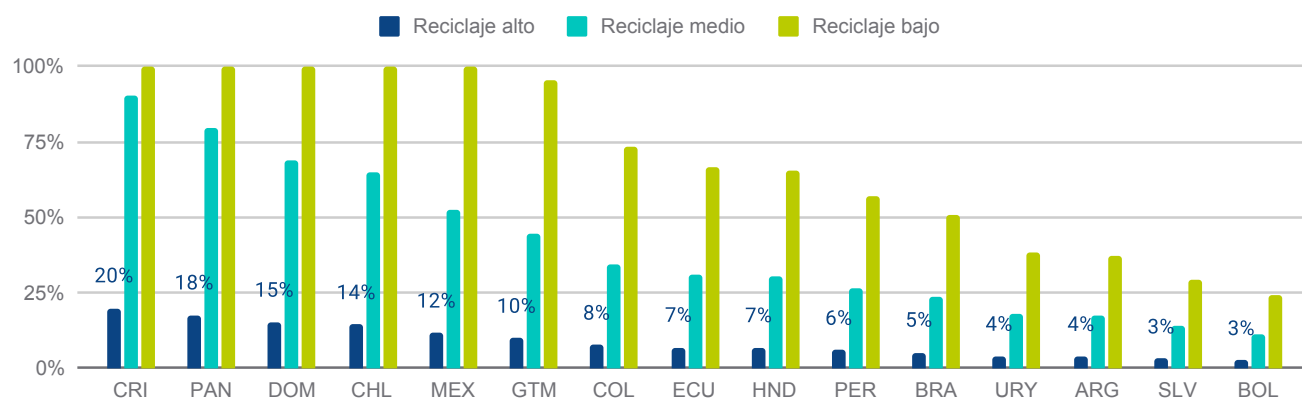


Gráfico 69: Potencial máximo de coprocesamiento de RSU al año 2030, para clústeres de 50Km de radio de influencia y tres escenarios de tasa de reciclaje; reciclaje alto (90%), reciclaje medio(55%) y reciclaje bajo(4%)

Clústeres 100 Km / Año 2030

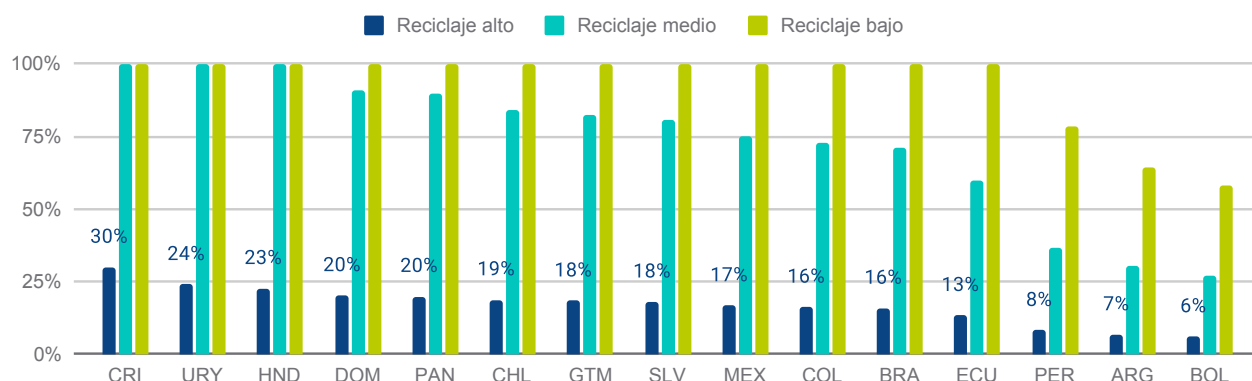


Gráfico 70 : Potencial máximo de coprocesamiento de RSU al año 2030, para clústeres de 100Km de radio de influencia y tres escenarios de tasa de reciclaje; reciclaje alto (90%), reciclaje medio(55%) y reciclaje bajo(4%).

Clústeres 150 Km / Año 2030

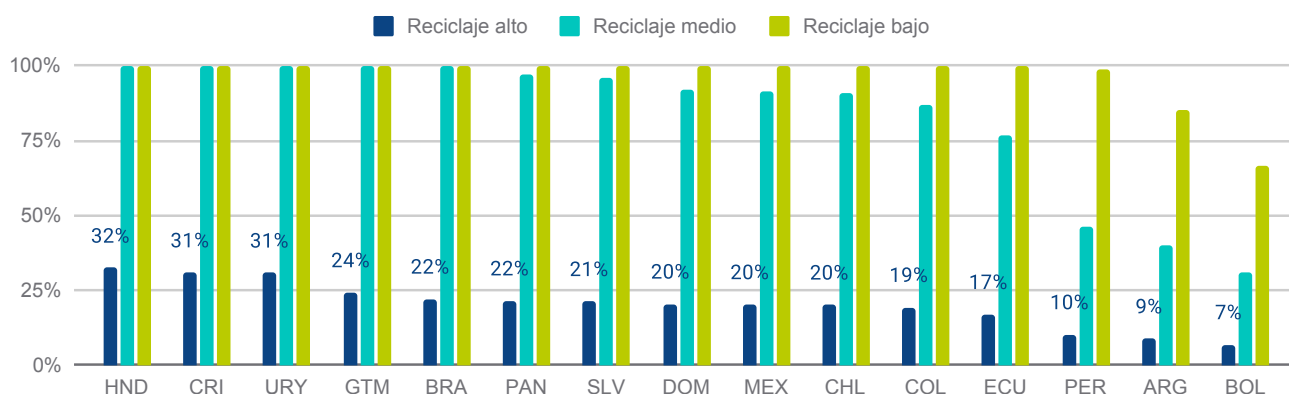


Gráfico 71 : Potencial máximo de coprocesamiento de RSU al año 2030, para clústeres de 150Km de radio de influencia y tres escenarios de tasa de reciclaje; reciclaje alto (90%), reciclaje medio(55%) y reciclaje bajo(4%).

En los gráficos 69, 70 y 71, se presenta el potencial máximo de coprocesamiento para distintos países de ALyC, al año 2030, para clústeres con radios de influencia de 50, 100 y 150 Km respectivamente y bajo tres escenarios de tasas de reciclaje y recuperación de 4%, 55% y 90%. Esto como ya se ha señalado, sólo considerando papeles, plásticos, madera y caucho en los RSU.

5.2.2. Neumáticos fuera de uso (NFU)

Para la estimación del potencial de valorización energética de los NFU se aplica un procedimiento similar al caso de RSU, estableciendo la oferta de NFU al año 2030 mediante la multiplicación de la tasa de

generación por la población dentro de clústeres considerando un radio de influencia de 100 km y un poder calorífico de los NFU de 29 G/t. Esto se muestra en la **Tabla 34**.



Tabla 34: Oferta de NFU en toneladas/año en energía TJ/año, considerando las tasas de generación de NFU presentadas en la tabla 24 y la población en las áreas buffer de 100 km de plantas cementeras.

PAÍS	Tasa de generación de NFU [Kg/hab/año]	Población en Áreas Buffer 2030 [hab]	Generación de NFU [t/año]	Oferta energética NFU [TJ/año]
Argentina	3,8	6.987.426	26.403	766
Bolivia	1,7	7.525.616	12.969	376
Brasil	3,1	97.084.612	297.681	8.633
Chile	4,6	11.301.206	52.114	1.511
Colombia	2,9	38.038.246	109.187	3.166
Costa Rica	3,3	5.005.954	16.498	478
Ecuador	2,4	14.019.961	33.042	958
El Salvador	1,8	4.666.664	8.192	238
Guatemala	1,8	14.441.810	26.290	762
Honduras	1,3	6.705.679	8.708	253
México	3,8	86.483.776	327.700	9.503
Nicaragua	1,3	3.405.494	4.595	133
Panamá	4,6	2.859.718	13.154	381
Paraguay	2,6	3.447.120	9.039	262
Perú	2,8	19.240.554	53.069	1.539
Puerto Rico	6,8	3.116.000	21.285	617
República Dominicana	3,4	11.588.742	39.657	1.150
Uruguay	4,2	2.249.541	9.448	274
Venezuela	2,2	25.912.196	57.039	1.654

La demanda energética es exactamente la misma que para el caso de RSU y se calcula la máxima valorización posible, la cual se presenta en el **Gráfico 72**.

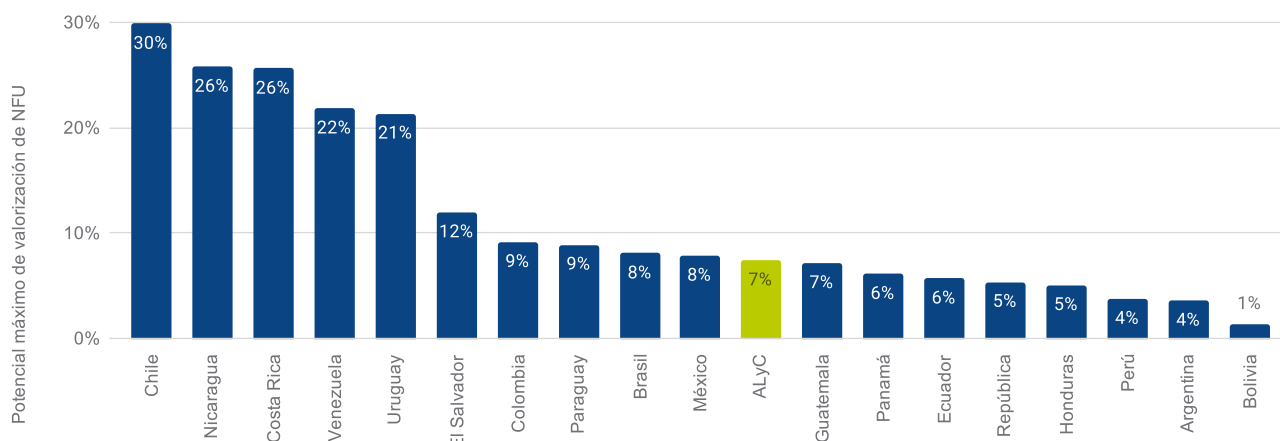


Gráfico 72. Potencial máximo de valorización de neumáticos fuera de uso NFU en hornos cementeros al año 2030. Fuente: Elaboración propia.

5.2.3. Cenizas de termoeléctricas

Para el ejercicio de valorización de cenizas volantes en la fabricación de cemento como un componente mineral, se tienen las siguientes consideraciones, respecto de los ejercicios anteriores:

- Se consideran todas las plantas cementeras, tanto molindas como integradas. A diferencia del coprocesamiento, que es aplicable a plantas integradas con horno de clinkerización, la valorización como componentes minerales es aplicable a todas las plantas que producen cemento.
- Se considera valorizable el total de la generación de cenizas de cada país.
- Para el análisis se utilizará la estadística de generación de cenizas del año 2016, sin tener en cuenta la proyección de crecimiento o caída de este residuo, dado el escenario incierto en la generación de energía eléctrica a través de carbón. Lo anterior dada la descarbonización de las matrices eléctricas en gran parte de los países.
- Estimaciones más exactas debieran considerar tanto los mencionados efectos de descarbonización como la valorización de los pasivos de cenizas acumulados.
- Por último, se debe analizar la logística involucrada para incorporar la ceniza en el producto, dado que este residuo también puede ser incorporado posterior a la etapa de molienda y/o en la producción del concreto.

La oferta de cenizas está dada entonces por la cantidad total de cenizas producidas, como se indicó en la **Tabla 35**.

Para determinar la máxima demanda de cenizas se asume el máximo porcentaje de este material que puede llevar el cemento de acuerdo con el apartado **“Technology Paper No. 34: Further reduction of**

clinker content in cement by use of fly ash” del informe *CSI/ECRA-Technology Papers 2017 - Development of State of the Art Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead* de ECRA, que indica que el contenido de cenizas volantes está usualmente limitado del 25% al 35%. Para el presente ejercicio se tomará el valor de 30%.



Tabla 35: Resumen de proyección de potencial de valorización de cenizas como adición al cemento de acuerdo con la tasa de generación de ceniza para el año 2016 y la producción de cemento para el 2030

PAÍS	Producción Cemento 2030 [t/año]	Generación de cenizas [toneladas]	Máxima demanda de ceniza[t/año]	Potencial de valorización de cenizas
México	52.352.159	1.377.263	15.705.648	8,77%
Brasil	65.921.428	1.087.550	19.776.428	5,50%
Chile	4.238.396	1.057.144	1.271.519	83,14%
Colombia	16.564.866	290.078	4.969.460	5,84%
Argentina	13.268.733	164.145	3.980.620	4,12%
República Dominicana	8.736.849	100.649	2.621.055	3,84%
Guatemala	4.599.990	75.406	1.379.997	5,46%
Panamá	2.188.286	27.927	656.486	4,25%
Perú	18.438.198	12.683	5.531.459	0,23%

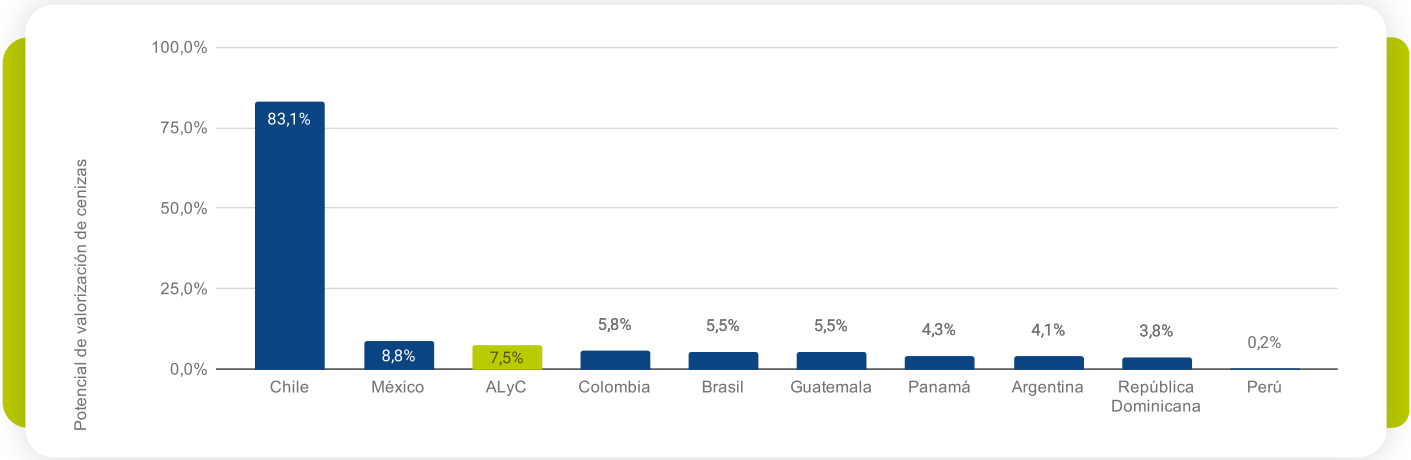


Gráfico 74: Máximo potencial de valorización de cenizas como componente mineral para la fabricación de cemento para plantas cementeras en Latinoamérica y El caribe y en países que cuentan con plantas de generación eléctrica a carbón.

A person wearing a green glove is holding a piece of brown, fibrous material, possibly a piece of wood or bark, against a green background. The material is being held in a way that shows its texture and structure.

Conclusiones y recomendaciones

CAPÍTULO

06

6.1. Conclusiones



1. En América Latina la gestión de residuos sólidos es un problema acuciante.

Anualmente, más de 36 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos no son recolectados y casi 39 millones de toneladas tienen como destino basurales o quemas a cielo abierto. Mas de 70 millones de toneladas de residuos que impactan al medio ambiente y las comunidades humanas, pueden ser aprovechables vía reciclaje, compostaje u otras formas de eliminación con recuperación energética

2. Las plantas cementeras son cercanas a los grandes centros de población.

Alrededor del 50% de la población de América Latina y El Caribe habita dentro del radio de 100 km de alguna planta cementera y un 65% a una distancia menor a 150km. Las plantas cementeras, mayoritariamente se ubican a mediana distancia de grandes centros poblados y por lo tanto con acceso a una oferta energética en residuos sólidos urbanos.

3. El coprocesamiento es la forma superior de tratamiento térmico de residuos.

El coprocesamiento es una solución superior a otras formas de tratamiento térmico como waste to energy o incineración sanitaria, porque no genera nuevos residuos ni requiere inversiones y costos de combustible adicionales. Por las temperaturas de trabajo y los tiempos de retención, garantiza la eliminación de todos los patógenos y por sus requerimientos operativos, están sujetos a mayores controles operacionales y ambientales que incineradores de menor envergadura, principalmente cuando las reglamentaciones para incineradores no sean suficientemente robustas o controlables. Conserva de éstos la desventaja potencial de desviar residuos reciclables y en Latinoamérica acarrear un problema social con los recicladores informales. Cualquier estrategia de potenciamiento del coprocesamiento debe incluir mecanismos de cooperación y complementariedad con recicladores, procurando, además, un impacto positivo en las comunidades vinculadas.

4. En ALyC la valorización energética puede permitir la disminución de RSU en rellenos sanitarios o en basurales.

Los Combustibles Derivados de Residuos (CDRs) elaborados a partir de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) son el principal combustible alternativo

para la industria del cemento en Europa (14% de participación), continente que además posee la tasa más baja del mundo en disposición de residuos en rellenos, que en su mayor parte son reutilizados o valorizados de distintas formas. El coprocesamiento puede ser en América Latina y El Caribe una importante herramienta para la disminución de residuos en rellenos sanitarios o en basurales.

5. El uso de residuos como combustibles alternativos es un importante eje de reducción de Gases Efecto Invernadero (GEI).

El sector de residuos es responsable de aproximadamente el 5% del total de los gases de efecto invernadero, principalmente por efecto de la producción de metano y CO₂ en los procesos de digestión biológica. Por otro lado, el uso de combustibles en la industria del cemento representa alrededor del 3% de los GEI a nivel global. El coprocesamiento es una forma de evitar al menos una de estas dos formas de emisión de GEI, reemplazando los combustibles fósiles en la industria del cemento por combustibles a base de residuos, que ya no llegaran a un relleno sanitario o a un basural. Además, parte del contenido de los residuos es carbono biogénico y por tanto de emisiones netas neutras.

6. Bajo costo de disposición de residuos en rellenos en ALyC.

En ALyC la disposición de 1 tonelada de residuos en un relleno sanitario o vertedero controlado oscila entre los 5 y los 20 US\$ [ONU 2018] mientras que en Europa está más cerca de los 100 US\$ [World Bank 2018]. El bajo costo de disposición de ALyC solo considera los requerimientos materiales para su gestión, pero no cuantifica los impactos al medio ambiente y las comunidades humanas, por lo tanto, no actúa como un incentivo hacia formas superiores de gestión de residuos. De no ser posible aumentar el costo de disposición en rellenos, debiera facilitarse vía legislación, el uso de residuos como combustibles alternativos, para que sea costo efectiva para la industria frente a la tendencia a la baja que experimentan los combustibles fósiles.

7. La valorización de residuos en la industria del cemento encausa la gestión hacia la economía circular.

La valorización de residuos industriales tales como cenizas, escorias, aceites fuera de uso, lodos o llantas fuera de uso, en reemplazo de combustibles y materias primas tradicionales, permiten la integración de la industria del cemento con otras industrias (acero, energética, sanitaria, minera, agrícola, automotriz), evitar que parte de las materias que otras industrias deben eliminar, no sean liberadas al ambiente y sean reinyectados a la cadena productiva, en el despliegue de la económica circular.

8. RSU pueden cubrir la demanda térmica de las plantas cementeras en ALyC.

Considerando la población a 100Km de las plantas cementeras integradas, y las condiciones actuales de disposición de residuos en ALyC, la disponibilidad energética en papeles, cartones, plásticos y caucho supera la demanda de las plantas. Aún, si la tasa de reciclaje y recuperación aumentara a niveles como la de Europa (45%), habría RSU suficientes para cubrir el 86% de la demanda térmica de las plantas, 45% si se considera solo a la población a menos de 50Km. Si el reciclaje y recuperación aumentara al 90%, el 10% restante de RSU permitiría cubrir desde un 8%, un 16% o un 20% de los requerimientos energéticos si se consideran radios de 50km, 100km o 150km de radio de influencia respectivamente.

9. Los NFU pueden aportar entre un 6,3% y un 7,4% de los requerimientos energéticos de la industria cementera en ALyC.

Esto considerando solo la generación de NFU a una distancia de 100Km y 150Km respectivamente, como promedio ponderado para América Latina y El Caribe. Esto significa entre el 50% y el 65% de los neumáticos fuera de uso NFU que se generan en la región.

10. 7,5% de las adiciones minerales necesarias para el cemento pueden ser cubiertas con cenizas.

Considerando un máximo de 35% de adiciones minerales en el cemento, un 7,5% de ese valor, es decir, un 2,6% de una tonelada de cemento, puede corresponder a ceniza, para aquellos países con plantas termoeléctricas a carbón, y bajo la premisa de utilizar el 100% de la ceniza disponible. Este valor se mueve entre 3 y 5%, salvo para el caso de Chile, donde la ceniza puede cubrir un 83% de la demanda de adiciones al cemento. Si bien, las centrales termoeléctricas a carbón están en proceso de retirada de las matrices energéticas, las cantidades de cenizas enterradas, como pasivo ambiental, pueden de igual manera cubrir esta demanda, considerando las décadas de operación de estas centrales.

11. Coprocesamiento de lodos de plantas depuradoras como residuo emergente para valorización energética.

Se debe prestar atención a la evolución de la infraestructura sanitaria y el marco regulatorio en la región, con miras a incorporar los lodos de plantas depuradoras como combustibles alternativos para hornos cementeros, siguiendo el ejemplo de Reino Unido, donde un 13,6% de la demanda de energía térmica de las plantas cementeras es cubierta por este combustible alternativo.

12. Es necesario conciliar políticas públicas, alianzas público-privadas y la capacidad de visión de la industria cementera para evitar que los residuos queden sin recolección y se dispongan en rellenos sanitarios, mientras se mantiene el consumo de combustibles fósiles tradicionales.

Las estrategias de gestión de residuos de los países deben considerar los preceptos de la jerarquía de residuos en orden a promover formas de eliminación con recuperación por sobre formas de eliminación sin recuperación, mas aún considerando la limitada capacidad instalada de rellenos sanitarios de altos estándares.

Foto

6.2. Recomendaciones

1. Fomentar acuerdos con recicladores en el marco de las leyes REP.
2. Generar una guía FICEM de clasificación de residuos que se ajuste a la nomenclatura internacional, pero reconozca las características de los residuos que se generan en la región y que pueden ser valorizados energéticamente o como componentes minerales. Mejorar la categoría “Otros combustibles derivados de residuos”, indicada en el Protocolo CSI-GCCA, que acumula sobre el 40% de los combustibles alternativos en la región, pero cuya naturaleza y composición se desconoce.
3. Elaborar recomendaciones técnicas que deben cumplir aquellos residuos susceptibles de ser valorizados por la industria del cemento, que puedan ser incorporadas en las negociaciones con los generadores de los residuos o que puedan ser transmitidas a las autoridades sanitarias y ambientales de los países. Estas recomendaciones técnicas deben guiarse por criterios de economía circular, de manera de facilitar la integración entre las industrias.
4. Difundir y promover el Convenio de Basilea relacionado al Coprocesamiento de residuos peligrosos, considerando que es un documento técnico de alto nivel, cuyas directrices pueden ser extrapoladas al coprocesamiento de residuos no peligrosos.
5. Difundir y promover al coprocesamiento como una forma de eliminación con recuperación energética, superior a otras formas de tratamiento térmico y asequible para las economías de ALyC.
6. Privilegiar el uso de estadísticas locales de residuos para desarrollar ejercicios en las plantas.
7. Posicionar el coprocesamiento como parte de la solución de residuos en sectores rurales, que exhiben bajas tasas de recolección.
8. Fomentar políticas públicas para internalizar los costos ambientales de la disposición de residuos en suelos (desde basurales a rellenos sanitarios) de manera de transferir dichos costos ambientales a sus generadores y tender a una neutralización de estos costos mediante alternativas de eliminación con recuperación.
9. Continuar y profundizar el trabajo desarrollado por FICEM, orientado a la utilización de la ciencia de datos para arribar a conclusiones más robustas y mejor sustentadas en torno a las formas más eficientes y ambientalmente sostenibles de gestionar los residuos y el rol determinante de la industria del cemento en esta tarea.
10. A todos los análisis ya expuestos sobre gestión de residuos se debe incluir la de aquellos derivados de los escombros de la construcción, los cuales tienen el doble efecto de disminuir la huella de carbono y ser valorizados como material de agregado en el concreto. En efecto, según publicaciones recientes, el concreto tiene un potencial de reabsorber alrededor del 20% de las emisiones totales de CO₂ generadas durante su fabricación.



Referencias

CAPÍTULO
07

7.1. Capítulo 1

- Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación”, Katharina Kummer Peiry, United Nations Audiovisual Library of International Law, **2011**.
- Directiva Marco de Residuos de la Unión Europea (1975/442/CEE).
- Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. ONU Ambiente, **2018**.
- Propuesta de Marco Normativo Genérico sobre Gestión de Residuos y Coprocesamiento para América Latina y el Caribe” AVAL AMBIENTAL - FICEM **2017**.
- [UNEP **2011**]: Directrices técnicas sobre el coprocesamiento ambientalmente racional de los desechos peligrosos en hornos de cemento, Conferencia de las Partes en el Convenio de Basilea, 2011.
- [Banco Mundial **2018**]: What a Waste 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, World Bank Group, Banco Mundial. 2018.
- [UNEP **2019**]: Waste to energy, considerations for informed decision-making. United Nations Environment Programme, 2019.
- [2010/75/EU] Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide, Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control), Frauke Schorcht, Ioanna Kourti, Bianca Maria Scalet, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho, 2013.
- International Solid Waste Association. **(2006)**. Sanitary Landfill Working Group, Key-Issue Paper on Closing of Open Dumps. Disponible en: <http://www.iswa.org/media/publications/knowledge-base/>
- Nammari, D.R., Hogland, W., Marques, M., Nimmermark, S. and Moutavtchi, V. **(2004)** Emissions from a Controlled Fire in Municipal Solid Waste Bales. Waste Management, 24, 9-18
- K. O. Boardi & M. Kuitunen. **(2005)**. Environmental and Health Impacts of Household Solid Waste Handling and Disposal Practices in the Third World Cities: The Case of Accra Metropolitan Area, Ghana. Journal of Environmental Health, Vol. 68, No. 4, pp. 34-36.
- Ali, S. M., Pervaiz, A., Afzal, B., Hamid, N., & Yasmin, A. **(2014)**. Open dumping of municipal solid waste and its hazardous impacts on soil and vegetation diversity at waste dumping sites of Islamabad city. Journal of King Saud University-Science, 26(1), 59-65.
- Voutsas, D., Grimanis, A., & Samara, C. **(1996)**. Trace elements in vegetables grown in an industrial area in relation to soil and air particulate matter. Environmental pollution, 94(3), 325-335.
- Ecologistas en Acción. **(2017)**. Basuras marinas, plásticos y microplásticos: orígenes, impactos y consecuencias de una amenaza global. Disponible en: <https://spip.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/informe-basuras-marinas.pdf>.
- Deudero, S. & Alomar, C. **(2015)**. Mediterranean marine biodiversity under threat: Reviewing influence of marine litter on species. Marine Pollution Bulletin, 98, 58-68.
- Page, B., McKenzie, J., McIntosh, R., Baylis, A., Morrissey, A., Calvert, N., Haase, T., Berris, M., Dowie, D., Shaughnessy, P.D., Goldsworthy, S.D. **(2004)**. Entanglement of Australian sea lions and New Zealand fur seals in lost fishing gear and other marine debris before and after government and industry attempts to reduce the problem. Marine Pollution Bulletin, 49, 33-42.
- Bergmann, M., Gutow, L., & Klages, M. **(2015)**. Marine anthropogenic litter (p. 447). Springer Nature.
- Day, R. H., Wehle, D. H. S., & Coleman, F. C. **(1985)**. Ingestion of plastic pollutants by marine birds. In Proceedings of the Workshop on the Fate and Impact of Marine Debris (Vol. 2, pp. 344-386). US Dept. Commerce.

7.2. Capítulo 2

- Ambiente, O. M. **(2018)**. Perspectiva de la gestión de residuos en América Latina y el Caribe. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Oficina para América Latina y el Caribe. Ciudad de Panamá.
- International Solid Waste Association. **(2015)**. Wasted health: The tragic case of dumpsites. Vienna: International Solid Waste Association. Disponible en: https://www.iswa.org/fileadmin/galleries/Task_Forces/THE_TRAGIC_CASE_OF_DUMPSITES.pdf

- Savoca, M. S., Wohlfeil, M. E., Ebeler, S. E., & Nevitt, G. A. **(2016)**. Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Science advances*, 2(11), e1600395.
- Carson, H. S., Lamson, M. R., Nakashima, D., Toloumu, D., Hafner, J., Maximenko, N., & McDermid, K. J. **(2013)**. Tracking the sources and sinks of local marine debris in Hawai 'i. *Marine environmental research*, 84, 76-83.
- Baulch, S., & Perry, C. **(2014)**. Evaluating the impacts of marine debris on cetaceans. *Marine pollution bulletin*, 80(1-2), 210-221.
- Laist, D. W. **(1997)**. Impacts of marine debris: entanglement of marine life in marine debris including a comprehensive list of species with entanglement and ingestion records. In *Marine debris* (pp. 99-139). Springer, New York, NY.
- Simmonds, M. P. **(2012)**. Cetaceans and marine debris: the great unknown. *Journal of Marine Biology*, 2012.
- Shaw, D. G., & Day, R. H. **(1994)**. Colour-and form-dependent loss of plastic micro-debris from the North Pacific Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 28(1), 39-43.
- Eriksson, C., & Burton, H. **(2003)**. Origins and biological accumulation of small plastic particles in fur seals from Macquarie Island. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 32(6), 380-384.
- Intergovernmental Panel of Climate Change. **(2006)**. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. *Desechos*, 5.
- Allsopp, M., Costner, P., & Johnston, P. **(2001)**. Incineración y salud: conocimientos actuales sobre los impactos de las incineradoras sobre la salud humana. *Greenpeace España*.
- Magagni A., Boschi G., Cocheo V. and Schiavon I. **(1994)**. Fly ash produced by hospital and municipal solid waste incinerators: presence of PAH, PCB and toxic heavy metals. *Organohalogen Compounds* 20: 397-400.
- Kawakami I., Sase E., Tanaka M. and Sato T. **(1998)**. Dioxin emissions from incinerators for sludge from night soil treatment plants. *Organohalogen Compounds* 36: 213-216.
- Buchholz B. A. and Landsberger S. **(1995)**. Leaching dynamics studies of municipal solid waste incinerator ash. *Journal of Air and Waste Management Association* 45: 579- 590.

7.3.

Capítulo 3

- Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación”, Katharina Kummer Peiry, United Nations Audiovisual Library of International Law, **2011**.
- Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento”, **2011**.
- Guías de Sostenibilidad para Coprocesar Combustibles y Materias Primas en la Fabricación de Cemento, GCCA, **2019**.
- Hoja de Ruta FICEM Hacia una Economía baja en Carbono, FICEM, **2017**.
- Technology Roadmap Low-Carbon Transition in the Cement Industry, **2018**.
- GNR – GCCA in Numbers. Global Cement and Concrete Association, <https://gccassociation.org/gnr/>. accedido 23-07-**2020**.

7.4.

Capítulo 4

- Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación”, Katharina Kummer Peiry, United Nations Audiovisual Library of International Law, **2011**.

[IPCC AR5 **2014**]

Directivas Europeas: **1999/31/CE**, **2008/98/CE** y **2010/75/UE**

Estructura Normativa de Residuos, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, Argentina, **2017**.

Legislación Internacional Aplicable a la Valorización Energética de los Residuos y el Coprocesamiento, AVAL AMBIENTAL- FICEM **2017**.

- Perspectiva de la Gestión de Residuos en América Latina y el Caribe. ONU Ambiente, **2018**.
- Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos **2016-2024**, Ministerio del Ambiente, Perú.
- Propuesta de Marco Normativo Genérico sobre Gestión de Residuos y Coprocesamiento para América Latina y el Caribe” AVAL AMBIENTAL-FICEM **2017**.
- Proyecto de Norma IRAM 29600 Argentina.
- Responsabilidad Extendida del Productor. Estudio Regional sobre la figura REP en América Latina y El Caribe en comparación con Alemania y España bajo el Marco Legal de la Unión Europea” GIZ-Gobierno-R. Dominicana, **2018**.
- Situación y potencial de valorización energética directa de residuos. Estudio Técnico PER **2011-2020**. Madrid, 2011 Autores: RESA: Armengol Grau, Oriol Farré.
- What a Waste 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to **2050**, World Bank Group, Banco Mundial.
- “Global ELT Management – A global state of knowledge on regulation, management systems, impacts of recovery and technologies”, WBCSD y Tire Industry Project, 2019.
- World Economic Outlook, International Monetary Fund.
<https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2020/October/download-entire-database>.
Accedido 01-08-2020
- “A Global Database of Power Plants”. World Resources Institute WRI. 2019.
- CSI/ECRA-Technology Papers 2017 - Development of State of the Art Techniques in Cement Manufacturing: Trying to Look Ahead . ECRA. 2018.
- What a Waste 2.0, A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050, World Bank Group, Banco Mundial.

7.5.

Capítulo 5

- World Population Prospects **2019**, Department of Economic and Social Affairs, Population Dynamics, United Nations, 2019.
<https://population.un.org/wpp/Download/Standard/Population/>
- Center for International Earth Science Information Network - CIESIN - Columbia University. 2013. Environmental Treaties and Resource Indicators (ENTRI) Query Service. Palisades, NY: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). <http://sedac.ciesin.columbia.edu/entri>.
Accedido 26-11-2020
- Plants Location, <https://www.cemnet.com/>.
Accedido 26/11/2020.
- Global Cement Report 13, December 2019 Database, <https://www.cemnet.com/>, Accedido 26/11/2020.
- National Minerals Information Center, USGS, <https://www.usgs.gov/centers/nmic/cement-statistics-and-information> . Accedido 26/11/2020.

Anexos

CAPÍTULO 08

8.1.

Normativas asociadas a la gestión de residuos por país

8.1.1. Argentina

Normas de Gestión de Residuos

Argentina es un país federal por lo que muchos de los avances en materia de gestión de residuos pueden ser parciales y diversos territorialmente por la autonomía legislativa de cada provincia en estas materias. Por esta razón, “hay ausencia de una norma que se focalice en la gestión de los residuos de modo general, lo que incrementa el riesgo de interpretaciones contradictorias sobre principios comunes y lineamientos generales y se requiere el desarrollo de un marco normativo que permita incorporar las referencias normativas internacionales en la materia, la experiencia del derecho comparado y la legislación de las provincias receptándolas de modo armónico en la nueva estructura”⁴⁸.

En el ámbito de la gestión de residuos, se puede destacar a nivel federal los siguientes hitos:

- La Ley 24.051 del 17 de diciembre de 1991 sobre Residuos peligrosos - Generación, manipulación, transporte y tratamiento, señala en su Art. 33- Plantas de tratamiento son aquellas en las que se modifican las características físicas, la composición química o la actividad biológica de cualquier residuo peligroso, de modo tal que se eliminen sus propiedades nocivas, o se recupere energía y/o recursos materiales, o se obtenga un residuo menos peligroso, o se lo haga susceptible de recuperación, o más seguro para su transporte o disposición final.
- La Ley 25.612 del 3 de julio de 2002. Gestión integral de residuos industriales y de actividades de servicios. Consejo Federal de Medio Ambiente. Esta ley señala que: *“las disposiciones de la presente ley establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental sobre la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio, que sean generados en todo el territorio nacional, y sean derivados de procesos industriales o de actividades de servicios.... Se entiende por residuo industrial a cualquier elemento, sustancia u objeto en estado sólido, semisólido, líquido o gaseoso, obtenido como resultado de un proceso industrial, por la realización de una actividad de servicio, o por estar relacionado directa o indirectamente con la actividad, incluyendo eventuales emergencias o accidentes, del cual su poseedor productor o generador no pueda utilizarlo, se desprenda o tenga la obligación legal de hacerlo.”*
- Ley Nacional 25.916 del 4 de agosto de 2006. Gestión de Residuos Sólidos Urbanos. Esta ley indica que: “las disposiciones de la presente ley establecen los presupuestos mínimos de protección ambiental para la gestión integral de los residuos domiciliarios, sean éstos de origen residencial, urbano, comercial, asistencial, sanitario, industrial o institucional, con excepción de aquellos que se encuentren regulados por normas específicas”.
- En el año 2016 se incorporó la Ley de Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios. Actualmente existen distintos proyectos de ley basados en la Responsabilidad Extendida. Sin embargo, no parecen haber avances y diversos intentos previos de legislación han fracasado o se han postergado a lo largo de las últimas décadas.

⁴⁸Estructura Normativa de Residuos, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación, Argentina, 2017.

Normas específicas para la industria del cemento

El marco de normas de requisitos técnicos para los cementos lo integran 4 normas IRAM. Las normas IRAM 50000, 50001, 50002 consideran los siguientes residuos como componentes autorizados para el cemento: escoria granulada de alto horno y ceniza volante silíceas. No existe una norma genérica que permita incorporar otro tipo de residuos de una manera más expedita.

Con respecto al coprocesamiento, existe la norma IRAM 29600. La primera versión es del año 2017, y en abril se emitirá una nueva versión con fecha 2020.

Sobre esta norma:

“Tiene como objetivo establecer los lineamientos básicos para el coprocesamiento en la industria cementera de combustibles y materiales alternativos (CMA) provenientes de residuos y subproductos (R y S). De esta forma se busca contribuir a la reducción de los problemas relacionados con su gestión, fomentando su uso como fuente alternativa de materias primas y energía y proporcionando una mejora en el desempeño ambiental.”⁴⁹.

Esta norma no regula las emisiones al aire como los reglamentos de varios países latinoamericanos, y tiene el nivel de norma técnica y no el peso de un reglamento o de una norma de rango legal.

La Norma Técnica Argentina tiene el carácter de taxativa y sólo admite como adiciones escoria granulada de alto horno y ceniza volante silícea.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 35%.
- Cemento portland puzolánico: Hasta 50%.
- Cemento portland siderúrgico: Hasta 35%.
- Cemento siderúrgico: Hasta 75%.



Foto

⁴⁹Proyecto de Norma IRAM 29600 Argentina.

8.1.2. Brasil

Normas de Gestión de Residuos

En materia normativa, Brasil tiene las complejidades derivadas por ser un estado federal, contando con normas federales y estatales.

La Ley 12.305/2010, reglamentada por el Decreto 7.404/2010, establece la Política Nacional de Residuos Sólidos, señalando la disposición final ambientalmente adecuada como:

“La destinación de residuos que incluye la reutilización, el reciclaje, el compostaje y la recuperación y/o aprovechamiento energético u otras destinaciones admitidas por los órganos competentes del Sisnama, del SNVS y del Suasa, entre ellas la disposición final, observando normas operacionales específicas de modo a evitar daños o riesgos a la salud pública y a minimizar los impactos ambientales adversos”.

Establece la responsabilidad compartida de los fabricantes de generadores de residuos, importadores, distribuidores, comerciantes, ciudadanos y servicios de gestión a los propietarios de residuos sólidos urbanos en la logística inversa de los residuos y post-consumo y el envasado de post-consumo.

Crea metas importantes que contribuirán a la eliminación de los vertederos y el establecimiento de instrumentos de planificación a nivel nacional, estatal, micro-regional, interurbanos y los niveles metropolitanos y municipales. Además de requerir que los individuos desarrollen sus propios planes de gestión de residuos sólidos.

Uno de los puntos más polémicos de la política sobre residuos es la determinación del final de los vertederos, que deberían ser sustituidos por rellenos sanitarios capaces de permitir el depósito adecuado de los residuos sólidos. Dicha sustitución debería haber ocurrido como máximo en agosto de 2014. Sin embargo, todavía existen en Brasil una cantidad importante de vertederos irregulares.

Al igual que México, Brasil cuenta con el sistema de la Responsabilidad Compartida, establecido mediante la Política Nacional de Residuos Sólidos. La legislación brasileña considera que tanto el poder público, el sector empresarial y la sociedad civil son responsables por la gestión de los residuos generados, pero la implementación del sistema en cuestión se realiza de manera individual y encadenada. Brasil cuenta con

programas normados de post-consumo para tres corrientes de residuos en particular, los cuales caen dentro del sistema REP: neumáticos usados, aceites lubricantes usados y envases agroquímicos.⁵⁰

En materia de neumáticos usados se destaca la Resolución CONAMA 416/2009 que previene la degradación ambiental a causada por neumáticos de desecho y su destino ambientalmente racional, y de otras medidas.

El financiamiento del sistema se da mediante acuerdos sectoriales firmados entre el poder público y el sector empresarial. De estos acuerdos surge como opción que el sector empresarial remunere al poder público municipal para la operación de la recolección selectiva. Sin embargo, la Política Nacional de Residuos Sólidos establece que los productores deben estructurar e implementar sistemas de reciclaje y de gestión de residuos, en proporción a sus productos comercializados a través de la Responsabilidad Compartida.

Diferentes grupos empresariales han hecho alianza en Brasil para la gestión de sus residuos, ya que son productores del mismo tipo de producto. El sector neumático, por ejemplo, lleva a cabo la recolección de estos por medio de alianzas para la construcción de lugares de almacenamiento temporal de neumáticos inservibles.

Normas específicas para la industria del cemento

Brasil tiene algunas normas estatales como la Resolución Normativa 154 del 25 de agosto de 2010 del Consejo de Estado de Política Ambiental del Estado de Minas Gerais sobre el coprocesamiento de residuos en los hornos de clínker, y la Resolución 076 del 30 de noviembre de 2009 del Consejo de Estado de Medio Ambiente del Estado de Paraná sobre Requisitos y criterios para la solicitud y expedición de permisos ambientales para el coprocesamiento de residuos en hornos de cemento, con fines de sustitución de materias primas o recuperación energética.

También cuenta con normas federales como la Resolución 416 del 30 de septiembre de 2009 del Consejo Nacional del Medio Ambiente sobre Prevención de la degradación del medio ambiente causada por los neumáticos usados y su eliminación ambientalmente adecuada, y la Resolución 054 del 22 de diciembre de 2006 de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y

⁵⁰(Heredia, 2015).

Recursos Hídricos que establece criterios para el control de la calidad del aire (Artículos 32 y 33), estos son, los criterios y estándares de emisiones para el coprocesamiento.

8.1.3. Chile

Normas de gestión de residuos

Chile ha regulado el manejo de residuos desde hace varias décadas con distintas normas a cargo, generalmente, de la autoridad sanitaria, como las normativas de rellenos sanitarios, manejo de residuos peligrosos, normas sobre almacenaje y transporte.

Chile cuenta con un Código Sanitario desde el año 1967, el cual trataba el tema de rellenos sanitarios en forma general. En su artículo 80:

“Corresponde al Servicio Nacional de Salud autorizar la instalación y vigilar el funcionamiento de todo lugar destinado a la acumulación, selección, industrialización, comercio o disposición final de basuras y desperdicios de cualquier clase.

Al otorgar esta autorización, el Servicio Nacional de Salud determinará las condiciones sanitarias y de seguridad que deben cumplirse para evitar molestia o peligro para la salud de la comunidad o del personal que trabaje en estas faenas.”

A partir del año 2005, Chile cuenta con un reglamento sobre las condiciones sanitarias y de seguridad básicas en los rellenos sanitarios, el cual indica en sus considerandos: “... la necesidad de contar con una regulación moderna y eficaz para la evaluación y manejo de los Rellenos Sanitarios del país, sean estos operados por personas de derecho público o privado, la que permita evitar concurrencia de contingencias de carácter sanitario ambiental, siendo eficaz en asegurar la prestación de un servicio de disposición final de Residuos Sólidos Domiciliarios y Asimilables con una calidad, constancia y seguridad adecuadas para el normal desarrollo de las actividades de las localidades, comunas o regiones que concurren a disponer tales residuos en estos establecimientos”.

A partir de la Ley No. 20.920 del 1° de junio de 2016, por la cual se establece el “Marco para la Gestión de Residuos, la Responsabilidad Extendida del Productor y Fomento al Reciclaje”, se ha comenzado a dar un tratamiento integral y moderno de la gestión de residuos, esta ley tiene por objeto disminuir la generación de residuos y fomentar su reutilización, reciclaje y otro tipo de valorización, a través de la instauración de la responsabilidad extendida del productor y otros instrumentos

de gestión de residuos, con el fin de proteger la salud de las personas y el medio ambiente. Para el efecto, el Artículo 4o de la Ley dispone que todo residuo potencialmente valorizable deba ser destinado a tal fin evitando su eliminación.

En cuanto a tendencias y perspectivas se espera que la aplicación de la Ley 20.920 genere un aumento importante y sostenido del reciclaje y/o valoración de residuos, tendencia que deberá incluir la separación en origen de los residuos, en especial los residuos prioritarios de la Ley como los neumáticos.

Respecto a neumáticos, vía decreto supremo se establece metas de recolección y valorización y otras obligaciones asociadas en materia de neumáticos regula en manera detallada las metas de recolección y valorización de los neumáticos fuera de uso (NFU) y las exigencias aplicables a los diversos actores involucrados en su gestión. Así, al año 2021 se exigirá un 50 % de recolección de los neumáticos puestos en el mercado en el año anterior y al año 2028 un 90%, mientras que la meta inicial de valorización será de un 25% para el año 2021 y de un 90% para el año 2028.

Respecto a Lodos en 2009 fue promulgado y publicado el DS N°4/2009 Minsal, Reglamento para manejo de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas servidas el cual señala: considerando que la operación de plantas de tratamiento de aguas servidas genera gran cantidad de lodos, que requieren de un manejo adecuado para prevenir eventuales impactos negativos para la salud humana y para el medio ambiente... en este reglamento se establece la clasificación sanitaria de los lodos y las exigencias sanitarias mínimas para su manejo, además de las restricciones, requisitos y condiciones técnicas para la aplicación de lodos en determinados suelos.

Normas específicas para la industria del cemento

Desde el año 2013, Chile cuenta con un reglamento específico que regula el coprocesamiento: el Decreto Supremo 29, el cual señala:

“es necesario, asimismo, incorporar nuevas definiciones en el cuerpo de la norma y modificar las definiciones existentes, así como su título, a fin de permitir una mejor aplicación de este instrumento, alineándose al mismo tiempo con los últimos desarrollos internacionales en la materia, tal como se presenta en las Directrices Técnicas sobre el Coprocesamiento Ambientalmente Racional de los Desechos Peligrosos en Hornos de Cemento,

documento preparado por el Gobierno de Chile y aprobado en la décima reunión de la Conferencia de las Partes del Convenio de Basilea sobre el Control de los Movimientos Transfronterizos de los Desechos Peligrosos y su Eliminación. Es así como se hace necesario incorporar el término "coprocesamiento" utilizado en el sector cementero, el cual se refiere a la recuperación de material y energía en el proceso de producción de clínker."

La norma del cemento vigente NCH 148 incluye solo escorias. Las cenizas se han homologado a una especie de puzolana para poder ser usada⁵¹.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 30%.
- Cemento portland puzolánico: hasta 30%.
- Cemento puzolánico: 50%.
- Cemento portland siderúrgico: Hasta 30%.
- Cemento siderúrgico: Hasta 75%.

Chile no cuenta con normas genéricas para el ingreso de nuevas materias primas. No obstante, a través de las Resoluciones de Calificación Ambiental se han incorporado otros residuos para el caso de proyectos específicos.

8.1.4. Colombia

Normas de Gestión de Residuos

La Ley 9 de 1979 Código Sanitario Nacional establece las normas sanitarias en lo que se relaciona a la salud humana y los procedimientos y las medidas que se deben adoptar para la regulación, legalización y control de las descargas de residuos y materiales que afectan o pueden afectar las condiciones sanitarias del ambiente.

Decreto 1713 de 2002 y sus modificaciones que establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y otros similares.

La Ley 1672 del 2013 establece la Responsabilidad Extendida del Productor:

"La gestión de residuos posconsumo en esencia se basa en el concepto de la responsabilidad extendida del productor – REP, el cual se puede definir como un instrumento que obliga a los fabricantes e importadores de ciertos productos de consumo masivo, a organizar, desarrollar y financiar la gestión integral de los residuos derivados de sus productos, una vez el consumidor final los desecha.

Como objetivos de la política REP en Colombia se tienen los siguientes:

- Que los residuos posconsumo no continúen siendo gestionados junto con los demás residuos domésticos generando impactos al ambiente y a la salud.
- Incidir en el cambio de los patrones de consumo de la sociedad colombiana y en los patrones de producción (uso eficiente de recursos, reutilización de materiales, reciclaje).
- Promover el aprovechamiento y valorización de los residuos"⁵².

Respecto a Neumáticos, la Resolución 1326 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, por el cual se establecen los sistemas de Recolección Selectiva y Gestión Ambiental de Llantas Usadas, que señala:

"Artículo 12..., se deberá fomentar el aprovechamiento de llantas usadas en el territorio nacional mediante la utilización el reciclaje y la valorización de su componente energético.

Parágrafo. El aprovechamiento de llantas usadas podrá realizarse mediante actividades tales como la utilización de llantas usadas en inmobiliarios urbanos, construcción de taludes, jarillones y tuberías, canchas sintéticas, construcción de vías urbanas con asfalto modificado con GCR, la valorización del componente energético de llantas usadas mediante el coprocesamiento, pirólisis, gasificación y demás opciones que ambiental y tecnológicamente sean viables.

Este sistema incluye las llantas de vehículos (carros, camiones, buses, camionetas, entre otros) con un rin

⁵¹Se está trabajando en una nueva norma técnica que incluya expresamente las cenizas. Sería interesante con normas más flexibles que puedan considerar reemplazo por nivel de desempeño.

⁵²Minambiente Colombia.

menor o igual a 22.5. No se incluyen las llantas de motocicletas, bicicletas, vehículos fuera de carretera o de rin superior a 22.5.

Las llantas usadas no son consideradas en Colombia como un residuo peligroso y su uso como combustible está regulado por la Resolución 1488 de 2003.

Resolución 1407 del año 2018 Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable por la cual reglamenta la gestión ambiental de residuos de envases y empaques de papel, cartón y otros y considera expresamente al coprocesamiento como alternativa de valorización energética.

Cabe destacar también el Decreto 1287 de 2014, Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio por el cual se establecen criterios para el uso de biosólidos generados en tratamiento de aguas residuales municipales, donde se incluye la valorización energética”.

Normas específicas para la industria del cemento

El Coprocesamiento en Colombia es regulado por la Resolución 802 de 2014 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible que en su considerando señala:

“Que el coprocesamiento de residuos no peligrosos es una actividad que ofrece una alternativa adicional a los procesos convencionales de disposición final de residuos en rellenos sanitarios e incineradores;” agregando en su “ART. 60. —. Se permitirá el tratamiento térmico de residuos no peligrosos en hornos cementeros que realicen coprocesamiento, siempre y cuando se cumplan con los estándares de emisión establecidos en la tabla 33A.”

La Norma Técnica Colombiana de Cemento NTC 128 señala:

“Cemento Portland. producto que se obtiene para la pulverización del clinker Portland con la adición de una o más formas de sulfato de calcio. Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker.”

Esta norma acepta las adiciones bajo un concepto general y no enumerándolas, sino por su efecto o fin: “Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante.”

La Norma Técnica 121 ratifica lo anterior. Esta se refiere a cementos hidráulicos para uso tanto general como especial, señalando que *“no hay restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes”*.

8.1.5. Costa Rica

Normas de Gestión de Residuos

Costa Rica cuenta con un “Plan Nacional para la Gestión Integral de Residuos 2016-2021” publicado en marzo 2016.

Está vigente el reglamento General a la Ley para la Gestión Integral de Residuos (Decreto No. 37567-S-MINAET-H, publicado en el diario oficial La Gaceta No. 55 del 19 de marzo del 2013), el cual tiene como objetivo, regular la gestión de los residuos a nivel nacional, a fin de asegurar el trabajo articulado en la gestión integral de residuos para prevenir riesgos sanitarios, proteger y promover la calidad ambiental, la salud y el bienestar de la población.

El Decreto No. 38928-S, publicado Gaceta No. 83, del 30 de abril del 2015 es el reglamento sobre rellenos sanitarios. Este reglamento tiene como objetivo establecer los requisitos y condiciones físicas y sanitarias que deben cumplir los rellenos tanto en su ubicación, diseño, construcción, operación y mantenimiento, así como al mantenimiento posterior a la vida útil. Además, regula los requerimientos y condiciones para obras de cierre de vertedero y la reconversión a relleno sanitario, con la finalidad de proteger la salud pública y el ambiente.



La Ley de la Gestión Integral de Residuos de Costa Rica contiene la REP:

“La gestión de residuos posconsumo en esencia se basa en el concepto de la responsabilidad extendida del productor REP, el cual se puede definir como un instrumento que obliga a los fabricantes e importadores de ciertos productos de consumo masivo, a organizar, desarrollar y financiar la gestión integral de los residuos derivados de sus productos, una vez el consumidor final los desecha”.

El sistema de gestión de residuos y de REP en Costa Rica es autofinanciado, como parte de los servicios municipales (Navarro, 2008). La Ley de la Gestión Integral de Residuos, a su vez crea incentivos para desarrollar y ejecutar el sistema (Heredia, 2015). Como motor para los incentivos y el financiamiento de la gestión, se fijó un precio por kilogramo de residuos diferenciado por cada región. Además, se fijó un costo de capacitación por cada persona y región. Como resultado, en Costa Rica se ha generado un mercado emergente en recolección de plásticos, tales como el PET⁵³ y el HDPE⁵⁴.



Normas específicas para la industria del cemento

El reglamento sobre condiciones de operación y control de emisiones de instalaciones para coincineración de residuos sólidos ordinarios (Decreto No. 39136-S-MINAE, publicado Gaceta No. 170, del 1 de septiembre del 2015) el cual regula la operación de instalaciones para coincineración fijas como medio de tratamiento de residuos ordinarios generados en el territorio nacional.

También se puede destacar el Reglamento 40557-S para el coprocesamiento y gestión de residuos en hornos cementeros del 23 de agosto de 2017, el que señala en sus considerandos:

“Que la fabricación de cemento puede consumir cantidades significativas de residuos como combustibles y materias primas no combustibles, con numerosos beneficios potenciales que ofrece el uso de residuos en los procesos de fabricación de cemento, tales como la recuperación del contenido energético de

los residuos, la conservación de combustibles fósiles no renovables y recursos naturales, alta eficiencia en la remoción de contaminantes en chimenea, la reducción de las emisiones de CO₂, la reducción de los costos de producción, y el uso de una tecnología existente para tratar residuos peligrosos; además es un proceso que no requiere disposición final de sub-productos o residuos. Estableciendo además los límites a las emisiones atmosféricas”.

La norma técnica de Costa Rica INTE 06-11-15:2015 es taxativa respecto a los componentes de cemento y considera dentro de los residuos valorizables solo la escoria de alto horno y las cenizas volantes, las cuales asimila expresamente en sus definiciones a material puzolánico.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 30%.
- Cemento portland puzolánico: Hasta 30%.
- Cemento puzolánico: Hasta 50%.
- Cemento portland siderúrgico: Hasta 30%.
- Cemento siderúrgico: Hasta 75%.

Foto

⁵³El tereftalato de polietileno (PET) es un plástico con alto grado de cristalinidad y transformación estética a altas temperaturas, mediante procesos de moldeado, inyección, inyección - soplado y termoformado. El PET tiene la característica de ser extremadamente duro y resistente al desgaste. Este plástico es aprovechado para la fabricación de textiles (poliéster), de envases y de films.

⁵⁴El polietileno de alta densidad (HDPE) es un plástico ligeramente peligroso, usado comúnmente para los envases de leche, agua, jugos y aquellos líquidos de limpieza e higiene personal, como jabones líquidos y champús. El HDPE es también usado para fabricar las bolsas plásticas.

8.1.6. Ecuador

Normas de Gestión de Residuos

El Código Orgánico del Ambiente (COA), del año 2017, es actualmente la norma más importante de Ecuador en materia ambiental, pues en ésta se regulan aquellos temas necesarios para una gestión ambiental adecuada. Su artículo 225 indica: *“Políticas generales de la gestión integral de los residuos y desechos: Serán de obligatorio cumplimiento, tanto para las instituciones del Estado, en sus distintos niveles y formas de gobierno, regímenes especiales, así como para las personas naturales o jurídicas, las siguientes políticas... 1. El manejo integral de residuos y desechos, considerando prioritariamente la eliminación o disposición final más próxima a la fuente”*.

En el año 2012 se dictó la Norma de Calidad Ambiental para el Manejo y Disposición Final de Desechos Sólidos no Peligrosos, la cual regula la recolección transporte y disposición de los residuos, y los rellenos sanitarios.

Resulta interesante destacar el caso de Ecuador, que en su normativa específica sobre Chatarra Electrónica (RAEE) y en aplicación del principio de responsabilidad extendida del productor explícito, establece una clara disposición sobre recuperación de residuos (Acuerdo 190 del 28 de diciembre de 2012, que expide la Política Nacional Post Consumo de Equipos Eléctricos y Electrónicos en Desuso):

- Prohíbe la incineración y la disposición final de equipos eléctricos y electrónicos en desuso (y de sus componentes) que sean posibles de ser reciclados o tratados fuera del país, y de un modo ambientalmente amigable.
- Al jerarquizar las estrategias de gestión, establece que la disposición final solo será aplicable a los casos en que no exista la tecnología para el aprovechamiento, revalorización o tratamiento de los equipos en el ámbito nacional o internacional.

Además, cabe señalar que la legislación ambiental general de Ecuador, reformada en 2015, establece una serie de principios ambientales que se declaran de aplicación obligatoria y sustento de todas las decisiones y actividades públicas y privadas con contenido ambiental, a su vez que incorpora el principio REP en el mismo sentido que lo hace la regulación de RAEE. Además, incorpora el concepto de la cuna a la tumba en Acuerdo 61, publicado el 4 de mayo de 2015, el cual expresa:

“De la cuna a la tumba. - La responsabilidad de los Sujetos de Control abarca de manera integral, compartida, y diferenciada, todas las fases de gestión integral de las sustancias químicas peligrosas y la gestión adecuada de los residuos, desechos peligrosos y/o especiales desde su generación hasta su disposición final...

Responsabilidad Extendida del productor y/o importador. - Los productores y/o importadores tienen la responsabilidad del producto a través de todo el ciclo de vida del mismo, incluyendo los impactos inherentes a la selección de los materiales, del proceso de producción de los mismos, así como los relativos al uso y disposición final de estos luego de su vida útil”.

Normas específicas para la industria del cemento

El Acuerdo Ministerial 48 registro oficial 439 del 3 de mayo de 2011 establece las Normas de Coprocesamiento de Desechos Peligrosos de Hornos Cementeros. Además, el Acuerdo Ministerial 28 del 13 de febrero de 2015 fija la Norma de Concentraciones de Emisión al Aire desde Fuentes Fijas de Combustión.

La actual norma técnica de cemento de Ecuador (NTE INEN 2380), se encuentra a la vanguardia y se basa en desempeño, señalando que *“no se establecen restricciones en la composición del cemento o de sus componentes”*.



Foto

8.1.7. Guatemala

Normas de Gestión de Residuos

Política Nacional para el Manejo Integral de los Residuos y Desechos Sólidos se anunció el 2006. Se esperaba que de esta ley se deslindaran Iniciativas de Legislación Primaria y Reglamentos, sin embargo, esto no ha ocurrido.

Existe el proyecto de ley Reguladora del Manejo, Recolección, Tratamiento y Disposición Final de Llantas Usadas (octubre de 2017), sin embargo, hasta la fecha no ha sido aprobada-.

Respecto a los rellenos sanitarios, no existe una tasa relevante que desincentive la disposición de residuos en ellos.

No hay una legislación que involucre la responsabilidad compartida de productores e importadores.

Normas específicas para la industria del cemento

Guatemala no cuenta con normas de emisiones para hornos de cemento.

La norma técnica de Guatemala NTG 41095, está basada en el principio por desempeño, por tanto, no es taxativa respecto a los componentes de cemento y dispone: *“Esta norma establece los requisitos que deben cumplir los cementos hidráulicos de aplicación general y los de aplicaciones especiales, tanto de fabricación nacional como importados. No contiene restricciones sobre la composición del cemento o de sus componentes.”*

8.1.8. Honduras



Normas de Gestión de Residuos

El Acuerdo Ejecutivo número 1567-2010 aprobó el Reglamento para el Manejo Integral de los Residuos Sólidos cuyo objetivo es:

“Regular la gestión integral de los residuos sólidos, incluyendo las operaciones de prevención, reducción, almacenamiento y acondicionamiento, transporte, tratamiento y disposición final de dichos residuos, fomentando el aprovechamiento de los mismos con el fin

de evitar riesgos a la salud y al ambiente.” Señala, además, que: “Corresponde a las municipalidades, organizar, contratar y asumir la responsabilidad de los servicios de limpieza, recolección, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos.”

Respecto a la valorización de residuos, el artículo 76 del mismo Acuerdo dispone:

“Como una forma de valorización de los residuos sólidos previo análisis de toxicidad- podrán utilizarse como combustibles alternos en procesos de generación de energía eléctrica, calorífica, etc. Siempre y cuando las instalaciones cuenten con sistemas de control de emisiones que aseguren el cumplimiento de la normativa aplicable.”

Honduras no cuenta con normas REP, no obstante, una nueva norma de Gestión Integral de Residuos en proceso final de formalización legal señala en su artículo 20:

“El productor, importador y distribuidor de productos cuyos residuos finales sean clasificados como peligrosos o de manejo especial deben cumplir con las medidas siguientes:

1. Deberán realizar acciones de prevención orientados a la reducción en la generación de residuos, en función del volumen y peligrosidad de los mismos, dependiendo de su complejidad, desarrollarán programas y planes aplicando el principio de responsabilidad extendida del productor....

6. Aplicando el principio de responsabilidad extendida deberá gestionar directamente los residuos derivados de sus productos, o participar en un sistema organizado de gestión de dichos residuos o contribuir económicamente a los sistemas públicos de gestión de los mismos en medida tal que se cubran los costos atribuibles a su gestión.”

Normas específicas para la industria del cemento

El Reglamento de Emisiones por Fuentes Fijas N° 1566-2010, Anexo II, fija los límites de emisiones en forma expresa para Hornos de Cemento.

No existe norma de cemento de Honduras, lo que existe es un Código de la Construcción, donde se menciona el cemento portland bajo la norma ASTM C150, sin embargo, el 80 % de la venta de cemento es Tipo GU (Uso General bajo la Norma ASTM C115).

8.1.9. México



En el año 2003, México promulgó su Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.⁵⁵ Luego, en el 2006, su marco legal se fortalece con el respectivo reglamento, y luego en el 2009 con la emisión del Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. *El sistema mexicano es distinto a los demás ya que su base yace en una política de residuos bajo promoción de cambios en los modelos de producción, consumo y manejo que fomente la prevención y gestión integral de los residuos a través de la Responsabilidad Compartida.*⁵⁶

Sin embargo, a pesar de que el manejo de los residuos sea autofinanciable por su valorización, el sistema no es efectivo dada la falta de obligatoriedad a los productores para garantizar una disposición final adecuada de sus productos. Esta falta de obligatoriedad conlleva a su vez, a una falta de penalización, en caso de irresponsabilidad en cuanto a la gestión de los residuos. En México se da el caso de que la legislación crea los incentivos necesarios⁵⁷, sin embargo, el no involucramiento de la sociedad genera poca motorización de estos, ya que los productores no toman responsabilidad por sus residuos, no permitiendo esta autofinanciación de la cual se hace referencia. Además, para muchos actores resulta complicada la aplicación de la figura, debido a la falta de concreción del principio de Responsabilidad Compartida en la ley misma, lo cual da lugar a imprecisiones y evasión de responsabilidad de los actores involucrados.

La Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), publicó la NOM-161-SE-MARNAT-2011, en la que se establecen los criterios para clasificar a los residuos de manejo especial y determinar cuáles están sujetos a un Plan de Manejo, así como los elementos y procedimientos para la formulación de los mismos. En su listado se encuentran incluidos en el inciso 3.3 del Campo de Aplicación, que dicha norma es de observancia obligatoria en todo el territorio nacional para los grandes generadores y los productores, importadores, exportadores, comercializadores y distribuidores de los productos que al desecharse se convierten en Residuos de Manejo Especial sujetos a un Plan de Manejo. En el Listado de Residuos de Manejo Especial Sujetos a Presentar Plan de Manejo en el numeral VIII, se listan los productos que al transcurrir su vida útil se desechan, entre los cuales se encuentran los neumáticos de desecho y otros combustibles alternativos.

La Norma Oficial Mexicana NOM-004- SEMARNAT-2002 para lodos y biosólidos, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes contenidos para su aprovechamiento y disposición final.

La legislación mexicana no contempla la REP como figura, sino más bien como un sistema similar, pero que descentraliza el rol del productor como el principal actor bajo este esquema.

⁵⁵Congreso de la Unión, "Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos", México, última reforma. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/263_220515.pdf

⁵⁶Hengevoss, 2015

⁵⁷El Código Fiscal del Distrito Federal de la República de México establece en su artículo 276 que las actividades empresariales de reciclaje generan un incentivo fiscal del 33% del valor de los residuos generados. Dentro de las actividades establecidas en el artículo 277 de este mismo código, se encuentra la minimización o manejo adecuado de residuos mediante rediseño de empaques y embalajes y/o la utilización de materiales biodegradables y/o fácilmente reciclables, las cuales generan un mínimo de un 30% de incentivo, respecto del valor original de reciclaje del residuo.

Foto

Normas de Gestión de Residuos

La Norma NOM-040-ECOL-2002, del 18 de diciembre de 2002, reconoce el coprocesamiento de la siguiente manera:

“Que los hornos de calcinación de clínker son equipos que trabajan a altas temperaturas, con altos tiempos de residencia de los gases de combustión, alta turbulencia y un ambiente alcalino que neutraliza los materiales ácidos y garantiza la destrucción segura de una gran variedad de materiales combustibles orgánicos;

Que de acuerdo con la experiencia nacional e internacional esta tecnología permite el aprovechamiento ambientalmente seguro del poder calorífico de los residuos que se introducen al horno como combustibles, tales como aceites y grasas lubricantes gastados, estopas y textiles impregnados con los mismos, solventes no clorados y llantas, entre otros, siendo esto un método de reciclaje o aprovechamiento de dichos residuos;

Que la recuperación de energía proveniente de los residuos no modifica sustancialmente las emisiones de la industria del cemento hidráulico con respecto a aquellas generadas por la utilización de combustibles convencionales (...).”

La Norma Oficial mexicana NOM-085-SEMARNAT-2011 fija los límites máximos permisibles de emisión de los equipos de combustión de calentamiento indirecto y su medición, dentro de los cuales se encuentran los hornos de cemento.

La norma técnica mexicana NMX-C-414-ONNC-CE-2017 es taxativa respecto a los componentes de cemento y considera, dentro de los residuos valorizables, solo la escoria de alto horno y las cenizas volantes, las cuales asimila expresamente en sus definiciones a material puzolánico.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 35%.
- Cemento portland puzolánico: hasta 50%.
- Cemento portland siderúrgico: Hasta 60%.
- Cemento siderúrgico: Hasta 80%.

8.1.10. Perú

Normas de Gestión de Residuos

Perú cuenta con una amplia legislación ambiental que parte desde su Constitución Política. Además, es parte del Convenio de Basilea desde el año 1993. En particular, en el año 2016 se publicó el Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, y reemplaza a la Ley N° 27314 Ley General de Residuos Sólidos, publicada en el año 2000. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos.

La Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos se centra en los siguientes principios:

- Economía circular.
- Valorización de residuos.
- Responsabilidad extendida del productor.
- Protección del ambiente y la salud pública.

En la misma Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos señalada se destaca el concepto de responsabilidad extendida del productor. A diferencia de la ley antecesora, en la cual se deslindaba de responsabilidad a los generadores de residuos peligrosos una vez que estos pasaban a ser manejados por una Empresa Prestadora de Servicios de Residuos sólidos (EPS-RS), esta norma hace hincapié en la responsabilidad que tienen los fabricantes, importadores, distribuidores y comerciantes durante todo el ciclo de vida del producto, incluyendo las fases postindustrial y postconsumo. Esta norma es aplicable a todos los sectores productivos e incluye actividades de internamiento, almacenamiento, tratamiento, transporte y exportación de residuos sólidos e incluye expresamente al coprocesamiento, permitiendo el uso de la mayoría de los combustibles alternativos.

Derivado de este Marco normativo se elaboró el Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos PLANRES 2005 – 2015, que fue el primer instrumento estratégico específico para abordar la gestión de residuos sólidos a nivel nacional, como respuesta a lo

exigido en el reglamento de la Ley General de Residuos Sólidos y a la necesidad de organizar el accionar de todos los sectores y niveles de gobierno estableciéndose así responsabilidades y acciones en dos ejes principales:

Fortalecimiento de Capacidades: Eje por el cual se buscó generar cambios sustanciales en el conocimiento y comportamiento de las personas vinculadas, directa o indirectamente al manejo de los residuos sólidos, a través del desarrollo de conocimiento y capacidades con orientación a la innovación tecnológica y a la excelencia académica en relación con la gestión de residuos sólidos.

Desarrollo de Institucionalidad: En este eje las acciones estuvieron encaminadas a fortalecer el rol normativo del Estado en sus diferentes niveles de gobierno, especialmente el local. Buscó aportar iniciativas para facilitar los procesos encaminados a incrementar la participación privada en la gestión de los residuos.

Hoy Perú cuenta con una segunda etapa del Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos PLANRES esta vez para los años 2016 – 2024.⁵⁸

Normas específicas para la industria del cemento

El artículo 48 del Decreto Legislativo N° 1278, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos señala:

“Formas de valorización. Constituyen operaciones de valorización material: la reutilización, reciclado, compostaje, recuperación de aceites, bio-conversión, entre otras alternativas que, a través de procesos de transformación física, química, u otros, demuestren su viabilidad técnica, económica y ambiental.

Constituyen operaciones de valorización energética, aquellas destinadas a emplear residuos con la finalidad de aprovechar su potencial energético, tales como: coprocesamiento, coincineración, generación de energía en base a procesos de biodegradación, biochar, entre otros.”

El coprocesamiento es definido en el Anexo del Decreto 1278 como el “uso de residuos idóneos en los procesos de fabricación con el propósito de recuperar energía y recursos, y reducir en consecuencia el uso de combustibles y materias primas convencionales mediante su sustitución.”

⁵⁸Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos 2016-2024, Ministerio del Ambiente, Perú.

El 8 de enero del 2020 se publicó el Decreto Supremo 0001-2020-MINAM que fija los límites máximos permisibles de emisiones al aire de Plantas Industriales de Cemento y Cal.

La norma técnica peruana del cemento NTP 334.090 del 2016⁵⁹ es taxativa respecto a los componentes de cemento y considera dentro de los residuos valorizables solo la escoria de alto horno. A diferencia de otros países, las cenizas volantes no son incluidas.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 30%.
- Cemento portland puzolánico: Hasta 20%.
- Cemento puzolánico: Hasta 40%.
- Cemento siderúrgico: Hasta 95%.

8.1.11. República Dominicana



Normas de Gestión de Residuos

República Dominicana cuenta con la Norma para la Gestión Ambiental de los Residuos Sólidos No Peligrosos del año 2003 tiene por objetivo: *“proteger la salud humana y la calidad de vida de la población, así como promover la preservación y protección del ambiente, estableciendo los lineamientos para la gestión de los residuos sólidos municipales no peligrosos. Especifica los requisitos sanitarios que se cumplirán en el almacenamiento, recolección, transporte y disposición final, así como las disposiciones generales para la reducción, reaprovechamiento y reciclaje.”*

Respecto a la regulación de los residuos industriales, la norma señala que podrán usar el sistema general o podrán ser sometidos a regímenes especiales para el manejo de sus residuos: *“5.4.5. Toda entidad que produzca residuos industriales o comerciales, que, a juicio de los ayuntamientos, debido a su volumen u otras condiciones, entorpezcan el buen funcionamiento*

del servicio de recolección u ocasionen molestias a la población, estará obligada a recolectar y transportar dichos residuos hasta el sitio de disposición final aprobado por las autoridades competentes”.

El Proyecto de Ley de Residuos para la República Dominicana fue aprobado por la Cámara de Diputados en el año 2019, y tiene por objetivo prevenir la generación de residuos, además de establecer el régimen jurídico de su gestión, para fomentar la reducción, reutilización, reciclaje, aprovechamiento y otras formas de valorización, entre ellas el coprocesamiento y el manejo integral.

Este proyecto define responsabilidad extendida del productor e importador como un régimen especial de gestión de residuos conforme al cual los productores y el importador son responsables de la organización y financiamiento del producto durante todo el ciclo de vida de este, incluyendo las fases post industrial y post consumo.

La Resolución 0005-2015 que aprueba y emite reglamento Técnico Ambiental para la Gestión de Neumáticos Fuera de Uso Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales considera como actividades de aprovechamiento el Coprocesamiento en Hornos Cementeros

Normas específicas para la industria del cemento

República Dominicana no cuenta con normas de emisiones para hornos de cemento.

La norma técnica de República Dominicana RTD 178 2009 es taxativa respecto a los componentes de cemento y considera dentro de los residuos valorizables solo la escoria de alto horno y las cenizas volantes.

El porcentaje de adiciones aceptado es de:

- Cemento portland compuesto: Hasta 35%.
- Cemento portland puzolánico/cenizas: Hasta 35%.

⁵⁹Perú a la fecha se encuentra en proceso de revisión de sus normas técnicas.

8.1.12. El Salvador

Normas de Gestión de Residuos

La Ley de Gestión Integral de Residuos y Fomento al Reciclaje se dictó en el año 2019 y tiene por objetivo:

“(...) lograr el aprovechamiento y disposición final sanitaria y ambientalmente segura de los residuos, a fin de proteger la salud de las personas, el medio ambiente y fomentar una economía circular, a través del establecimiento de una visión sistémica en la gestión integral de los residuos, la determinación de los actores y su forma de interacción, y la asignación de responsabilidades para lograr cambios conductuales en la población.”

El Salvador no cuenta con normas de Responsabilidad Extendida del Productor.

Normas específicas para la industria del cemento

El Salvador no cuenta con normas de emisiones para hornos de cemento.

La norma técnica de El Salvador PNTS 91.86.01:14 está basada en el principio por desempeño, por tanto, no es taxativa respecto a los componentes de cemento y señala que esta norma es: “una especificación de desempeño que cubre los cementos hidráulicos.... No existen restricciones en la composición del cemento o de sus componentes”.

