

Estudio global sobre el final de vida útil más seguro de un producto







El presente estudio global se solicitó en el marco del programa *Engineering X Safer End of Engineered Life*, financiado por la Lloyd's Register Foundation. Engineering X es una colaboración internacional, fundada por la Real Academia de Ingeniería y la Fundación Lloyd's Register, que reúne a algunos de los principales solucionadores de problemas del mundo para abordar los grandes retos de nuestra época.

El programa *Engineering X Safer End of Engineered Life* pretende mejorar la seguridad y reducir los daños causados por la clausura, el desmantelamiento y la eliminación de productos, artefactos y estructuras de ingeniería al final de su vida útil.

Los puntos de vista y opiniones expresados en este informe son propios de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de *Engineering X*.

Cook, E., Velis, C.A. (2020). Global Review on Safer End of Engineered Life. Engineering X (fundado por la Real Academia de Ingeniería y la Fundación Lloyd's Register) DOI: 10.5518/100/58

Un proyecto de investigación realizado y coordinado por la Universidad de Leeds en colaboración con la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA) D-Waste e Independent Safety Services Ltd.









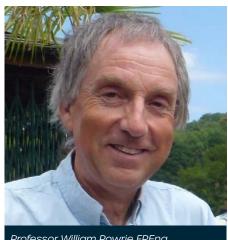
Contenidos

harm from open burning

Estu	dio glo	obal sobre el final de la vida útil más seguro				
Cont Pról	tenido ogo	S	3			
Resú	men I	Ejecutivo	7			
1	Intr	Introducción				
	1.1	Contexto	13			
	1.2	Los residuos sólidos y el fin de la vida útil más seguro 1.3	14			
	La e	volución de las prácticas de gestión de residuos	15			
	1.4	Lo que no hace este estudio	15			
	1.5	Retos de seguridad transversales e interconectados	16			
2	Que	Quema a cielo abierto				
	2.1	La motivación por la quema a cielo abierto	17			
	2.2	Prevalencia de la quema a cielo abierto	18			
	2.3	Desafíos de seguridad debido a la quema a cielo abierto	20			
	2.4	Recomendaciones prioritarias de medidaspara reducir los	23			
3	daños causados por las quemas a cielo abierto Basurales					
	3.1	Contexto	27			
	3.2	El basural persistente	27			
	3.3	Desafíos de seguridad en los basurales	28			
	3.4	Recomendaciones prioritarias de actuación para reducir los daños	3			
4	El se	El sector informal de los residuos				
	4.1	Los trabajadores informales: una mano de de obra informal que cumple				
	una	una función crítica a nivel mundial				
	4.2	Tamaño y contribución del sector informal de residuos	35			
	4.3	Desafíos de seguridad a los que se enfrenta el sector informal de los residuos	37			
	4.4	Recomendaciones prioritarias de actuación para reducir los daños	40			
5	Con	clusiones	44			
6	Resu	Resumen de recomendaciones				
	Nota	Notas Finales				
	Apé	Apéndice A Metodología				
	Agra	Agradecimientos				



 $Un \ reciclador \ recolecta \ materiales \ del \ basural \ de \ Bantargebang, \ Yakarta, \ Indonesia; © Rumbo \ a \ lo \ desconocido \ (2019).$



Professor William Powrie FREng

Prólogo

Profesor William Powrie FREng, Presidente del programa Engineering X Safer End of Engineered Life

La clausura, el desmantelamiento y la eliminación de productos y estructuras al final de su vida útil pueden dañar el medio ambiente y malgastar recursos escasos si no se llevan a cabo de forma responsable. Estos procesos también pueden ser peligrosos y perjudiciales para las personas que participan en ellos, sobre todo porque los residuos y procesos en cuestión suelen desplazarse a las zonas del mundo menos capacitadas para gestionarlos con seguridad.

El programa Engineering X Safer End of Engineered Life pretende abordar estos desafíos y mejorar la seguridad a nivel mundial mediante: la comprensión y aplicación de intervenciones prácticas; la creación de diversas comunidades internacionales para compartir pruebas, conocimientos y buenas prácticas; y la concienciación y una mayor comprensión de los desafíos globales que supone tratar de forma segura y ética los miles de millones de toneladas de materiales, artefactos y estructuras al final de su vida útil que la humanidad produce cada año. El programa se orientó inicialmente a mejorar la seguridad en el desmantelamiento de estructuras y buques en alta mar en todo el mundo, una tarea notoriamente difícil y

peligrosa en algunos contextos.

A partir de ahí, encomendamos este Estudio Global para examinar otras categorías de materiales y productos de ingeniería y seguridad de las prácticas de eliminación y desmantelamiento asociadas. Se trata de residuos plásticos, médicos, electrónicos, de construcción y de demolición. También se investigaron los métodos de disposición final en tierra. Se pretendía trazar un mapa de los flujos de residuos, identificar las buenas prácticas y comprender los problemas de seguridad más críticos en todo el mundo y en los que debería centrarse el programa en el futuro.

Lo que quedó claro fue que nuestros esfuerzos debían centrarse no en los tipos de materiales y productos, como en el caso de los barcos y las estructuras marítimas, sino en los procesos empleados para su eliminación.

La investigación identificó los daños causados por la quema y el vuelco incontrolados en todo el mundo, especialmente para los más expuestos en el sector informal del reciclaje. No se trata sólo de una cuestión técnica: la economía y las necesidades humanas también influyen. Durante la elaboración del informe, se nos ha recordado en repetidas ocasiones que debemos esforzarnos por crear soluciones adecuadas que funcionen en los contextos locales

para reducir los daños y no dar por sentado que tenemos todas las respuestas. Debemos escuchar todas las voces a la hora de abordar estos complejos retos mundiales.

Este informe proporciona una base de pruebas rigurosa y valiosa. Me gustaría agradecer a los autores de la Universidad de Leeds y a sus socios por su importante trabajo, así como a los miembros del Grupo de Asesoramiento Técnico por sus inestimables conocimientos y sus incansables esfuerzos en la revisión de los primeros borradores. También doy las gracias a la Fundación Lloyd's Register, nuestro socio financiador del programa y cofundador de Engineering X.

Esperamos que esta revisión contribuya a llamar la atención sobre los retos más y poco debatidos sobre el final de la vida útil de los productos de ingeniería, que amenazan la seguridad y el bienestar de millones de personas en todo el mundo. Hemos identificado las áreas prioritarias que el programa para un final de vida útil más seguro pretende abordar, empezando por la quema de residuos. Esperamos que la comunidad internacional se movilice para abordar en colaboración este urgente reto mundial y le invitamos a unirse a nosotros.



Prólogo

Dra. Ruth Boumphrey Directora de Investigación, Fundación Lloyd's Register

Cuando publicamos nuestro trabajo Insight sobre los <u>desafíos globales de seguridad</u>, identificamos una serie de problemas de seguridad que surgen cuando los activos de ingeniería, grandes y pequeños, llegan al final de su vida útil.

Desde los barcos y las plataformas petrolíferas hasta los artículos médicos y electrónicos, tratamos de comprender y abordar los problemas de seguridad asociados al "final de la vida útil de la ingeniería".

Queremos hacer intervenciones responsables y sostenibles, y éstas deben estar impulsadas por la evidencia. La falta de pruebas puede frenar y desviar los esfuerzos. Este Estudio Global da un paso importante en la revisión de las pruebas en este campo. Llena un vacío importante que a menudo se pasa por alto: los problemas de seguridad que rodean a los residuos mal gestionados, y las nefastas consecuencias resultantes para muchas personas en todo el mundo.

Ha llegado el momento de la acción colectiva: es inaceptable que en el mundo actual no tengamos una comprensión adecuada de cómo gestionar de forma segura y responsable los residuos de los artículos de ingeniería. Mientras avanzan las conversaciones importantes sobre la economía circular y la Industria 4.0 también debemos prestar atención a la realidad de la situación actual de muchas personas, especialmente en los países más pobres del mundo. Mediante una revisión sistemática, centrada inicialmente en flujos de residuos específicos, los autores del informe han identificado los problemas de seguridad más acuciantes relacionados con la quema abierta de residuos, los basurales y los recicladores que se ganan la vida en la economía de los residuos.

La Fundación Lloyd's Register es una organización benéfica mundial independiente cuya misión es diseñar un mundo más seguro. Sabemos que los desafíos globales necesitan soluciones globales. No pueden abordarse trabajando en solitario. Por eso, junto con la Real Academia de Ingeniería, fundamos Engineering X, que reúne a una comunidad mundial para afrontar algunos de los mayores retos de nuestra época.

Esperamos que este informe ponga de relieve estos problemas que llevan mucho tiempo olvidados y nos ayude a crear nuevas asociaciones que conduzcan a la acción. Buscamos colaboradores que compartan nuestros valores más profundos y nuestro firme propósito social para que nos ayuden a lograr el cambio prestando sus voces y su energía a esta misión. Únase a nosotros.



En nombre de los autores

Introducción del Dr. Costas Velis, Universidad de Leeds

Los recursos de nuestro planeta son finitos y, por lo tanto, valorar y preservar los recursos que utilizamos en nuestros materiales, productos y estructuras de ingeniería es el único camino sostenible y a largo plazo. Podemos y debemos tratar nuestros objetos de ingeniería al final de su vida útil como recursos dentro de una economía circular.

Hace unos 200 años, la llamada "era del saneamiento" vio cómo la humanidad empezaba a utilizar la ciencia y la ingeniería para gestionar cantidades cada vez mayores de residuos sólidos con el fin de proteger la salud humana. Hoy en día, nuestros éxitos tecnológicos y de gestión en este sentido son bien celebrados y, con el beneficio de la experiencia y los conocimientos nuevos y emergentes, seguimos haciendo mejoras con un impacto positivo en la salud pública.

Sin embargo, en los años transcurridos, y sobre todo en el Norte Global desarrollado, hemos perdido de algún modo de vista la relación entre la mala gestión de los recursos de ingeniería al final de su vida útil ("residuos" o residuos" o "productos de segunda mano") y los riesgos que suponen para la vida y la salud humanas.

Sin embargo, estas amenazas siguen siendo una realidad para decenas de millones de trabajadores del sector informal de los residuos (recicladores del sector informal) y sus comunidades en los países de ingresos bajos y medios, principalmente en el Sur Global. Aquí, los riesgos de exposición a situaciones como la quema abierta e incontrolada de residuos son mucho mayores, y el mayor riesgo se produce en los basurales abiertos y sus alrededores, donde las medidas de protección son escasas o inexistentes.

En este Estudio Global sobre el Fin de la Vida más Seguro, echamos un vistazo sistemático y largamente esperado a las pruebas científicas en torno a la gestión de los residuos y los recursos y el impacto en la salud y la vida humanas.

Sorprendentemente, esta investigación parece ser la primera de este tipo en todo el mundo. Ofrecemos sugerencias sobre las medidas correctas e

inmediatas que deberían adoptarse e identificamos los casos en los que las soluciones de ingeniería podrían mitigar y prevenir los daños a la vida y la salud humanas. También sugerimos dónde es necesario seguir investigando sobre la naturaleza y la magnitud del problema.

Esperamos que nuestro trabajo no solo aborde los retos inmediatos del mundo en relación con los residuos sólidos y el fin de la vida útil de la ingeniería, sino que también proporcione un peldaño hacia el desarrollo de economías circulares en todo el mundo que valoren explícita y fundamentalmente la salud y la seguridad humanas. De este modo, puede que también descubramos que hemos avanzado hacia la consecución de muchos otros Objetivos de Desarrollo Sostenible importantes, como la mitigación de la pobreza, el aire limpio, la mitigación del cambio climático, el consumo y la producción sostenibles y la prevención de la contaminación por plásticos. Sin duda, vale la pena un intento?



Río muy contaminado en Sierra Leona; © Amanda Ingram - WasteAid (2018).

Resúmen Ejecutivo

Casi mil millones de toneladas de residuos amenazan la salud y el bienestar de miles de millones de personas en todo el mundo



En la sociedad contemporánea, son pocos los productos y estructuras de ingeniería que duran indefinidamente,

ya sea por su diseño o por su obsolescencia técnica, funcional o estilística. Se puede decir que estos productos y estructuras han completado la fase de uso, han llegado al final de su vida útil o se han convertido, a efectos legales, en residuos sólidos.

De todos los residuos sólidos urbanos (RSU) generados en la tierra, el 24% (500 millones de toneladas) no se recolecta, y otro 27% se gestiona mal tras la recolección^[1] (sección 3.1). Esto significa que cerca de mil millones de toneladas de residuos corren el riesgo de interactuar con el entorno natural: en la tierra, en el agua y en el aire cuando los residuos se queman a cielo abierto.

Los "residuos sólidos" abarcan productos y estructuras que han terminado la fase de uso o han llegado al final de su vida útil. Cuando la gestión de los residuos sólidos surgió como un concepto estructurado a mediados del siglo XIX, la principal motivación fue la salud pública^[2-4]. Hoy en día, con gran parte de este imperativo logrado en los países ricos,

consideraciones como la recuperación de recursos y el cambio climático han tomado precedencia. Estas nuevas prioridades se reflejan en la investigación contemporánea sobre la gestión de los residuos sólidos, en forma de recuperación de recursos a partir de los residuos y la economía circular en general. El resultado ha sido una dilución parcial de la atención prestada a la salud y la seguridad pública y laboral.

Mientras tanto, en los países de ingresos bajos y medios (LMIC), las prioridades que compiten entre sí han obstaculizado la capacidad de los gobiernos municipales para ofrecer servicios integrales de recolección de residuos sólidos y su posterior gestión^[5]. En consecuencia, la gente tiene que tomar decisiones difíciles sobre cómo gestionar sus propios residuos sólidos, depositándolos en la tierra, quemándolos, enterrándolos o arrojándolos a ríos y aguas costeras. En este contexto, los materiales de desecho, las sustancias químicas que contienen y las que se producen cuando se transforman, son libres de interactuar con el medio ambiente y los seres humanos.

Posiblemente 1.000 millones de toneladas de residuos se queman en incendios abiertos e incontrolados cada año; acabar con esta práctica requerirá un enorme aumento de la infraestructura y los servicios de gestión de residuos

Revisión sistemática

Este informe comprende siete revisiones sistemáticas, [162, 163, 164, 165, 166, 167, 168], cada una de las cuales se centra en aspectos de los residuos sólidos que presentan desafíos significativos para la seguridad laboral y pública; pero también para los que no se han realizado revisiones formales y globales dentro del ámbito presentado aquí (Figura 1).

El análisis de las pruebas científicas en las siete revisiones, a través de la lente de las combinaciones peligrovía-receptor, indica una convergencia en torno a tres "temas generales" transversales e interconectados: la quema al aire libre, los basurales y los recicladores.

De forma abrumadora, las pruebas indican que el riesgo que suponen los

residuos sólidos para la población y los trabajadores es mayor en los países de ingresos bajos y medios (LMIC, por sus siglas en inglés) que en los países de ingresos altos (HIC, por sus siglas en inglés). Los habitantes de los LMIC están más expuestos a los residuos sólidos y sus derivados y tienen menos capacidad y habilidad para protegerse de los posibles peligros: son más vulnerables.

Quema a cielo abierto

La quema a cielo abierto (incontrolada) de residuos sólidos da lugar a un peligroso cóctel de emisiones que se liberan a la atmósfera y a la tierra, lo que supone un riesgo para la población, los trabajadores y el medio ambiente

(sección 2.3). Aunque la quema de residuos a cielo abierto se cree que es una práctica común en todos los LMIC, carece de pruebas científicas para esta afirmación.

Del mismo modo, tampoco se dispone de la base científica de muchos de los factores de emisión utilizados en la modelización (Sección 2.2). Es cierto que las quemas de residuos emiten sustancias potencialmente peligrosas y suponen un riesgo para la salud humana y el medio ambiente, y este informe recomienda encarecidamente el cese de la actividad (Sección 2.4.1). Sin embargo, la escasez de datos sobre masas y emisiones hace casi imposible cuantificar de forma fiable el impacto local y global de estos incendios sobre la salud humana y el medio ambiente, una brecha en la investigación que debería cubrirse urgentemente.

Es probable que la escala de la respuesta necesaria sea considerable. Si se cree en las estimaciones actuales sobre la quema al aire libre, el fin de esta práctica podría suponer la necesidad de tratar y eliminar cerca de mil millones de toneladas de residuos sólidos en todo el mundo (sección 2.4.1).

La quema a cielo abierto proporciona enormes beneficios, reales o percibidos, a quienes la llevan a cabo, y es fundamental entenderlo Aquí se presenta, por primera vez, una revisión de estos factores motivadores, que revela cómo la gente, los gobiernos y las empresas han llegado a confiar en la quema a cielo abierto por una amplia gama de razones (Sección 2.1).

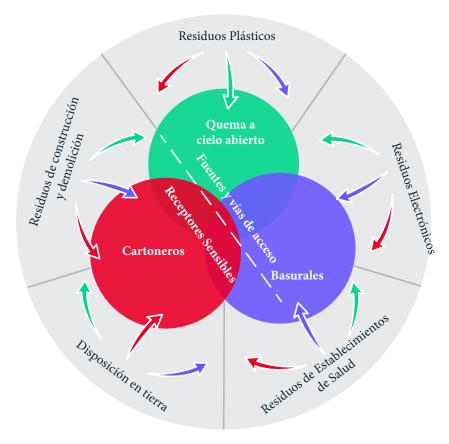


Figura 1: Las cinco áreas temáticas (circuito exterior) destinadas a tres temas transversales e interconectados (diagrama de Venn interior).



Quema a cielo abierto de residuos no recolectados en la acera de la calle principal en Kibera, Nairobi, Kenia; cortesía de Costas Velis (2017).

En varias circunstancias, los beneficios e inconvenientes de la quema de residuos a cielo abierto requieren una evaluación más detallada, que se recomienda en este informe (apartado 2.4.2). Por ejemplo, los residuos de establecimientos de salud contienen tanto PVC como patógenos potencialmente mortales y, a falta de un tratamiento alternativo, a veces se aconseja generar dioxinas nocivas quemando PVC en lugar de arriesgarse a contraer una infección por un virus transmitido por la sangre^[6,7]. Esta revisión no pudo encontrar pruebas que respalden tal decisión, una carencia llamativa en la literatura científica, que también requiere atención urgente.

Basurales

La práctica de arrojar residuos concentrados y mezclados a la tierra es el método más antiguo de eliminación^[8] y sigue siendo predominante en muchos LMIC (sección 3.1). A corto plazo, es el método de gestión más rentable en comparación con otras formas de tratamiento y eliminación, lo cual es parte de la razón por la que persiste como opción de gestión de residuos.

Mientras que el acceso a los basurales en los países de ingresos altos se encuentra en gran medida restringido, en los países de ingresos bajos y medios, la alta carga patógena en estas

instalaciones da lugar a un riesgo considerable de infección para los trabajadores que interactúan directamente con los residuos, en particular los del sector informal de recuperación de residuos (también denominado recicladores, sector informal de reciclaje) (Sección 3.3.1). Junto con la agitación frecuente y el calor, el material biológico se atomiza fácilmente en los basurales, exponien- do a quienes están cerca a través de la inhalación. La falta de método de inge- niería y la gestión simplista inherente a los basurales da lugar a un alto índice de accidentes laborales, muchos de los cuales no están documentados (Sección 3.3.2).

Trágicamente, esta revisión revela que más de 31 personas han muerto cada año desde 1992 debido a los fallos registrados en los taludes de los basurales. Estas fallas se producen cuando cantidades abrumadoras de residuos se vuelven móviles al romperse la estabilidad del terreno en la interfaz entre el subsuelo y la matriz de residuos (Sección 3.3.4). Se recomienda tomar medidas urgentes para eliminar el riesgo de este fenómeno totalmente evitable. En primer lugar, identificando los lugares que están en riesgo, cuantificando ese riesgo y tomando medidas para eliminarlo, mediante cuantificando ese riesgo y reubicando a los que están en riesgo de exposición o

aplicando una respuesta de ingeniería para evitar la inestabilidad estructural de la masa amenazante (secciones 3.4.1 y 3.4.2).

Recolectores informales

Se calcula que 11 millones de recicladores recogen cada año más de 90 millones de toneladas métricas (Mt) de residuos para su reciclaje en todo el mundo (Sección 4.2). Ubicados casi en su totalidad en los LMIC, este ejército de emprendedores apoya la economía circular global, trabajando en los basurales, en las calles y como comerciantes que trabajan de puerta en puerta. A pesar de que proporcionan una funcionalidad esencial para "apuntalar" los insuficientes sistemas formales, los trabajadores informales de los residuos son a menudo estigmatizados e incluso criminalizados por sus actividades.

Los recolectores informales están expuestos a un gran número de peligros que provocan mala salud, altas tasas de mortalidad y una menor esperanza de vida en comparación con sus homólogos formales (Sección 4.3). El alto nivel de interacción con residuos de composición química y física desconocida, junto con la falta de equipos de protección y de un régimen de seguridad estructurado, aumenta drásticamente la vulnerabilidad de los cartoneros a la exposición a los peligros. Varias actividades especializadas conllevan un nivel de riesgo muy elevado para los recicladores. Los residuos de establecimientos de salud son recolectados para su reutilización por un pequeño número de recicladores informales y vendidos para su uso por personas que abusan de sustancias y por proveedores de servicios de salud convencionales; exponiendo tanto a los usuarios como a los cartoneros a una infección patógena percutánea (Sección **4.3.2**). Los especialistas en recuperación de residuos electrónicos suelen utilizar el calentamiento, la combustión o la lixiviación con ácido/álcali para recuperar metales y componentes, exponiéndolos a cantidades considerables de sustancias potencialmente peligrosas que se liberan durante estos procesos (Sección 4.3.1).

Los resultados de seguridad para los cartoneros deben mejorarse a través de la inclusión y la integración en lugar de la exclusión y la prohibición

Mejorar las condiciones de seguridad para los trabajadores informales de los residuos es una empresa compleja. Los esfuerzos realizados en el pasado por los gobiernos y las empresas se han centrado a menudo en la exclusión y la prohibición, dejando a algunas de las personas más pobres y marginadas del mundo sin los materiales de los que dependen para obtener ingresos (sección 4.4.1). Los datos de investigaciones anteriores abogan por que los esfuerzos de los trabajadores informales de los residuos reciban un mayor reconocimiento a través de su inclusión e integración en los planes formales de gestión de residuos sólidos municipales^[9, 10]. Si la inclusión y la integración tienen éxito, pueden mejorar los resultados en materia de seguridad para los trabajadores informales de los residuos, ya que sus ingresos se estabilizan y las partes interesadas más amplias

(por ejemplo, los municipios) también se interesan por su bienestar general como proveedores de servicios fundamentales. El acceso controlado a los basurales se considera una intervención exitosa en Sudáfrica, donde a los cartoneros o recicladores se les permite el acceso controlado a los basurales a cambio de cumplir con los protocolos de salud y seguridad^[11, 12] (Sección 4.4.1).

Cuando esto no es posible, la exclusión de las zonas más peligrosas de los basurales, como el frente de operaciones, también ha dado buenos resultados. Sin embargo, es fundamental que esto se lleve a cabo en colaboración con los trabajadores para garantizar que puedan mantener el acceso al material del que dependen para obtener ingresos.

Proporcionar espacios de trabajo seguros e infraestructuras para almacenar, clasificar y embalar el material, tal y como se ha demostrado en las cooperativas brasileñas y en Macedonia del Norte^[13],

puede permitir mejorar la seguridad, aunque también existen pruebas de nuevos retos en materia de seguridad y bienestar [14]

Recomendaciones

Este estudio plantea 11 recomendaciones de actuación urgente y 18 recomendaciones de investigación adicional que se detallan a lo largo del informe, se resumen en la **sección 5** y se mencionan brevemente en la **tabla 1** y la **tabla 2**.

Se pretende que estas recomendaciones sean consideradas con más detalle por las organizaciones pertinentes, como los proveedores de ayuda oficial al desarrollo y los que gestionan las agendas de investigación e innovación.

Hay que actuar con urgencia para evitar que los productos, objetos y estructuras sigan dañando la salud y el bienestar de las personas cuando lleguen al final de su vida útil.

Tabla 1: Resumen de 11 respuestas urgentes para mitigar el daño.

Quema a cielo abierto	Basurales	Recolectores informales
Gestionar los residuos para que las poblaciones no tengan que gestionar los suyos mediante la quema a cielo abierto	Reducir la cantidad de material depositado en los basurales	Restringir el acceso a los entornos peligrosos en estrecha colaboración con los trabajadores informales de los residuos
Gestión de la continuidad de la quema a cielo abierto mediante la orientación para llevar a cabo una combustión más segura	Transformar los basurales existentes mediante una serie de pasos transitorios rentables	Facilitar el acceso gestionado a los basurales
Eliminar o sustituir las sustancias seleccio- nadas (por ejemplo, los metales catalíticos o los compuestos de bromo) utilizadas en el sistema de productos en zonas en las que la quema a cielo abierto es frecuente	Identificar, evaluar y evacuar los lugares con riesgo de deslizamiento de los taludes de los residuos	Restringir la cadena de suministro de determinados artículos y materiales (residuos electrónicos y residuos de establecimientos de salud- RES)
Retirar o sustituir determinados materiales (por ejemplo, plásticos halogenados o poliestireno) utilizados en el sistema de producción en zonas donde la quema a cielo abierto es frecuente		Integrar a los cartoneros en los planes de gestión de residuos sólidos municipales

Tabla 2: Resumen de 18 recomendaciones para seguir investigando e innovando.

	Quema a cielo abierto	Basurales	Recolectores informales	
Implicaciones sistémicas globales y evaluación comparativa	Los tres ámbitos: Investigación e innovación sobre la escala local a global y la naturaleza de los fenómenos y sus implicaciones, y los retos y oportunidades de todo el sistema, incluyendo la evaluación comparativa y los observatorios globales apoyados por pruebas cuantificadas estandarizadas.			
	Obtener datos primarios sobre la prevalencia	Identificación de los basurales (ubicación, extensión, naturaleza)	Desarrollar criterios de información estandarizados para establecer la causalidad controlando los factores de confusión	
	Vincular la prevalencia (arriba) con las prácticas de gestión	Realizar una evaluación del riesgo de deslizamiento del talud	Llevar a cabo una investigación de alta calidad, comparable y procesable que cuantifique el riesgo	
	Desarrollar factores de emisión confiables	Desarrollar una guía para mitigar el deslizamiento de fallo de los taludes	Vincular las observaciones epidemiológicas a las pruebas de exposición al riesgo en los estudios del tipo carga global de la enfermedad	
Riesgo, consecuencias para la salud y cuantificación de las emisiones	Relacionar las concentraciones atmosféricas observadas con la fuente			
	Comparación de riesgos entre las emisiones y la eliminación de patógenos	Normas para la eliminación controlada y gestionada, junto con la orientación y el seguimiento de las medidas transitorias para lograrlo	Paquetes de formación sobre los riesgos y las necesidades y oportunidades de mitigación	
	Desarrollar prácticas/guías de transición para trabajar en la eliminación de riesgos		Capacitar a los cartoneros para que se organicen en mayor medida y pasen de las actividades de alta exposición (frente al basural) a las de menor exposición (recolección de materiales reciclables limpios separados en origen)	
Investigación e innovación a largo plazo para eliminar los riesgos	Evaluar los beneficios y las motivaciones de la quema a cielo abierto	Orientación para mitigar el riesgo de deslizamiento de taludes	Innovación en materia de EPP (Equipos de Protección Personal) y uso que pueda ser utilizable/ aceptable/asequible para los recolectores informales	



Basural informal en Malawi; © WasteAid (2017).

1 Introducción



1.1 Contexto

Junto con el crecimiento de la población y el aumento de la prosperidad económica, la cantidad de residuos sólidos que se generan en la tierra se ha incrementado de forma constante desde el inicio de la civilización humana, y en la actualidad se calcula que hay entre 10.000 y 20.000 millones de toneladas métricas al año, de las cuales 2.000 millones se generan a nivel municipal^[15]. Si se gestionan adecuadamente, los residuos sólidos pueden convertirse en un recurso o eliminarse de forma menos peligrosa para la salud humana o el medio ambiente.

Sin embargo, cuando se gestionan mal, los residuos sólidos pueden dar lugar a la emisión de sustancias y materiales que interactúan negativamente con las personas y el medio ambiente.

En la sociedad contemporánea, son pocos los productos y estructuras de ingeniería que duran indefinidamente, ya sea por su diseño o por su obsolescencia técnica, funcional o estilística. Se puede decir que estos productos y estructuras han completado la fase de uso, han llegado

al final de su vida útil o se han convertido, a efectos legales, en residuos sólidos.

Encargado por Engineering X, una colaboración internacional fundada por la Real Academia de Ingeniería y la Fundación Lloyd's Register, el objetivo de esta investigación es ofrecer una visión global de los aspectos de la salud y la seguridad laboral, comunitaria y pública de los materiales, objetos e infraestructuras complejas cuando se gestionan al final de su vida útil. La investigación siguió cinco áreas temáticas preestablecidas:

Residuos plásticos.

- Residuos de Construcción y demolición (RCD)
- Productos de establecimientos de salud y consumibles (en adelante, RES)
- Residuos de aparatos electrónicos y eléctricos (en adelante, RAEE).
- Rellenos sin controles de ingreso ni controles ambientales (en adelante, basurales)

Estas áreas temáticas se eligieron por dos razones: en primer lugar, porque no existe ninguna revisión global exhaustiva de los retos de seguridad asociados a ellos; y en segundo lugar, porque cada uno de ellos tiene el potencial de causar daños a las personas (y al medio ambiente) a través de la forma en que se gestionan. En esta investigación se utilizaron tres **preguntas de investigación** para lograr el objetivo principal:

PI1: ¿Qué pruebas existen en cada una de las áreas temáticas que indiquen un riesgo para la seguridad pública y laboral?

- PI2: ¿Cuáles son los riesgos comparativos para la seguridad pública y laboral que se derivan de la gestión de productos, estructuras y materiales al final de su vida útil?
- PI3: ¿Qué investigación podría llevarse a cabo que tuviera el mayor impacto en la reducción de daños en las cinco áreas temáticas?

Inicialmente se preveía que la PI3 destacaría una de las cinco áreas temáticas que se convertirían en el centro de una futura convocatoria de financiación. En cambio, la evaluación de riesgos (PI2) indicó tres retos de seguridad transversales e interconectados que surgieron como el mayor riesgo para la salud humana (Sección 1.5), y son estos tres temas generales los que constituyen la base de este informe:

- Quema de residuos a cielo abierto combustión incontrolada(Sección 2).
- Basurales eliminación de tierra sin control (Sección 3).
- El sector informal de los residuos(recolectores informales) receptores sensibles (Sección 4).

Cada uno de estos temas generales está respaldado por un conjunto de siete revisiones sistemáticas que responden a las preguntas 1 y 2. Éstas se han publicado y están disponibles para su consulta[162, 163, 164, 165, 166, 167, 168] en un repositorio de preimpresos y se han sometido a revisión por pares en revistas académicas.

La relación entre el riesgo para la salud humana y los residuos sólidos -objetos de ingeniería después de su uso- se ha descuidado en parte en las prioridades de la investigación científica moderna



Un recolector informal transporta el material reciclado en un basural cerca de Cimahi, Java Occidental, Indonesia; © motorclassic (2005).

1.2 Los residuos solidos y el fin de la vida útil mas segura

Una estimación del mejor orden de magnitud sugiere que, posiblemente, entre 12 y 20 millones de personas están empleadas en la gestión formal de residuos sólidos urbanos en todo el mundo. Además, entre 10 y 20 millones más pueden trabajar de manera informal como recicladores/empresarios, que complementan o mantienen sus medios de vida recuperando materiales y objetos desechados por otros^[16].

La naturaleza de los residuos, como su composición imprevisible, su modo de aparición, su gran heterogeneidad, sus propiedades (a veces) peligrosas, y su procesamiento e interacción con el medio ambiente, pueden contribuir a un mayor nivel de riesgo experimentado por quienes los gestionan, en comparación con otros sectores laborales. La gestión de residuos sólidos puede ser una de las ocupaciones más peligrosas para el trabajador,

con el manejo de maquinaria pesada, el movimiento de vehículos, el trabajo a la intemperie y, a menudo, las largas e insociables horas de trabajo. Por ejemplo, en el Reuno Unido, un país bien regulado y vigilado, cada año mueren aproximadamente siete trabajadores del sector de la gestión de residuos por cada 100.000, unas 16 veces más que la media de todas las industrias^[17]. Además, el 4,5% de los trabajadores sufre problemas de salud, una cifra significativamente superior al 3,1% de media en todas las industrias^[18].

A mediados del siglo XIX, la protección de la salud pública impulsó la creación de la gestión moderna de residuos^[2]. Sin embargo, en las últimas décadas, otras consideraciones han diluido esta prioridad (por ejemplo, la recuperación la recuperación de recursos y los imperativos del cambio climático), ya que la protección de la salud pública se ha logrado en gran medida en el occidente próspero.

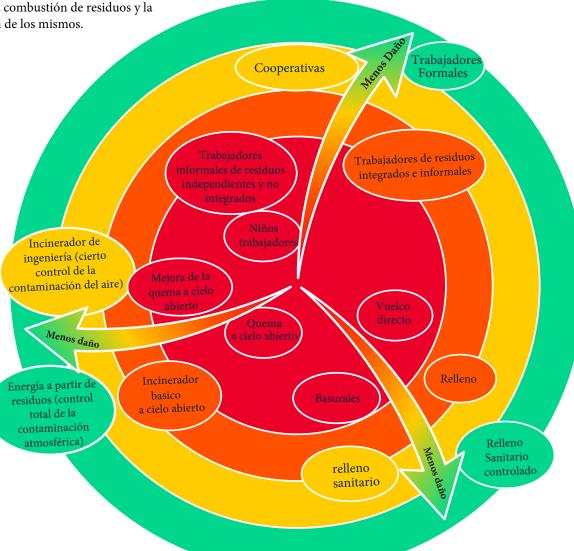
Además, los gobiernos se dejan influir más fácilmente hacia la progresión de las prácticas de gestión de residuos por el atractivo de la creación de empleo o la mejora económica. Por lo tanto, la relación entre el riesgo para la salud humana y los residuos sólidos ha sido posiblemente descuidada en las prioridades de la investigación científica moderna^[19], a pesar de los enormes problemas pendientes que persisten en los países de ingresos bajos y medios (LMIC),

y de los tremendos avances generales en la capacidad de la comunidad científica para llevar a cabo investigaciones relevantes, incluyendo avances relevantes en el Sur Global.

Sin embargo, en los LMIC las lesiones derivadas de las actividades de gestión de residuos sólidos no suelen estar documentadas y, aunque se registran las muertes, rara vez se controlan y a menudo no se informa de ellas. La Organización Internacional del Trabajo^[20] gestiona un repositorio de datos sobre salud laboral recopilados durante la última década, pero las normas de notificación son diferentes en los distintos países, lo que provoca una gran variabilidad y una confianza limitada en los datos.

No existe una recopilación exhaustiva de datos a nivel nacional sobre el estado de salud laboral de los trabajadores informales de los residuos, que realizan una parte importante de las actividades de gestión de residuos en muchos países, lo que complementa la falta de servicios integrales prestados por sus municipios[21]. La disociación de los resultados negativos para la salud de las condiciones generales de vida y el entorno de los recicladores y la identificación de los vínculos causales con peligros específicos es compleja y desafiante, dada la gran variedad de factores que podrían contribuir a su mala salud v morbilidad^[22]. Además, muchos estudios que evalúan o revisan la salud del sector del reciclaje informal pueden no ser metodológicamente sólidos^[23]. Tanto si los trabajadores de los residuos sólidos tienen un empleo formal como si son empresarios informales, faltan investigaciones que exploren específicamente las interacciones entre los materiales/objetos/estructuras complejas de final de vida útil que manejan, cuando se convierten en residuos. En este informe se detalla la base de datos actual sobre las interacciones y el impacto negativo resultante en la salud humana.

Figura 2: Progresión de la reducción de daños junto con la evolución sociotécnica de los trabajadores de los residuos, la combustión de residuos y la disposición de los mismos.



1.3 Práctica de la gestión de residuos: avance hacia condiciones de trabajo más seguras

A nivel mundial, las prácticas de gestión de residuos varían enormemente, al igual que el uso de la terminología para las diferentes tecnologías, actividades, materiales y sustancias. En la figura 2 se muestra la terminología utilizada para describir la evolución técnica y social de los trabajadores de residuos, la combustión de residuos y la disposición final en tierra en el contexto del daño potencial que cada práctica puede causar a la salud humana y al medio ambiente. La presente investigación abarca todas estas etapas, pero se centra en las prácticas situadas

en el centro del diagrama que tienen más probabilidades de causar daños a la salud humana y al medio ambiente. Este diagrama pretende ser sólo una guía, y se reconoce que la progresión entre cada paso es gradual y se superpone, y es probable que haya contextos en los que algunos de los pasos pueden ser intercambiados.

1.4 Lo que no realiza este estudio

Aunque este estudio se centró en las cinco áreas temáticas descritas en la sección 1.1, no pretendía ser una evaluación genérica y amplia de la salud laboral y pública en el sector de los residuos en general, y ya hay varias investigaciones que lo hacen^[24-27]. En su lugar, el estudio excluyó específicamente la comparación más amplia de los problemas

de seguridad en el sector de los residuos en su conjunto, centrándose en los temas específicos. Esto significa que no se incluyeron ciertas actividades que normalmente se considerarían retos de seguridad en materia de residuos, como la recogida de residuos sólidos urbanos (RSU) mixtos, la clasificación de materiales mixtos, el compostaje y la digestión anaeróbica, y las plantas de incineración de RSU mixtos (energía a partir de residuos).

Es innegable que existe un cierto solapamiento con estas categorías más amplias: al excluirlas del ámbito de la investigación de este estudio se revelan peligros particulares que, de otro modo, podrían quedar en la sombra.

Los riesgos para la seguridad laboral y pública derivados de los residuos son, en su inmensa mayoría, mayores en los países de ingresos bajos y medios

Retos de seguridad transversales e interconectados

En lugar de indicar un grupo específico de materiales, la categorización de las combinaciones peligro-vía-receptor (H-P-R) dio lugar a tres temas emergentes (Figura 3). En primer lugar, el análisis del contexto de la actividad indicó un número considerable de combinaciones H-P-R altas y medias que implicaban una combustión sin control (quema a cielo abierto). Un segundo patrón indicativo surgió cuando los riesgos se clasificaron por receptor, con el sector informal de los residuos representado en un número ligeramente mayor de combinaciones H-P-R altas y medias en comparación con otros receptores. La mayoría de las combinaciones H-P-R se centran en actividades y contextos en los LMIC,

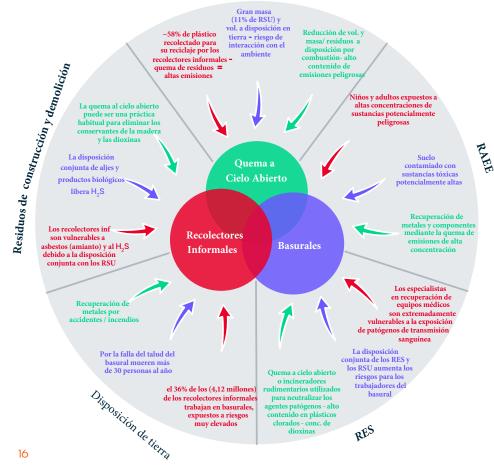
donde los recursos para proporcionar condiciones de trabajo seguras son limitados, y los marcos normativos y de aplicación de la ley son a menudo insuficientes para proteger de forma integral la salud y la seguridad pública y laboral. La aparición de la quema a cielo abierto y del sector informal de los residuos como actividad de alto riesgo y grupo receptor, respectivamente, también es destacable por la interacción entre ambos. Los participantes en el sector informal de los residuos suelen provocar la quema a cielo abierto, pero los trabajadores informales y

sus comunidades, por ejemplo en los asentamientos informales, son también los más vulnerables a la exposición por las emisiones asociadas.

El tercer tema transversal

El tercer tema transversal que surgió como área prioritaria en este estudio fue el de los basurales, que se eligió en parte por varias combinaciones H-P-R que obtuvieron una puntuación alta o media alta, pero también porque los basurales son lugares centrales donde interactúan tanto la quema a cielo abierto como el sector informal de los residuos. En combinación, los tres temas elegidos para el análisis posterior ejemplifican la mayoría de las combinaciones H-P-R identificadas en esta investigación.

En las **secciones 2, 3 y 4** se describen los principales problemas de seguridad asociados a cada uno de estos tres temas, se analizan las medidas urgentes que podrían adoptarse para reducir los daños y se destaca la necesidad de investigación futura específica que podría llevarse a cabo para abordarlos.



Residuos Plásticos

Figura 3: Las cinco áreas temáticas (circuito exterior) desglosadas en tres temas transversales e interconectados (diagrama de Venn interior).

2 Quema a cielo abierto

2.1 La motivación por la quema a cielo abierto

En todo el mundo, los residuos se queman abiertamente como método de reducción de volumen y masa, especialmente en zonas en las que no se prestan servicios de recolección de residuos [15, 32]. Además, la quema de residuos disminuye su bioactividad^[33], lo que significa que los animales carroñeros tienen menos posibilidades de alimentarse, reproducirse y transmitir patógenos, y minimiza los olores desagradables^[33]. Incluso hay informes de que la quema de residuos a cielo abierto se realiza para repeler a los mosquitos, que transmiten la malaria^[34].

La quema a cielo abierto reduce y destruye muchos agentes patógenos presentes en los residuos que, de otro modo, podrían suponer un riesgo para quienes se encuentren con ellos^[6].

Por ejemplo, los RES suelen esterilizarse por combustión en incineradores controlados^[35]. Cuando no se cuenta con ellos o su funcionamiento es prohibitivo, pueden utilizarse instalaciones más rudimentarias, seguidas de la quema a cielo abierto como último recurso, ya que se sigue considerando la siguiente mejor opción para reducir la carga de patógenos^[7, 36-42].

Los participantes en el sector informal del reciclaje utilizan la quema a cielo abierto como método de recuperación de materiales, eliminando los materiales combustibles para poder acceder a los metales sin tener que dedicar tiempo a la desagregación de complejos montones de material^[32, 43, 44]. Se trata de una práctica habitual entre los trabajadores del sector informal de reciclaje de RAEE, que lo hacen para recuperar el cobre de los cables eléctricos, así como los componentes de los residuos eléctricos y electrónicos de mayor tamaño^[45-47].

Si bien la quema de residuos a cielo abierto suele ser llevada a cabo por miembros del público, también hay pruebas de que las autoridades municipales la utilizan como método de tratamiento.

Por ejemplo, Pansuk et al.[48]



Figura 4: La motivación y los beneficios (percibidos o reales) de la quema a cielo abierto.

funcionarios municipales entrevistados (n = 96) y a propietarios de viviendas (n = 4.300) en toda Tailandia, se ha descubierto que aproximadamente el 2,5% del material era recolectado por las autoridades locales y posteriormente quemado en montañas o pilas de residuos al aire libre como método de tratamiento rentable. En otro estudio, Garfi et al.^[32, 161] informaron que los residuos de entre 70.000 y 80.000 refugiados saharauis (Argelia) utilizan la quema a cielo abierto como único método de gestión de residuos.

En un sentido perverso, la quema al descubierto puede ofrecer una serie de beneficios percibidos o reales a personas que están fundamentalmente en desventaja por no tener acceso a la recolección de residuos, y a los servicios

e infraestructuras de recolección, tratamiento o disposición de residuos (contabilizados en aproximadamente 2.000 millones y 3.000 millones en todo el mundo, respectivamente en 2012)[15], porque mineraliza eficazmente los residuos biológicos y reduce su potencial de peligro biológico sin apenas coste alguno (Figura 4). Desde el punto de vista de muchas personas, la quema a cielo abierto de los residuos sólidos los hace desaparecer -una solución que no se ve, pero en realidad, produce una amplia gama de sustancias potencialmente peligrosas que suponen un riesgo considerable para la salud humana (además de contribuir a la contaminación ambiental dispersa).

La mayoría de las pruebas de las quemas a cielo abierto se basan en suposiciones de expertos y datos de encuestas, con muy pocas pruebas sólidas de prevalencia



2.2 Prevalencia de la quema a cielo abierto

Las estimaciones de la masa de residuos sólidos urbanos que se queman a cielo abierto oscilan entre el 1% y el 50% (en peso), con una gran variabilidad según la ubicación geográfica y la ruralidad (**Tabla 3**). La mayoría de estos estudios basan sus estimaciones en suposiciones^[49-54], mientras que otros se basan en entrevistas con funcionarios y expertos^[48, 55], en datos de encuestas residenciales^[56, 57] y, en un caso, en encuestas de tránsito para observar la prevalencia en las calles de las ciudades indias^[50].

Un estudio muy citado, realizado por Wiedinmyer et al.^[49], estimó las emisio-nes atmosféricas globales de la quema a cielo abierto. El modelo incluía una estima-ción básica de la prevalencia, concluyendo que el 41% de todos los RSU se queman a cielo abierto en todo el mundo.

Sin embargo, debido a la falta de datos empíricos disponibles, el modelo utilizó una suposición de un informe del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático^[58] basada en una consulta a expertos

Las pruebas sobre la masa de residuos quemados a cielo abierto en los basurales son muy limitadas. Muchos estudios se refieren a observaciones anecdóticas de este procedimiento[15, 32, 43, 44, 51] y en esta investiga-ción también se han encontrado filmaciones [59-61] y artículos de prensa[62, 63] que proporcionan pruebas indicativas. Sólo dos estudios, el de Wiedinmyer et al.[49] y el del National **Environmental Engineering Research Institute** (NEERI)[55] en la India, proporcionan estimaciones de masa/proporción, pero ninguno de ellos tiene una base empírica. Los incendios severos en los HIC, denominados "incendios en basurales", se notifican con mayor frecuencia [64-66], aunque la métrica es como una ocurrencia discreta y no sobre la base de la masa quemada.

Tabla 3: Resumen de las estimaciones de la masa de residuos sólidos quemados a cielo abierto (Velis y Cook)^[163].

Denominador	Contexto	Proporción
Todos los residuos sólidos	LMIC	1 - 50%
municipales RSM	HIC (Rural)	25 - 32 %
Residuos Sólidos domiciliarios	LMIC	2 - 66%
Residuos no recolectados	LMIC	2 - 60%
Residuos no recolectados	HIC	13%
Residuos de basural	LMIC	60%
	HIC	13%
Residuos en rellenosª	LMIC	10%
Residuos recolectados	LMIC	2.5%

^a la definición de relleno en este contexto no se especifica y es probable que los lugares

descritos se clasifiquen como un basural a cielo abierto.

La prevalencia de la quema de RES a cielo abierto está mejor evidenciada, y seis estudios indicaron un rango de entre el 26% y el 100% en los LMIC de África, Asia Central, del Sur y del Sudeste (Figura 5).

En varios ejemplos, se informó de la combustión de residuos médicos en incineradores rudimentarios construidos con ladrillos. Aunque estos dispositivos mejoran la temperatura de combustión en comparación con la quema al aire libre, carecen de fuentes de combustible auxiliares para mantener una temperatura suficientemente alta y no incorporan tecnología de control de emisiones (contaminación atmosférica). La imagen de la derecha ejemplifica una de las deficiencias de este tipo de combustión semicontrolada, en la que se ha dejado que el fuego se consuma y la chimenea no genera una corriente ascendente.

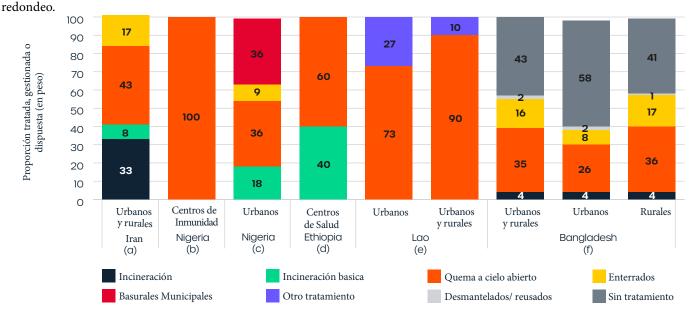
Como método de recuperación de recursos secundarios, los recicladores de RAEE practican ampliamente la quema a cielo abierto

para recuperar el cobre del cableado eléctrico^[45-47] y los componentes ligados de los equipos eléctricos y electrónicos^[67-69, 162]. No se han encontrado pruebas que indiquen la prevalencia de esta actividad, ya que los estudios suelen centrarse en la presencia de sustancias potencialmente peligrosas en los receptores bióticos y en los compartimentos ambientales. (Figura 6). Hay una falta similar de investigación que demuestre la quema abierta de residuos de construcción y demolición, a pesar de que varios autores^[70-72] afirman que la actividad está muy extendida. Especulativamente, es probable que la quema a cielo abierto de residuos de construcción y demolición exista con la misma prevalencia que cualquier otro residuo en un país en el que la mala gestión de los residuos también es frecuente, ya que es una solución sin costes para deshacerse de la madera y los plásticos no deseados. Aunque, al igual que ocurre con otros tipos de residuos, es poco probable que la eliminación sea siempre la vía preferida si el material tiene valor, como sugieren Dania et al.[73],

que dedujeron que en Nigeria es probable que la madera se venda para obtener leña, dado su alto valor como combustible en las comunidades empobrecidas energéticamente.



Figura 5: Comparación de los métodos de gestión de RES en países seleccionados; datos según: (a)[38]; (b)[36]; (c)[40]; (d)[39]; (e)[41]; (f)[42] (Véase la sección E.2.4.2 para una revisión completa). Algunas columnas no suman el 100% debido al



Varios estudios han encontrado niveles elevados de plomo (Pb) en la sangre de los niños que viven en los sitios de recuperación de los RAEE

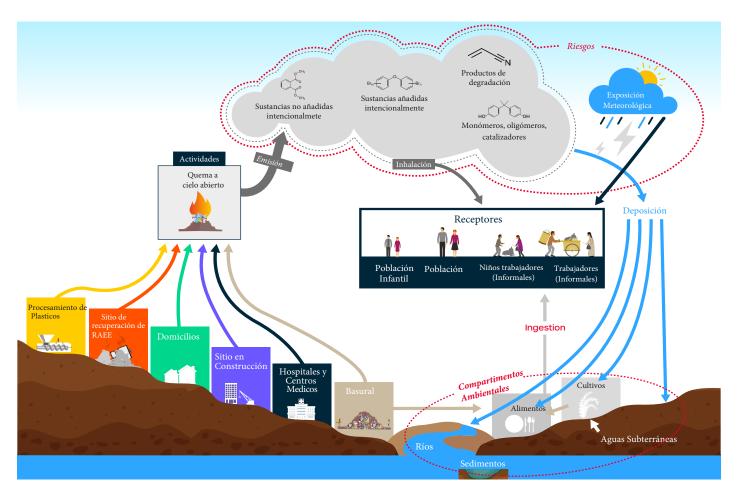


Figura 6: Modelo conceptual de exposición al peligro (fuente - vía - receptor) asociado a la quema abierta (sin control) (de las sustancias contenidas y de los productos de la combustión).

2.3 Desafíos de seguridad debido a la quema a cielo abierto

2.3.1 Liberación de sustancias peligrosas durante el proceso de combustión

La quema de residuos a cielo abierto, en sus múltiples formatos, da lugar a la emisión de una amplia gama de sustancias potencialmente peligrosas, volatilizadas y transformadas por acción del calor y a través de la interacción mutua^[163]. Estas sustancias pueden ser inhaladas directamente, o distribuidas por el medio ambiente y posteriormente ingeridas, captadas por los cultivos o absorbidas por la piel de la fauna.

Muchas de estas sustancias potencialmete peligrosas existen en casi toda la antroposfera en concentraciones en las que hay pocas pruebas para sospechar que son perjudiciales. Sin embargo, esta revisión encuentra pruebas de emisiones de varias sustancias procedentes de la quema al aire libre que están clasificadas como contaminantes orgánicos persistentes (COP), así como aquellas que son carcinógenas, mutagénicas, causan alteraciones inmunológicas y del desarrollo, y pueden provocar anomalías reproductivas[162, 163, 166, 168].

Para comprender la posible exposición al peligro de las actividades de quema al aire libre, primero es necesario caracterizar y cuantificar las posibles emisiones generadas en varios contextos globales. La quema a cielo abierto es una actividad dispar, que se lleva a cabo en una multiplicidad de situaciones diferentes, donde a veces se clasifica como ilegal y socialmente inaceptable, pero no necesariamente. Por lo tanto, las pruebas que indican la magnitud y la naturaleza de las emisiones peligrosas procedentes de la quema a cielo abierto no ofrecen una imagen completa y deben cotejarse identificando las sustancias de interés en una serie de compartimentos y receptores medioambientales en el contexto de diversas actividades.

Cuando los materiales se calientan, las sustancias no ligadas en su interior se agitan y migran a la superficie, desde donde pueden liberarse a la atmósfera en forma de gotas o gases. Esta revisión puso de manifiesto que los plásticos son una fuente significativa y potencialmente importante de algunos de estos grupos de sustancias, entre los que se encuentran los retardantes de llama bromados (BFR), los elementos potencialmente tóxicos (PTE), los ftalatos y el bisfenol A (BPA)[163, 168]. Además, los conservantes de la madera, como el arseniato de cobre cromado (CCA), que se utilizaban históricamente en la madera de construcción, se relacionaron con altas concentraciones de arsénico, cromo y cobre en la atmósfera y en las cenizas de los lugares de quema de residuos de la construcción^[74].

Los materiales presentes en conjuntos de artículos complejos también pueden volatilizarse cuando se calientan, por ejemplo, en el reciclaje informal de RAEE, donde los agentes de unión metálicos y no metálicos, como las soldaduras y los plásticos termoestables, se calientan y se queman para recuperar componentes y metales para su reciclaje^[162].

Esta revisión ha identificado un creciente cuerpo de investigación que ha determinado las concentraciones de estas sustancias potencialmente peligrosas en compartimentos ambientales cercanos a las actividades de quema abierta de plásticos y RAEE como en la atmósfera, el suelo, los sedimentos, el polvo y el agua^[162-163].

Además, varios estudios identificaron altas concentraciones de muchas de estas sustancias en la sangre, la orina y el cabello de las personas involucradas en la quema abierta de RAEE y plásticos, así como de los que viven cerca de ellos^[162-163]. Es alarmante que varios estudios hayan encontrado niveles elevados de plomo en la sangre de niños



Un trabajador informal recupera metales y componentes quemando plásticos en el basural de Agbogbloshie, Accra, Ghana; © Aline Tong (2016).

(receptores biológicamente vulnerables) que viven en lugares de reciclaje de RAEE en China^[75, 76], así como niveles muy elevados en la sangre de niños trabajadores que queman RAEE en Uruguay^[77]. Estas pruebas deben interpretarse también en el contexto de la mayor vulnerabilidad intrínseca de los niños receptores, que pueden no tener más remedio que soportar esa exposición, como única estrategia de supervivencia o contribución anticipada a los ingresos familiares.

2.3.2 Interacciones y transformaciones durante la combustión

Las emisiones de la combustión a cielo abierta no sólo son el resultado de las sustancias que se encuentran en el interior y en la superficie de los materiales, sino también de las interacciones y transformaciones dentro de la zona de combustión. La quema a cielo abierto tiene lugar a temperaturas relativamente bajas en comparación con las plantas de incineración/energía de residuos de combustión controlada^[163].

Incluso cuando los fuegos abiertos alcanzan una alta temperatura en su punto máximo de combustión, los datos a priori sugieren que habrá periodos al principio, al final y en las zonas de la periferia del fuego en los que se produce una combustión incompleta

El resultado es la producción de una serie de sustancias que pueden causar graves daños a la salud humana si se inhalan, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), las dioxinas y compuestos relacionados (DRC), partículas minerales (PM) y una serie de compuestos orgánicos volátiles (COV)[162-163]. Además como la potencial carcinogenicidad de algunas de estas sustancias cuando se inhalan, la deposición de la atmósfera en superficies, suelos y sedimentos las pone en riesgo de ser ingeridas directamente, ingeridas con los alimentos o absorbidas por los cultivos e ingeridas como parte de los alimentos.

La combustión a baja temperatura es inherente a los fuegos a cielo abierto, lo que da lugar a la formación y liberación de una serie de sustancias que pueden causar graves daños a la salud humana



Quince de las veintinueve combinaciones de peligro-vía-receptor evaluadas como de "alto riesgo" en este estudio tenían que ver con la quema a cielo abierto de residuos, de los cuales la "inhalación" fue la vía de exposición en ocho [162-168]. Los RES, en particular, obtuvieron una puntuación muy alta debido a su alto contenido en plásticos clorados que forman dioxinas durante la combustión [164]. Los trabajadores informales de los residuos también fueron señalados como algunos de los receptores a la exposición por la proximidad a la quema a cielo abierto y la falta de equipos de protección (Sección 4.3)

2.3.3 Cuantificación del riesgo

La evaluación semicuantitativa del riesgo que se ofrece en el presente estudio tenía por objeto proporcionar una indicación del enfoque de la agenda de investigación, más que un riesgo cuantificado para la salud humana (Apéndice A). Sin embargo, hay un número de estudios que han llevado a cabo evaluaciones cuantitativas de los riesgos a nivel de población para la salud humana derivados de la quema a cielo abierto, basándose en las concentraciones medidas y en la exposición modelizada.

El más reciente es el de Williams et al.^[78] que detalló en un estudio de

Kodros et al.^[79] y en la base de datos Global Burden of Disease del Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME)[80] para estimar entre 270.000 y 270.500 muertes prematuras al año como consecuencia de la quema a cielo abierto de residuos. Otro modelo de Shivani et al.[81] estimó que la "quema de plásticos y residuos" (combinada) contribuye en un 13,5% al material particulado 2,5 (masa por metro cúbico de aire de partículas con un tamaño (diámetro) generalmente inferior a 2,5 micrómetros) y en un 5,1% a los casos de cáncer de pulmón (5.000 por millón de habitantes) o 255 casos por millón en las ciudades indias. Estos estudios se centran en la inhalación atmosférica de PM. Sin embargo, hay una serie de sustancias notables, destacadas en esta revisión, que han sido revisadas a escala local y regional cerca de las instalaciones de quema de RAEE, mostrando riesgos muy altos para los que viven en los sitios y sus alrededores^[162]. Una notable incertidumbre en los estudios de quema a cielo abierto que basan sus conclusiones en las concentraciones en los compartimentos ambientales, es la capacidad de atribuirlas a una u otra fuente.

Por ejemplo, en varias investigaciones de sitios de RAEE, los autores fueron ambiguos en cuanto a la actividad que se realizaba, a menudo refiriéndose vagamente al "reciclaje RAEE" sin especificar el tipo, la ubicación y la magnitud de las actividades [162]. Aunque no sea útil para futuros revisores, esta ambigüedad es comprensible, ya que la recopilación de datos sobre las actividades detalladas de los trabajadores informales requiere mucho tiempo y la vigilancia de estas actividades está plagada de complicaciones,

Entre ellas, la posible reticencia de quienes ejercen la actividad, que pueden ser conscientes de su ilegalidad, lo que podría afectar a los resultados del estudio. La vulnerabilidad de las personas directamente implicadas o que viven cerca es una de las razones principales por las que la quema a cielo abierto recibió una puntuación alta en la evaluación semicualitativa del riesgo (Apéndice A). Ya se ha hablado de la exposición de los niños y de que este grupo de receptores es especialmente vulnerable a sustancias como el plomo y el cadmio que pueden interferir en su desarrollo y, en el caso de los más pequeños, porque comen más tierra que los niños mayores y los adultos.

2.4 Recomendaciones prioritarias de medidaspara reducir los daños causados por las quemas a cielo abierto

2.4.1 Se requieren respuestas urgentes para abordar los principales desafíos

Evitar consecuencias no deseadas

Sin datos mejorados para determinar el impacto de la quema a cielo abierto en el contexto de otros problemas de seguridad ambiental, pública y laboral, es difícil identificar respuestas urgentes para mitigar sus efectos nocivos, ya que de hacerlo, se corre el riesgo de que se produzcan consecuencias negativas o no deseadas. Por ejemplo, si Wiedinmyer et al.[49] están en lo cierto al estimar que el 41% de los RSU del mundo se queman a cielo abierto, el cese de esta práctica podría provocar una catástrofe medioambiental, con cerca de mil millones de toneladas de residuos que requerirían tratamiento o eliminación.

La respuesta urgente para mitigar los efectos nocivos de la quema a cielo abierto es, por tanto, encontrar la forma de gestionar de forma segura lo residuos sólidos del mundo utilizando los métodos más rentables disponibles.

Una combinación de intervenciones

Las recientes contribuciones de Lau et al. [16] indican que la cantidad de residuos plásticos que se generan en la tierra está aumentando más rápido que la capacidad de las autoridades municipales mundiales de gestionar. Esto sugiere que, si no se interviene de aquí a 2040, la crisis de la gestión de los residuos sólidos provocará la entrada de un número considerablemente mayor de materiales en el medio acuático. La investigación sugiere que ninguna intervención de gestión de residuos por sí sola será suficiente para mitigar la masa cada vez mayor de material que se genera; y que es necesario un conjunto de intervenciones combinadas para lograr una reducción. Esto debería incluir medidas como el aumento de la masa de plástico reciclado,

la reducción de la masa de plástico producido y el aumento de la masa de material recogido. El camino detallado para lograr estas intervenciones no se determinó en la investigación, ya que su objetivo era establecer las implicaciones económicas de alto nivel de los escenarios investigados. Sin embargo, es probable que el mismo conjunto de intervenciones sea igual de eficaz cuando se aplique al reto de reducir la quema a cielo abierto.

Restringir el uso de sustancias en los flujos de productos en zonas de alto riesgo

La Secretaría del Convenio de Estocolmo^[82] destaca varias sustancias que deberían evitarse en los fuegos al aire libre para reducir el riesgo de daños a la salud humana. Por ejemplo, el informe recomienda evitar los materiales que contienen metales catalíticos como el hierro, el cobre, el aluminio y el cromo, así como los que contienen compuestos de bromo (como los retardantes de llama bromados) utilizados en los RAEE. Se recomienda que, cuando exista un alto riesgo de quema a cielo abierto, los fabricantes, propietarios de marcas y gobiernos tomen medidas para excluir estas sustancias del flujo de productos para proteger la salud humana.

Sustitución o eliminación de materiales en los flujos de productos en zonas de alto riesgo

Se podría considerar la exclusión de varios materiales del flujo de productos en zonas donde es probable que se produzca una quema a cielo abierto. Por ejemplo, la Secretaría del Convenio de Estocolmo^[82] recomienda evitar el policloruro de vinilo (PVC) y otros plásticos clorados en las quemas a cielo abierto debido a la formación de dioxinas. El poliestireno (PS) también es preocupante debido a las altas emisiones de partículas en comparación con otros plásticos[83, 163]. Dado que los envases son un componente importante de los RSU y, por consiguiente, corren un alto riesgo de ser quemados a cielo abierto en algunas zonas, podría considerarse



Los residuos se queman en un fuego sin contro como forma de eliminación en Kiev, Ucrania; © KAY4YK (2020).

la exclusión de los envases de PVC y PS del sistema como precaución para proteger la salud humana. Hasta cierto punto, el uso de estos dos plásticos en los envases ya se ha disminuido en Europa, aunque la quema a cielo abierto no fue la razón. También se ha debatido la sustitución de los plásticos convencionales por otros materiales como el papel (y el cartón) revestido o los "bioplásticos", por ejemplo por Lau et al^[16]. Aunque el estudio se centró en las emisiones de residuos acuáticos, los principios también podrían considerarse para reducir los riesgos para la salud humana derivados de la quema a cielo abierto. Los metales, la madera y el vidrio podrían también considerarse como materiales alternativos, pero aunque está fuera del alcance de esta investigación evaluar las consecuencias de un cambio en el tipo de material, se recomienda investigar las posibles emisiones de los productos alternativos antes de intervenir de esta manera. Por ejemplo, en un estudio realizado por Yasahura et al.[84] se descubrió que las emisiones de compuestos relacionados con dioxinas procedentes de la quema de papel eran mayores que las de algunos plásticos en un estudio.

Sorprendentemente, sólo un estudio consideró la masa de material que se quema a cielo abierto basándose en observaciones empíricas sobre el terreno



2.4.2 Necesidades de pruebas, déficit de investigación y prospectiva Cantidades quemadas a cielo abierto

Es sorprendente lo poco que se sabe sobre la masa de residuos que se quema a cielo abierto en distintas partes del mundo, especialmente en los basurales y en las zonas de procesamiento de RAEE, donde no hay investigaciones empíricas que demuestren y respalden de forma decisiva los supuestos utilizados en los esfuerzos de contabilidad y modelización realizados hasta la fecha^[163, 165]. Aunque hay algunas pruebas que demuestran que las prácticas de gestión de residuos están mejorando en todo el mundo junto con la prosperidad económica, se desconoce el nivel de avance de la sociedad hacia un mundo sin quema a cielo abierto. Es probable que las prácticas sean muy variables en función de las diferentes normas culturales y de comportamiento. No es de extrañar que existan pruebas que indiquen que esta práctica es más frecuente en las zonas en las que los residuos no se recogen de forma exhaustiva^[56]. Sin embargo, los datos son escasos y a menudo se basan en especulaciones, estimaciones de testigos o en juicios de expertos incidentales en lugar de sistemáticos y metodológicamente controlados, lo que no puede conducir a una cuantificación fiable^[165]. Este llamativo déficit de investigación restringe el progreso en una vía de investigación crítica que requiere urgentemente una investigación para comprender las emisiones atmosféricas y terrestres de la quema a cielo abierto en todos los contextos.

Sorprendentemente, durante esta revisión sólo se identificó un estudio^[50] que modelaba la masa de material que se quemaba a cielo abierto sobre una base consistente de observaciones empíricas de campo. Los investigadores llevaron a cabo un análisis de tránsitos terrestres,

combinado con una encuesta y estimaciones para determinar la masa de material que se quema en zonas urbanas seleccionadas de ciudades indias. Los métodos alternativos de recolección de datos podrían incluir el uso de drones, imágenes por satélite o fotografías de avión, validados con la comprobación sobre el terreno y calibrados con estudios de encuesta, datos y clasificación de residuos. Una de las recomendaciones de este estudio es que se lleve a cabo una importante investigación de campo para intentar determinar la incidencia de la quema a cielo abierto, incluyendo el desarrollo de metodologías estandarizadas para la recolección, interpretación y análisis de datos. Junto a estos esfuerzos, se recomienda que se documenten los detalles de las prácticas de gestión de residuos aplicadas en la zona de estudio, de modo que puedan compararse y correlacionarse con el comportamiento observado, proporcionando pruebas que puedan aplicarse a los modelos de predicción en otros contextos. Se debe tener en cuenta que existe un riesgo potencial de que un estudio sobre la quema a cielo abierto pueda influir en los resultados, el efecto Hawthorne^[85], por lo que cualquier estudio tendría que estar diseñado para evitar que esto ocurra. Por ejemplo, un municipio que quema a cielo abierto los residuos para ahorrar espacio en el basural podría cesar su actividad mientras se lleva a cabo el proyecto, sabiendo que sus

Cuantificación de emisiones

actividades son ilegales o inaceptables.

Existen factores de emisión de sustancias procedentes de la quema a cielo abierto para muchos materiales, como informan tanto Lemieux et al. [72] como Wiedinmyer et al.[49], este último proporciona la clasificación y cuantificación global más completa. La presente revisión identifica varias fuentes adicionales de factores de emisión que resultarán útiles en la futura modelización de las emisiones procedentes de la combustión de residuos plásticos^[86-91], de RAEE^[92, 93] y de incendios de viviendas (útiles para los residuos de construcción y demolición) incluyendo el PVC[94]. Sin embargo, también es necesario evaluar y cuantificar las emisiones de forma más detallada

y de forma más específica, como en los basurales en los que los residuos codispuestos pueden arder durante muchos años; en el caso de los RAEE, que contienen altas concentraciones de PTE, BFR y RDC; y en el de los RES, que tienen un alto contenido de plástico clorado. Una preocupación particular que se destaca aquí es que los factores que se utilizan para calcular los perfiles de emisión no reproducen necesariamente la temperatura heterogénea, el flujo de aire y la composición de la materia prima de un fuego de residuos informal y sin control. Por lo tanto, este informe recomienda que se lleven a cabo más investigaciones para desarrollar factores de emisión más fiables que reproduzcan las condiciones de quema a cielo abierto, en particular en los basurales.

Distribución en origen

Muchas de las concentraciones de sustancias potencialmente peligrosas identificadas por los investigadores en los compartimentos ambientales y receptores son problemáticas para atribuirlas a una fuente en el contexto de factores frustrados como el transporte, la calefacción y la cocina domésticas, la demolición y la industria. Guttikunda et al.[95] hicieron un esfuerzo considerable en este sentido al asignar las fuentes de PM2,5 en 20 ciudades de la India, concluyendo que el 10,5% (rango: 4-20%) son consecuencia de la quema a cielo abierto de residuos. Una solución para el reparto de las fuentes es la identificación de marcadores químicos, como elaboraron Fu y Kawamura[96], que pudieron utilizar el 1,3,5-trifenilbenceno como identificador para determinar la causalidad entre las emisiones de BPA y la quema a cielo abierto de residuos. La identificación de otros marcadores podría ayudar a desglosar los factores frustrados en futuros estudios. Una de las recomendaciones de este estudio es que se lleven a cabo más investigaciones



Unos estudiantes queman los residuos de su escuela en un barril en Kwa-Muhia, Kenia; © WasteAid (2011)

para comprender la contribución de la quema a cielo abierto en el contexto de otras fuentes frustradas, incluida la identificación de especies químicas marcadoras que puedan utilizarse para ayudar a modelar este reparto.

Decisiones difíciles

A pesar de las considerables deficiencias de la quema a cielo abierto, hay circunstancias en las que puede ser o se percibe actualmente como la opción más segura para la eliminación de residuos (sección 2.1). Por ejemplo, en el caso de los RES potencialmente infectados, la quema a cielo abierto ofrece un método gratuito para neutralizar los agentes patógenos, que de otro modo podrían amenazar la salud de los que se encuentran después de la eliminación. Como se explica en [164], la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la quema a cielo abierto como opción de tratamiento de último recurso cuando no hay alternativas^[7], citándola como un método de "eliminación final segura" para los objetos punzantes y los residuos infecciosos^[6]. Si la OMS ha evaluado cuantitativamente el riesgo relativo de las emisiones de la quema a cielo abierto en comparación con el riesgo de infección de los RES que han sido enterrados o descargados a cielo abierto no está claro, y no se ha encontrado ninguna evidencia publicada que corrobore el consejo. El hecho de que los incineradores de RES son una fuente de emisiones de RDC equivalente a la de las incineradoras de RSU de todo el mundo^[97, 98], pero con un rendimiento considerablemente menor, indica que la quema a cielo abierto también es una fuente importante. Por lo tanto, se recomienda que se realicen más investigaciones para evaluar las pruebas de la recomendación de la OMS con más detalle, a fin de determinar si sigue estando actualizada teniendo en cuenta el estado actual de los conocimientos en este ámbito.

Entender la razón de la quema a cielo abierto es fundamental para mitigar la actividad



Un trabajador informal quema el aislamiento de PVC de los cables eléctricos para recuperar el cobre en el sitio de recuperación de residuos de Agbogbloshie, Accra, Ghana; © Aline Tong (2016).

La razón de la quema a cielo abierto

La quema a cielo abierto aporta enormes beneficios (percibidos o reales) a las personas que no tienen acceso a la gestión de residuos sólidos, como la reducción de la masa y el volumen, el control de los mosquitos de la malaria y la reducción del olor y la bioactividad (sección 2.1). Además, para las personas y organizaciones que no pueden eliminar sus residuos peligrosos por ningún otro método, la quema a cielo abierto ofrece la oportunidad de de neutralizar los agentes patógenos antes de que puedan infectar a las personas^[164]. El presente estudio analiza algunos de estos beneficios, pero cabe destacar que la mayoría de los estudios que incluyen relatos de la quema a cielo abierto se centran en los resultados negativos. Si bien es importante destacarlos, comprender los beneficios que la quema a cielo abierto aporta a quienes la llevan a cabo es vital para diseñar intervenciones que mitiguen los efectos negativos de la práctica o reduzcan su prevalencia. Por lo tanto, es una recomendación de esta investigación que se lleven a cabo más estudios para entender mejor las

las razones por las que se realiza la quema a cielo abierto por parte de los diferentes actores, de manera que las intervenciones de respuesta se puedan adaptar a la mitigación de esta práctica.

Desarrollar prácticas de transición

La sospecha de la alta prevalencia actual de la quema a cielo abierto de residuos indica un reto sustancial para reducir y, en última instancia, eliminar la cultura. Se recomienda que se desarrolle un conjunto de marcos y guías de prácticas basadas en la experiencia para ayudar a los responsables políticos, los gobiernos y las empresas con los protocolos y los pasos hacia la reducción gestionada y la eliminación de la práctica, combinando la teoría del cambio de comportamiento con la evaluación del riesgo y dirigiéndose a las áreas donde la presencia es alta.

2.4.3 Mejores Prácticas

Quema a cielo abierto

Las orientaciones sobre la quema a cielo abierto tienden a recomendar la prohibición, el tratamiento alternativo o la evitación de residuos en lugares donde las prácticas de quema a cielo abierto son habituales. Sólo un documento de la Secretaría del Convenio

de Estocolmo^[82] reconoce los beneficios potenciales de la quema a cielo abierto como último recurso y ofrece orientación sobre las mejores prácticas para aquellos que no tienen más remedio que llevar a cabo esta actividad. El informe desaconseja enérgicamente la quema a cielo abierto; sin embargo, cuando es necesaria, por ejemplo para gestionar RES infectados por patógenos, la orientación anima a los profesionales a mantener la temperatura, el flujo de aire y el control cuidadoso de la materia prima, que debe evitar el contenido de plásticos halogenados, así como los BFR y otros COP.

Incineración no controlada

En el caso de las incineradoras que funcionan sin una tecnología eficaz de mitigación de emisiones, existen multitud de controles de ingeniería que reducen eficazmente las emisiones. En Europa, una lista exhaustiva de estas "mejores técnicas disponibles", recopilada por el Centro Común de Investigación^[99], ayuda a los operadores y a los diseñadores de instalaciones a tomar decisiones de ingeniería para garantizar el cumplimiento de la Directiva sobre emisiones industriales 2010/75/UE^[100].

3 Basurales



3.1 Contexto

Depositar el material no deseado en la tierra es el método más antiguo de eliminación de residuos, practicado durante milenios^[8]. Incluso hoy en día, la eliminación en tierra se practica en todos los países HIC y LMIC, ya que es sencilla y rentable en comparación con otros métodos de tratamiento de residuos, al menos a corto plazo.

Históricamente, la eliminación de residuos en tierra consistía en depositarlos directamente en el suelo o en depresiones naturales o artificiales del terreno. Este método sencillo fue suficiente durante muchos siglos. El término contemporáneo para este tipo de instalaciones es "basural". Sin embargo, al aumentar la densidad de población histórica junto con el consumo individual, muchos basurales históricos se vieron desbordados. Al aumentar la masa de residuos, muchos de ellos se volvieron anóxicos, creando las condiciones ideales para que los microbios anaeróbicos florecieran y produjeran metano. A medida que el agua de lluvia atravesaba estos montones de residuos, las sustancias disueltas y el material biológico en suspensión (lixiviados) fueron arrastrados a las aguas superficiales y subterráneas. Los plásticos y el papel volaban por la tierra. Había que hacer algo.

La respuesta lógica a estas transgresiones medioambientales fue el relleno sanitario mecanizado. Se diseñaron gruesos revestimientos de varias capas impermeables para capturar los lixiviados y se instalaron redes de tuberías para capturar los gases antes de que escaparan a la atmósfera. Los basurales se cubrieron: primero con redes y láminas y después con tierra y minerales.

En la actualidad, los residuos de los basurales mejor gestionados se cubren a diario para evitar que el material ligero se escape al terreno circundante y que los animales accedan a él para alimentarse. Son los llamados "rellenos sanitarios".

Sin embargo, a pesar de estos avances, los rellenos siguen presentando muchas deficiencias. Los revestimientos de los rellenos no duran más de 200 años, y posiblemente entre el 10% y el 20% del metano generado no se capta. En consecuencia, en los países de ingresos altos, como Europa, Corea y Japón, así como en China, los rellenos sanitarios están siendo sustituidos por otros métodos de tratamiento y eliminación,

como la incineración con recuperación de energía, el reciclaje, el compostaje y la digestión anaeróbica.

3.2 El basural persistente

Los rellenos sanitarios son un método de eliminación comparativamente barato con una combinación de CAPEX (gastos de capital) y OPEX (gastos de explotación) oscilan entre los 15 dólares por tonelada en los países de renta baja y los 80 dólares por tonelada de residuos depositada en los países de renta alta, en comparación con el coste de la incineración moderna con control de la contaminación atmosférica y captura de energía, que es de unos 120 dólares por tonelada^[5]. Sin embargo, para muchos países de renta baja estos costes siguen estando fuera de su alcance en un contexto de prioridades que compiten por proporcionar asistencia sanitaria, vivienda y alimentos a sus ciudadanos.

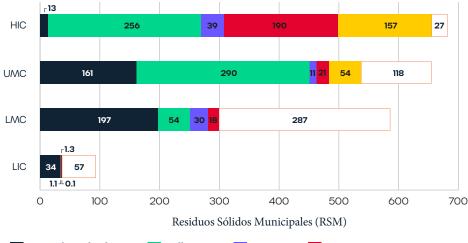
La frontera entre " basural " y "relleno sanitario" es una progresión gradual más que una denotación binaria. En su forma más básica, un basural existe como una pila concentrada de residuos en la superficie del terreno donde se deposita material adicional que los vehículos de recolección dejan en un lugar de su elección.



Los basurales gestionados pueden estar más organizados, con funcionarios que dirigen los nuevos depósitos a determina das zonas y con equipos y maquinarias que compactan y desplazan los montones de material que llegan para aprovechar al máximo el espacio. A veces, los residuos se queman deliberadamente como método de reducción de volumen, y algunas veces las quemas se prolongan durante muchos años. Se pueden añadir revestimientos pero no cubiertas y viceversa. La falta de una barrera

definida entre basural y relleno da lugar a informes incoherentes que pueden interferir en los esfuerzos por intervenir para mejorar los lugares que presentan problemas de seguridad. Aunque se reconocen estas incoherencias, Kaza et al. [101], quienes publicaron el conjunto de datos más completo sobre la gestión de residuos a nivel mundial (**Figura 7**).

Los basurales (a cielo abierto) son la forma predominante de eliminación de residuos sólidos en el LMIC, representando algo más de 400 Mt de residuos



Basural a cielo abierto Relleno Compost Reciclaje
Incineración y otros No recolectado

en depósitos anualmente; el 20% de todos los RSU generados. Los residuos no recolectados representan aproximadamente 490 Mt, y gran parte de ellos también se depositan en tierra. Sin embargo, por muy importantes que sean estos depósitos, esta investigación se centra en las "instalaciones" más grandes y concentradas, los basurales, y sus riesgos asociados. También hay que tener en cuenta que muchos de los sitios LMIC señalados por Kaza et al.[101] como "rellenos", probablemente no se distingan de los basurales en cuanto a su aspecto y gestión, tal y como señalan Lau et al.[16], que afirman que el plástico se escapa libremente de muchos emplazamientos en los LMIC.

3.3 Desafíos de seguridad en los basurales

Las grandes concentraciones de residuos que se amontonan en el terreno representan una serie de retos de seguridad transversales e interconectados que afectan a las personas que trabajan y viven en la proximidad, así como a los sistemas ambientales circundantes. Los desafíos que plantea la quema a cielo abierto ya se han discutido en la sección 2.3 y los riesgos de daño a los recicladores por los RES y las emisiones de H2S por la co-eliminación de aljez y residuos putrescibles se discutirán en la sección 4.3. Por lo tanto, para evitar la repetición, esta sección se centrará en los restantes riesgos significativos revisados por Maalouf et al. [165]

Figura 7: Masa de residuos sólidos urbanos por método de gestión; datos según Kaza et al.^[101]

Los recolectores informales de residuos sufren una alta prevalencia de heridas punzantes, lo que les expone a la hepatitis, el sida, el tétanos y otras enfermedades potencialmente mortales

3.3.1 Material biológico aerosolizado y no aerosolizado

Las condiciones cálidas y húmedas junto con los depósitos de heces de animales domésticos, residuos de alimentos, pañales y desechos humanos^[102] crean las condiciones ideales para que los microbios florezcan en los basurales. Esta elevada carga patógena supone un considerable riesgo de infección para quienes trabajan y viven en los lugares de eliminación de residuos, especialmente los recolectores informales, que están en estrecho contacto con los residuos y que rara vez llevan equipos de protección^[165].

Cointreau^[103] informó de un notable aumento de la morbilidad asociado a las actividades de manipulación de residuos en los basurales, al tiempo que reconocen una serie de condiciones perjudiciales que pueden provocar enfermedades e infecciones (Figura 8). Es importante tener en cuenta estos posibles efectos adicionales, en parte porque los recolecto-res informales suelen tener problemas relacionados con la pobreza, como la mala alimentación o la falta de suministro de agua potable, pero también porque la necesidad de participar en la profesión puede indicar otros aconteci-mientos vitales

externos que podrían afectar a su salud. Mientras que la carga patógena en los basurales presenta un riesgo para los trabajadores por la ingestión asociada a la clasificación con las manos desnudas y la ingestión deliberada de alimentos, también se han notificado concentraciones significativas de material biológico en el aire por múltiples autores^[165]. Las implicaciones nocivas para la salud de la inhalación de bioaerosoles son un tema de investigación en curso debido a las pruebas cuantitativas inconsistentes e insuficientes^[104-107]; sin embargo al menos un autor[104] sugiere que hay suficientes pruebas para indicar que debería adoptarse un enfoque de precaución para reducir el riesgo de inhalación de materia biológica en forma de aerosol.

3.3.2 Accidentes

Además de sufrir una considerable exposición a material biológico (infeccioso) (microorganismos), los recolectores informales de residuos sufren frecuentes accidentes en el transcurso de su trabajo^[165]. Normalmente, no tienen acceso a equipos de protección y pueden percibir el uso de guantes de forma negativa, como un factor que reduce su

destreza y, por tanto, su productividad[108]. Además, es posible que no sean conscientes de los factores externos que podrían exponerles a riesgos, como problemas respiratorios, problemas cutáneos, problemas musculoesqueléticos y lesiones por objetos punzantes, que en una encuesta afectaron al 96% de los encuestados en un basural sudafricano^[109]. Se han notificado lesiones por objetos punzantes de uso médico con una prevalencia de entre el 43% y el 60% ^[110-112], que pueden exponer a las víctimas a la hepatitis, el SIDA, el tétanos y otras enfermedades potencialmente mortales^[111].

3.3.3. Exposición Meteorológica

La naturaleza del trabajo al aire libre también expone a los recicladores y a los trabajadores formales a los elementos y, en particular, al clima cálido y soleado que puede provocar una serie de efectos nocivos, que posiblemente aumenten con el avance del cambio climático. Las consecuencias del calor al aire libre para la salud de los recicladores se analizan en Maalouf et al.^[165], con efectos como dolores de cabeza, estrés térmico de calor, deshidratación, quemaduras solares, sudoración excesiva y dificultades de concentración.

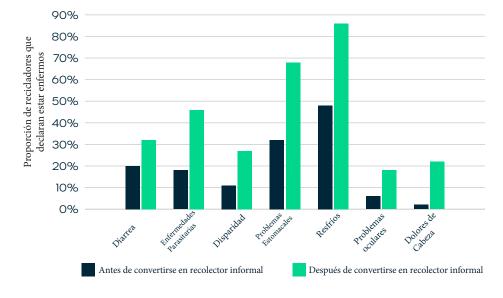


Figura 8: Incidencia de la morbilidad declarada por los trabajadores informales antes y después de la exposición laboral a los residuos; según Cointreau^[103].

Los fallos estructurales de los taludes han provocado desde 1992 al menos 866 muertes confirmadas (aproximadamente 31 al año)

3.3.4 Fallo del talud de residuos

Quizás el riesgo más preocupante que presentan los basurales mal gestionados es el de los fallos estructurales de los taludes de las masas de residuos, que han provocado al menos 866 muertes confirmadas (aproximadamente 31 al año) desde 1992 (Figura 9). Esta revisión encontró 28 incidentes de fallas en taludes de residuos reportados desde 1977, aunque especulativamente esto es poco probable que sea un registro completo ya que muchos de estos tipos de incidentes pueden no haber sido denunciados en los casos en los que no se produjeron víctimas mortales o heridos, lo que elevó el perfil del incidente^[165]. Las razones subvacentes de los fallos en los taludes de residuos suelen combinar una serie de factores, todos ellos relacionados con el almacenamiento de una cantidad excesiva de residuos en una pila.

A medida que la humedad se acumula dentro de la matriz de residuos, la presión de los poros aumenta. Sin embargo, es la interfaz entre la superficie del subsuelo y los residuos la que puede ser el factor más importante, como indicaron Keolsch et al.[113], que realizaron un análisis forense del fallo catastrófico del basurero de Bandung en 2005, que se cobró 147 vidas y destruyó 71 casas. Koeslch et al. indicaron que un incendio profundo había dañado las partículas de residuos que refuerzan la estabilidad del cizallamiento. En combinación con la alta presión del agua en la interfaz entre los residuos y el suelo, la pila se volvió móvil.

Las actividades del sector informal de reciclaje también se han sugerido como causa de la inestabilidad de los taludes, creada por los esfuerzos de los participantes para "extraer" materiales valiosos de la matriz de residuos[114]. Esta sugerencia es totalmente anecdótica; sin embargo, puede presentar un tema para futuras investigaciones sobre la mitigación de fallas en los taludes. Aunque hay ejemplos de fallos en taludes de residuos en HIC, prácticamente todos los casos y todas las muertes registradas tienen lugar en LMIC. Aunque no se ha realizado un análisis detallado, el gran número de muertes parece afectar a los más pobres que trabajan en los basureros o viven muy cerca de ellos.

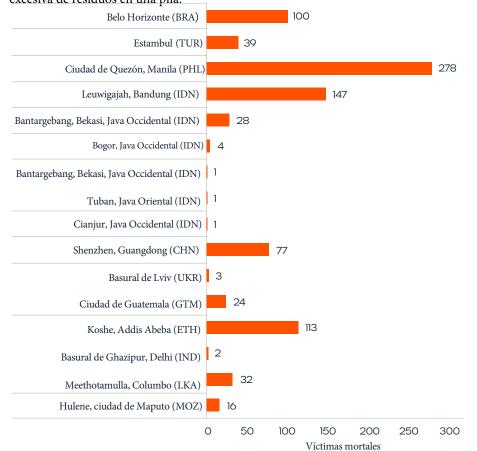


Figura 9: Número de víctimas mortales confirmadas en fallos de taludes de residuos notificados en vertederos desde 1992^[165].



3.4 Recomendaciones prioritarias de actuación para reducir los daños

3.4.1 Se necesitan respuestas urgentes para afrontar los principales retos

Reducir la cantidad de material depositado en los basurales

Dado el gran número de muertes y el impacto devastador de los fallos en los basurales en los últimos años, además de otros daños asociados a los mismos, se recomienda tomar medidas urgentes para reducir la probabilidad de que se produzcan en el futuro estos incidentes evitables. La respuesta inmediata más sencilla es dejar de entregar residuos en todos los basurales. Aunque esto no evitará el fracaso de las estructuras de residuos previamente construidas, es probable que evite que el riesgo aumente. El desvío de material a otras formas de tratamiento rentable es un enfoque explorado en la sección 3.4.3, en particular los orgánicos, que constituyen más del 50% de los RSU en los LMIC y los reciclados secos que ya son recogidos en grandes cantidades por el sector del reciclaje informal.

Sin embargo, el material restante tendrá que ser eliminado en algún lugar y la falta de recursos disponibles en el contexto de múltiples prioridades en competencia seguirá siendo un reto para muchos gobiernos municipales de los LMIC; muchos de los cuales están en bancarrota y no pueden ni siquiera pedir préstamos (por ejemplo, al Banco Mundial) para financiar la construcción.

El basural de transición

Si se dispusiera de los recursos necesarios para construir rellenos de ingeniería u otros tratamientos alternativos, ya se habrían construido, por lo que se sugiere aquí que puede ser contraproducente seguir con esta aspiración. En su lugar, se propone una serie de pasos de transición entre el basural y el relleno sanitario para reducir el daño de los futuros depósitos de residuos mediante la introducción de métodos de gestión que incluyan: organización básica de los residuos; gestión de la entrada de residuos; celdas separadas; cubierta intermedia y diaria; revestimientos y coberturas.

Estas medidas podrían aplicarse a los emplazamientos existentes o a los nuevos en función de la disponibilidad de terrenos y fondos, y podrían priorizarse en función del potencial de mitigación de riesgos específico del lugar.

Identificar, evaluar y evacuar

Cuando no sea posible aplicar otras opciones en un plazo breve y en todos los casos en que los residuos que ya han sido depositados presentan riesgo de derrumbe de taludes, hay que actuar para proteger urgentemente la vida. Por supuesto, esto también tendría un coste, por lo que es importante dar prioridad a los lugares de mayor riesgo. En muchos casos, el riesgo es visualmente obvio, debido a las pendientes pronunciadas o verticales y a la gran masa de material. Sin embargo, a pesar del peligro evidente, no se han tomado medidas y los riesgos persisten. Se sugiere aquí que la única respuesta lógica es una acción internacional urgente y coordinada para identificar y evaluar los lugares más vulnerables para determinar su estabilidad, seguida de la evacuación de quienes viven y trabajan en la proximidad de los peligros.

Proporcionar al sector informal de los residuos un acceso directo a los materiales separados en origen generados en los hogares podría reducir considerablemente las cantidades de material en los basurales

3.4.2 Necesidades de pruebas, déficit de

investigación y previsión

Blight[116] y Lavigne et al.[117] han llevado a cabo dos revisiones exhaustivas de los fallos de los taludes de residuos, así como múltiples evaluaciones individuales e investigaciones forenses revisadas por Maalouf et al.[165]. El presente estudio ha actualizado las dos revisiones existentes y ha encontrado un número alarmante de incidentes notificados en los últimos años. La estabilidad de los taludes se conoce bien y las estrategias de prevención han erradicado prácticamente el fenómeno en muchos HIC. Dada la gran cantidad de residuos que se depositan en los basurales, parece probable que sólo sea cuestión de tiempo que otro fallo catastrófico se cobre la vida de algunas de las personas más pobres del mundo. Por lo tanto, se recomienda que se realicen investigaciones urgentes en tres áreas clave:

- Identificación de basurales
- Evaluación del riesgo de rotura de taludes
- Orientación para mitigar el riesgo de derrumbe de taludes

Identificación de basurales

Aunque la Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA) ya ha identificado algunos de los mayores basurales del mundo. La ubicación de la mayoría es desconocida para la comunidad internacional, que podría prestar asistencia a los municipios que albergan instalaciones de alto riesgo. Sin embargo, la identificación de estos lugares podría llevar mucho tiempo, ya que implica la comunicación con una gran variedad de actores en muchos países.

Un primer paso podría ser colaborar con la red internacional de ISWA para identificar los lugares conocidos de alto riesgo y gestionar los datos en un archivo central; ya existe un primer intento en la base de datos del Atlas de Residuos^[118]. Aunque esto proporcionaría datos

sobre los lugares conocidos, no constituiría una evaluación exhaustiva. Por lo tanto, se sugiere que se lleve a cabo un programa de investigación que utilice algoritmos para identificar la ubicación de los mayores emplazamientos a partir de imágenes aéreas (por satélite o por avión). Los datos podrían utilizarse para elaborar un perfil de los sitios en función de su topología, condiciones climáticas y tamaño, con el fin de elaborar una lista de preselección de sitios.

Evaluación

Una vez identificados los sitios, se propone que un equipo mundial de expertos en geotecnia en fallas de taludes de residuos se despliegue en los sitios seleccionados para evaluar el riesgo para los trabajadores y la población local. Las conclusiones del equipo permitirían cuantificar el riesgo para la población, lo que justificaría la financiación y la adopción de nuevas medidas o la evacuación.

Guía para evaluar y mitigar el riesgo de fallo del talud de residuos

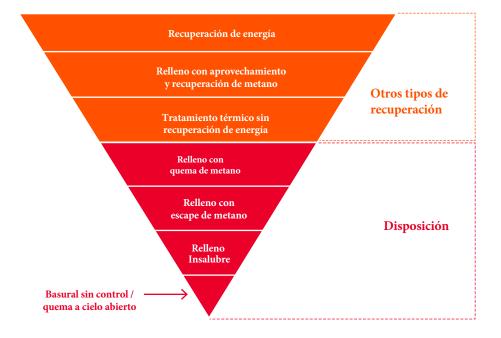
Además de la identificación de los basurales y de la evaluación del riesgo, se recomienda la elaboración de orientaciones que permitan una acción rentable por parte de los municipios, así como de los financiadores internacionales y de las ONG, tanto para evaluar el riesgo de derrumbe de los taludes como para llevar a cabo acciones para mitigarlo.

Pautas de medidas preventivas para reducir el riesgo en los basurales

Elaborar normas mínimas para la "eliminación controlada de RSU en el terreno" de bajo coste en los LMIC que reconozcan los retos asociados a la aplicación en un contexto de escasos recursos financieros.

Complementar con protocolos de orientación y seguimiento que apoyen los pasos de transición hacia la reducción de daños y el eventual relleno sanitario.

Figura 10: Jerarquía de residuos ampliada; adaptada de una combinación de Wilson et al.^[15]; Oteng-Ababio et al.^[120] y Kaufman y Themelis.^[121]





Los trabajadores informales observan mientras un vehículo de recolección descarga su material en un basural; © Kalyakan.

3.4.3 Buenas prácticas

La respuesta en Europa a la multiplicidad de problemas de seguridad que plantean los basurales fue el desarrollo y la aplicación de la Jerarquía de Residuos^[119], que ha permitido a los responsables políticos llevar a cabo intervenciones bajo sus simplistas principios rectores. Si bien hay considerables críticas contemporáneas sobre la utilidad actual de la Jerarquía de Residuos para tomar decisiones de gestión de residuos^[15], éstas tienden a estar relacionadas con los niveles superiores que muchos LMIC todavía no han alcanzado. Aunque lo ideal sería que las soluciones se orientaran hacia una mayor recuperación de recursos a partir de los residuos y el apoyo al sector informal, tal y como se ha comentado en la sección 4, es poco probable que los recursos para hacerlo en muchos LMIC sean suficientes. La jerarquía de residuos ampliada (figura 10)

se ha adaptado a partir de una combinación de ilustraciones de Wilson et al.[15]; Oteng-Ababio et al.[120] y Kaufman y Themelis^[121] incluye un mayor grado de detalle y se extiende por debajo del peldaño de "eliminación", que se encuentra en la parte inferior de la versión estándar europea. Se propone aquí que, para los LMIC que aún no han desarrollado la capacidad de gestionar los residuos de manera que dejen de interactuar con el ambiente, esta estructura proporciona suficientes principios rectores para tomar decisiones de gestión rentables en un contexto de recursos escasos y prioridades contrapuestas.

La reducción de la masa de los depósitos también puede lograrse mediante un tratamiento alternativo y rentable y desviando los residuos reciclados para su reprocesamiento. Por ejemplo, en los LMIC más del 50% (en peso) de los RSU generados son residuos de alimentos y de poda (también llamados verdes o de jardín).

La provisión de instalaciones básicas para separar estos residuos de los demás, junto con proyectos locales de tratamiento y valorización, podría reducir drásticamente la masa depositada en los basurales, así como muchos de los efectos negativos de los residuos biológicos depositados en ellos. Además, apoyar e integrar al sector informal del reciclaje en los planes de gestión de residuos (apartado 4.4), facilitándoles el acceso al material antes de que llegue a las partes más peligrosas del basural, podría reducir significativamente las cantidades de material que actualmente suponen un riesgo para las personas con las que interactúa.

4 El sector informal de los residuos

4.1 Los trabajadores informales: una mano de obra informal que cumple una función crítica a nivel mundial

de empresarios individuales y organizados lleva a cabo una función de gestión de residuos de importancia crítica que mitiga la contamina-

ción ambiental provocada por los desechos y reduce la necesidad de extraer y refinar las materias primas y, por tanto, la presión sobre los sistemas ecológicos. Los trabajadores informales de los residuos (en funciones de recolección de residuos mixtos, de recolección para el reciclaje y la clasificación, y de procesamiento de residuos; pero para simplificar nos referiremos; en adelante denominados "recicladores") operan

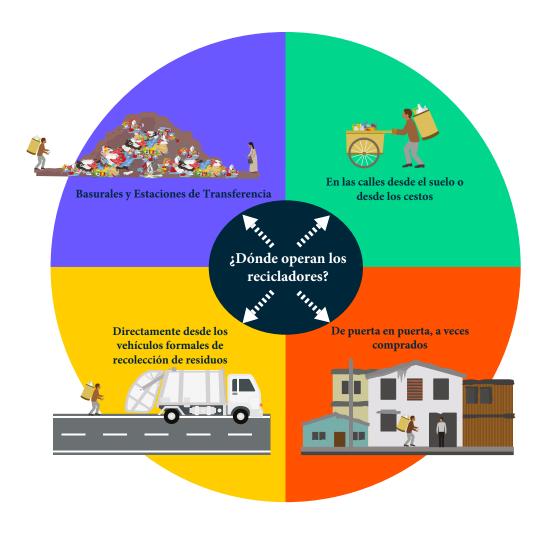
principalmente en los LMIC, en parte por imperativo económico,

pero también porque existe la oportunidad en países que carecen de sistemas integrales de gestión de residuos y recuperación de recursos organizados En todo el mundo, una gran mano de obra por el Estado. El sector informal de los residuos aprovecha esta oportunidad, a la vez que proporciona una funcionalidad esencial donde los sistemas formales no llegan.

> Los recicladores recogen material para su reciclaje (sector informal de reciclaje (SRI)) en una variedad de contextos, incluyendo los basurales, los vehículos formales de recolección de residuos y los sistemas de recuperación de recursos. puerta a puerta, y los contenedores de residuos o residuos en las calles (Figura 11). Pueden operar de forma independiente o estar organizados en forma de cooperativa, asociación u organización comunitaria.

(Figura 11). Pueden funcionar de forma independiente o estar organizadas en forma de cooperativa, asociación u organización comunitaria. Además, el sector informal de los residuos opera en otros contextos especializados identificados en este estudio. Por ejemplo, se sabe que los recicladores de RAEE operan en varios países del mundo, especialmente en Ghana, África Occidental y China. Además, se ha documentado un pequeño grupo de especialistas en recuperación y reutilización de RES en Bangladesh, Irán, Nigeria y Tanzania^[164].

Figura 11: Contextos en los que operan los recicladores para recoger materiales reciclables (sector de reciclaje informal).



El sector informal de los residuos es una mano de obra muy productiva en los diversos mercados de materiales de todo el mundo; anualmente se recogen más de 88 millones de toneladas de residuos (artículos de segunda mano) para su reciclaje.



Unos niños buscan residuos para recuperarlos en el basural de Kingtom, Freetown, Sierra Leona; © Amanda Ingram - Waste Aid (2018).

4.2 Tamaño y contribución del sector informal de residuos

Las estimaciones del número de participantes en el sector informal de los residuos varían en función de la ubicación, pero la cifra estimada es de entre 10 y 20 millones de personas en todo el mundo^[15]. Linzner y Lange^[122] realizaron una revisión exhaustiva en la que informaron del número estimado de participantes como proporción de la población urbana en 19 países, principalmente en los LMIC. La proporción media de participantes en actividades de recogida de residuos se aproximó al 0,33% en los países de ingresos medios-bajos (LMC) y al 0,41% en los países de ingresos medios-altos (UMC), lo que permite estimar las cifras potenciales que operan en las distintas categorías de ingresos (Figura 12). Estas cifras son bastante inciertas,

ya que los propios recicladores tienen pocas razones para llevar un registro de sus actividades y pueden no tener la capacidad de hacerlo^[122].

Para ayudar a comprender la exposición relativa a los peligros que experimentan los recicladores, las cuatro categorías ilustradas en la **Figura 11**, **Sección 4.1** pueden dividirse en dos grupos simplificados: (i) los que trabajan en los basurales y (ii) los que no lo hacen (descritos en adelante como que trabajan en las calles"). Esto es útil porque en esta investigación, se encontró que la exposición al riesgo de los recicladores es generalmente mucho mayor en los basurales en comparación con otros contextos.

Se puede encontrar una descripción más sofisticada y una tipología del modo de prestación de servicios y de la interacción con los actores de la gestión de residuos en otro documento^[123].

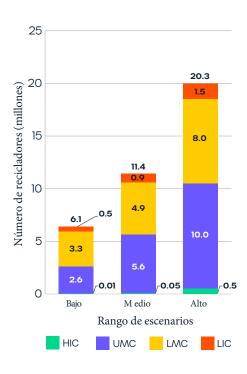


Figura 12: Número estimado de recicladores que operan en todo el mundo (los números sobre las columnas son la masa total); datos según Lau et al.^[16]

Hay muy pocos datos reportados sobre la proporción de recicladores que trabajan en cada contexto, aunque Lau et al.[16] proporcionan una estimación del mejor orden de magnitud basada en unos pocos datos y en la opinión de expertos (Figura 13). El supuesto básico de Lau et al. es que en los países de bajos ingresos, donde prácticamente toda la eliminación de los residuos en el terreno se realiza en basurales, el 50% de los recicladores trabajarán en ellos. A medida que estos basurales se reemplacen por rellenos sanitarios controlados, donde el acceso al público está restringido en los LMC y UMC, proporcionalmente menos recicladores trabajarán en los basurales, viéndose obligados a buscar material en las calles de pueblos, ciudades y aldeas. Hay muy poca información disponible

para establecer el número de recicladores que operan en los HIC, y comparativamente, es probable que sea pequeño ya que los servicios de recolección y tratamiento de residuos alcanzan una cobertura cercana al 100%. Por lo tanto, el número de recicladores es estimado por Lau et al. en aproximadamente el 0,005% de la población urbana, y ninguno trabaja en los basurales.

El sector informal es una fuerza altamente productiva en los mercados globales de materiales. Basándose en una combinación de Lau et al·[16] y varios otros estudios[124-128], una estimación conservadora indica que los recicladores recolectan más de 88 Mt de material reciclado cada año (Figura 14).

Para poner estas cifras en contexto, la masa total de material recolectado para el reciclaje en Europa (principalmente del sector formal) a través de las mismas categorías fue de 76,3 Mt (7,5 Mt para el plástico de los RSU en 2019^[129]; 55 Mt para el papel y el cartón en 2018[130]; 3,2 Mt para los envases metálicos en 2017^[131]; y 10,6 Mt para los envases de vidrio en 2017^[131]). A pesar de la considerable incertidumbre con las estimaciones proporcionadas aquí para la productividad de los recicladores, incluso si las cantidades exactas son algo más bajas, es probable que sus actividades sigan representando una contribución considerable a la masa global de material que se recicla y reutiliza.

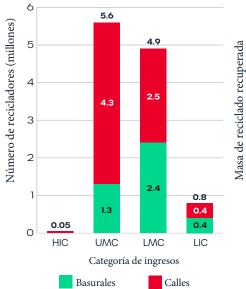


Figura 13: Número estimado de recicladores que trabajan en calles y basurales por categoría de ingresos del Banco Mundial (los números sobre las columnas son la masa total); datos según Lau et al.[16].

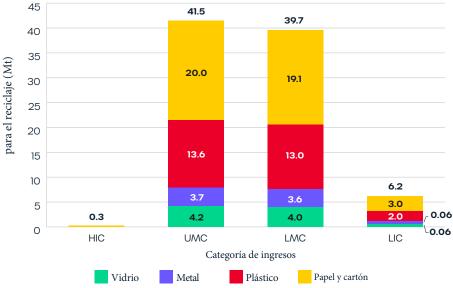


Figura 14: Masa estimada de reciclado recuperado en cada categoría de ingresos (los números sobre las columnas son la masa total); los datos de masa son de Lau et al.^[16]; la composición se toma como la media de los datos de composición reportados por Ibáñez-Forés ^[124], Hayami et al.^[125], Vergara et al.^[126], Majeed et al.^[127] y Chen et al.^[128].

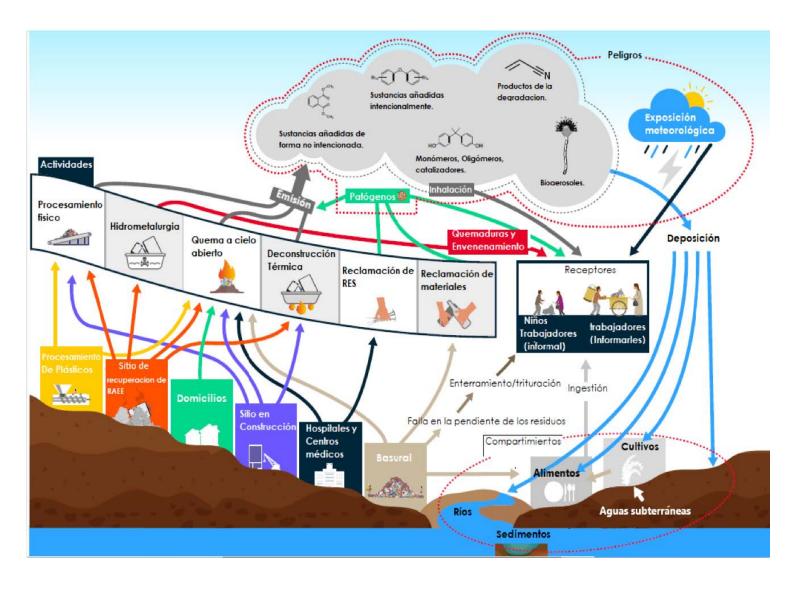


Figura 15: Modelo conceptual de exposición al peligro (peligro-vía-receptor) para los escenarios de riesgo experimentados por los recicladores.

4.3 Desafíos de seguridad a los que se enfrenta el sector informal de los residuos

La naturaleza del trabajo, y el entorno en el que trabajan, expone a los recicladores a una serie de peligros que pueden reducir la calidad y la longevidad de quienes trabajan en el sector^[132]. Por ejemplo, un estudio realizado en Ciudad de México reveló que la esperanza de vida de los recicladores de un basural era de sólo 39 años, y otro realizado en la India informó de que la morbilidad infantil era 2,5 veces mayor que la media nacional^[133]; el trabajo infantil es endémico en muchas comunidades de recicladores[15, 134]. En un estudio sobre los trabajadores de una cooperativa

brasileña de recolección de residuos, Gutberlet et al.[14] observaron una serie de problemas de seguridad profundamente relacionados con la insatisfacción de los trabajadores con las estructuras sociales opresivas, jerárquicas y sexistas. Si bien estas observaciones estaban relacionadas con las cooperativas, muchas de las conclusiones también se identificaron en el presente estudio, incluida la exposición a riesgos químicos, biológicos, físicos y ergonómicos (Figura 15). En particular, esta revisión identificó que la inhalación de sustancias atomizadas y gaseosas representa una serie de riesgos elevados para los trabajadores informales de los residuos[162, 163, 165].

Muchos estudios que se relacionaban directamente con los recicladores no se incluyeron en esta revisión, ya que sus hallazgos eran a menudo vagos, no específicos y no estaban suficientemente evidenciados/no estaban respaldados por enfoques metodológicamente sólidos; una situación que también informaron Wilson et al.^[23]. Sin detalles suficientes para demostrar una relación causal completa entre el peligro-vía-receptor (H-P-R), en algunos casos, esta revisión se ha basado en una combinación de concentraciones de sustancias medidas en los medios ambientales y en la sangre, la orina y el cabello de los receptores; factores de generación de peligro inferidos; y vías teóricamente 37 justificables para indicar el riesgo.

Es muy poco probable que los recicladores informales tengan acceso a equipos de protección o los utilicen

Los recicladores fueron el receptor en 36 de las combinaciones H-P-R evaluadas en esta investigación^[162-168].

De éstas, la actividad de alto riesgo más prevalente fue la combustión no controlada, que representó el 53% de todas las combinaciones H-P-R consideradas. La inhalación fue también la principal vía a través de la cual los trabajadores informales de los residuos se expusieron a los peligros de mayor riesgo, como los RCD, los BFR, los ftalatos, los TEP, las PM, los HAP y los PCB. La punción percutánea con residuos médicos infectados por patógenos fue la fuente del 12% de todas las combinaciones H-P-R, al igual que el contacto dérmico.

4.3.1 Recuperación de RAEE

La práctica de recuperar materiales de los RAEE para su reciclaje es un esfuerzo lucrativo en los LMIC, ya que produce metales de alto valor, como el cobre, que los trabajadores de los RAEE de la India declararon que se comercializaba por unos 6.730 dólares por tonelada en 2012^[135]. Sin embargo, en algunos casos, los métodos utilizados para desmantelar los artículos eléctricos y electrónicos pueden dar lugar a emisiones de sustancias que ponen en peligro la salud y el bienestar de quienes llevan a cabo la práctica, así como de las personas que viven cerca^[162, 166].

A diferencia de otras secciones temáticas. esta revisión encontró una amplia base de investigación de estudios que determinaron las concentraciones de sustancias peligrosas liberadas por las actividades de desmantelamiento de residuos electrónicos en el medio ambiente circundante, así como identificadas en los cuerpos de los trabajadores informales de los residuos y de las personas que viven en la proximidad de estas actividades^[162, 166]. Se consideraron tres grandes categorías de actividades para comprender el nivel de peligro y exposición al riesgo: desmantelamiento físico;



Restos de RES parcialmente quemados en un fuego sin control; © frank60.

recuperación v eliminación térmica; v tratamiento hidrometalúrgico o lavado con ácido/álcali. Se han encontrado altas concentraciones de **BFRs** particularmente plomo, cromo y arsénico, en suelos, polvo y sedimentos cerca de las actividades de procesamiento de RAEE, lo que constituye un fuerte indicio de que la fuente es la recuperación informal de RAEE^[162, 166]. Aunque muchos de los estudios revisados aquí pudieron describir los tipos de actividades que se llevaban a cabo, éstas no siempre estaban claras. En al menos un ejemplo, las concentraciones de BFRs y PTEs se atribuyeron a las actividades de desmantelamiento. Sin embargo, el autor también observó altas concentraciones de RDC, que sólo pueden haber sido producidas por actividades de quema a cielo abierto. En varios ejemplos de HIC[136-138], se ha comprobado la emisión significativa de BFRs, lo que supone una prueba de concepto de que el procesamiento mecánico produce emisiones de estas sustancias.

En prácticamente todos los casos, independientemente de la actividad, se determinó que los trabajadores informales (incluidos los niños trabajadores en un estudio)

sufrían el mayor riesgo de exposición a sustancias potencialmente peligrosas, obteniendo una puntuación alta o media alta en la mayoría de las combinaciones H-P-R. Esto se debe a la vulnerabilidad intrínseca de estos trabajadores, que a menudo viven y trabajan en las mismas zonas[162, 166], por lo que sufren una exposición prolongada a las sustancias emitidas. Además, es muy poco probable que los recicladores informales tengan acceso a equipos de protección o los utilicen^[139], especialmente si no están organizados, y a menudo tienen peor acceso a la higiene^[140], lo que aumenta el riesgo de exposición por respiración e ingestión.

4.3.2 Exposición a los agentes patógenos de los RES

A menos que se neutralicen, los patógenos presentes en algunos tipos de RES pueden suponer un grave riesgo para quienes se encuentren con ellos^[164]. En muchos LMIC, los RES se recolectan de forma habitual junto con los RSU, se descargan al aire libre o se entierran en los terrenos de las instalaciones médicas[164].

De los 1,25 millones de personas que se espera que padezcan un cáncer relacionado con el amianto en los próximos años, más de la mitad estarán en la India, donde el mercado del amianto continúa sin impedimentos



Demolición manual de una casa en Bombay, India; © rkl_foto (2015).

Los RES también se generan en los hogares, y hay pruebas de que el tratamiento médico de "autocuidado" puede aumentar en las próximas décadas^[164]. Las entrevistas con los recicladores han revelado que la prevalencia de exposición a lo largo de la vida a los objetos punzantes médicos usados oscila entre el 10% y el 60%, aproximadamente, mientras buscan otros materiales valiosos^[164]. Estos encuentros, en gran medida inesperados, no sólo exponen a los recicladores a patógenos potencialmente mortales como la hepatitis C (VHC), la hepatitis B (VHB) y el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH), sino que provocan un trauma psicológico debido a la incertidumbre asociada a la posible infección[141].

Se sabe que un pequeño número de recicladores buscan RES a propósito, con la intención de recuperarlos para su reutilización, ya sea por ellos mismos o para su posterior venta a usuarios de drogas recreativas o establecimientos médico^{s[164]}. Los datos indican que se recupera una amplia gama de material médico para su reutilización, como bisturíes, cuchillos,

bolsas de suero, algodón y material de inyección. Los riesgos de estas actividades son considerables, y no sólo para los trabajadores de la recuperación, que corren el riesgo de contraer una infección accidental, sino también para los pacientes y los consumidores de drogas a los que abastecen, y más aún porque estos últimos pueden no ser conscientes de los riesgos a los que se exponen.

La práctica de la co-eliminación de RES con los RSU, y el comercio ilícito de dispositivos médicos y consumibles reutilizados, es considerablemente menos común en los HIC, ya que estos tipos de materiales están fuertemente controlados por la legislación vigente. En los LMIC, los recursos suelen ser insuficientes para permitir controles similares, por lo que a veces se adoptan enfoques más rudimentarios, como la quema a cielo abierto o la incineración en hornos con revestimiento refractario que neutralizan los agentes patógenos y hacen inutilizables los consumibles y dispositivos médicos[164].

La decisión de salvaguardar a los agentes que se dedican a la búsqueda de alimentos río abajo o de mitigar las emisiones atmosféricas de sustancias peligrosas procedentes de la combustión no controlada es un reto. La OMS^[7, 6] alude a este dilema, recomendando cautelosamente la quema a cielo abierto si no hay otra opción (tratada con más detalle en la sección 2.4.1)

4.3.3 Residuos Plásticos

Esta investigación destacó los considerables riesgos que experimenta la quema a cielo abierto de residuos plásticos[163]. Como se ha comentado en la sección 2.3, la quema a cielo abierto de residuos plásticos da lugar a la liberación de muchos miles de sustancias químicas, muchas de las cuales son potencialmente peligrosas para la salud humana. En particular, se identificaron pruebas de exposición a HAPs, RDCs, PM y BFRs y se atribuyeron puntuaciones de alto riesgo para los trabajadores informales, que están expuestos a concentraciones considerables en los basurales y durante las actividades de quema de residuos[163]. También se revisó la exposición a ftalatos y BPA, y aunque ambos se descomponen durante la combustión completa[142, 143], las bajas temperaturas en las quemas a cielo abierto son una fuente de emisiones de estos dos disruptores endocrinos^[96, 81, 144].

4.3.4 Residuos de Construcción y demolición

Aunque es probable que los trabajadores del sector informal se encuentren con residuos de construcción y demolición, este sector apenas se menciona en ninguno de los estudios revisados aquí^[167]. Los riesgos para la salud de los trabajadores del sector informal derivados de la exposición a los residuos de la construcción y la demolición pueden inferirse a partir de datos a priori, aunque sería poco sincero intentar inferir la magnitud del daño en el contexto de tan poca información.



Un trabajador informal se detiene mientras recolecta residuos en un basurero de Cimahi, Java Occidental, Indonesia; © motorclassic (2005).

Dado que muchos de los riesgos se entrecruzan con los analizados en otros subapartados, aquí sólo se destacan dos riesgos específicos de los residuos de construcción y demolición, los asbestos y el yeso, que se detallan en [167].

La combinación H-P-R más preocupante es la exposición a los asbestos, que puede cobrarse la vida de hasta 233.000 trabajadores al año en todo el mundo [145]. Mientras que muchas de estas muertes tienen lugar en los HIC, donde la actividad del asbesto ha sido más frecuente en los últimos 70 años, se calcula que aproximadamente 58.000 de ellas tienen lugar en los LMIC [167]. Además, el asbesto se sigue produciendo a un ritmo de 1,1 Mt al año

y se sigue consumiendo en 39 países del mundo [146]. El asbesto representa un riesgo considerable cuando los paneles de asbesto se desintegran (se desmenuzan), a menos que se apliquen estrictas precaucio nes de seguridad, el riesgo de inhalación es significativo. En particular, se ha predi cho que de los 1,25 millones de personas que se espera que sufran un cáncer relacio nado con el asbesto en los próximos años, más de la mitad estarán en la India [147].

Se destacó la codisposición de placas de yeso como un problema potencialmente grave, ya que la combinación de carbono e iones de sulfato que se desprenden del mineral proporciona las condiciones ideales para que las bacterias reductoras de sulfato proliferen y produzcan H2S^[167]. Aunque no se indicaron pruebas específicas, la probabilidad de esta codisposición en los basurales de los LMIC puede ser significativa, y la exposición al gas se ha visto implicada en la muerte de trabajadores de basurales en Japón^[148] y en un conjunto de morbilidades asociadas a su exposición^[148-150].

4. 3. 5 Stios de disposición de residuos

Los basurales (y los rellenos sanitarios no operados según las normas controladas) proporcionan el contexto de trabajo para 4,19 millones (36%) (Figura 14) de los 11,4 millones (Figura 13) de reciclado res que se estima que operan en todo el mundo. Además de los peligros discutidos en otras secciones, como la quema a cielo abierto, la exposición al asbesto y al gas sulfuro de hidrógeno, los recicladores que trabajan en basurales están expuestos a una serie de peligros adicionales, discutidos en detalle en [165].

4.4 Recomendaciones prioritarias de actuación para reducir los daños

4.4.1 Se necesitan respuestas urgentes para afrontar los principales retos

La contribución de los recicladores a la recuperación global de recursos a partir de los residuos es significativa (sección **4.2)** y en la actualidad la mayoría de sus participantes operan sin ningún tipo de apoyo gubernamental, siendo vulnerables a una multiplicidad de peligros debido a una serie de factores ambientales, autoinducidos y extraños. Para reducir la magnitud de los daños experimentados por esta comunidad, a veces dispar, será necesario combinar una mejor investigación con intervenciones cuidadosamente dirigidas. Sin embargo, dada la gravedad de algunos de los problemas, se recomienda aplicar con cierta urgencia varias respuestas para reducir los riesgos críticos para la salud humana. En las secciones 2.4.1 y 3.4.1 se proponen varias acciones relevantes, por lo que se han excluido de esta sección para evitar repeticiones.

Restringir el acceso a los entornos peligrosos en estrecha colaboración con los trabajadores informales de los residuos

Restringir o negar el acceso de los recicladores a los basurales reduce significativamente la exposición a los peligros, pero también el acceso a los materiales de los que los participantes en el sector dependen para su subsistencia. Las políticas gubernamentales en la India^[151], Brasil^[152] y otras partes de América del Sur y Central^[153] para restringir el acceso a los basurales y a los basurales a cielo abiertos han tenido un éxito variable en función del nivel de inclusión que se le da al sector informal en la toma de decisiones.

La provisión de espacios de trabajo seguros para los recicladores con acceso a equipos de manipulación de residuos ha conseguido reducir el riesgo de daños y aumentar sus ingresos

Brasil tiene dos o tres décadas de experiencia en el desarrollo de cooperativas de trabajadores, muchas de las cuales se han creado al mismo tiempo que las restricciones de acceso a los basurales. En los casos en los que la inclusión e integración con las autoridades municipales formales tiene éxito, los residuos destinados al basural se depositan primero en un área de clasificación (cobertizo) donde los reciclados pueden ser recuperados en mesas o cintas transportadoras en condiciones mucho más seguras.

La colaboración con los recicladores es imprescindible a la hora de decidir su exclusión de los basurales, sin la cual sus actividades se ven desplazadas o se destruye su capacidad de obtener ingresos, lo que conduce a la pobreza. Vale la pena señalar que aunque muchos de estos esquemas de sustitución fueron exitosos, algunos autores[154, 14] informaron que las actividades de sustitución no siempre tuvieron éxito, con problemas y morbilidades continuas y complejas informadas por muchos recicladores que no necesariamente mejoraron los medios de vida de los involucrados.

Facilitar el acceso a los rellenos de manera organizada

El acceso organizado a los rellenos (Sección 4.4.3) ha sido implementado por algunos operadores en Sudáfrica[11] con cierto éxito, y lo promueven tanto ISWA[12] como el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA)[155] como una intervención crítica que puede mejorar la seguridad de los trabajadores informales. Aunque muchos operadores pueden ser reacios a aumentar su perfil de riesgo permitiendo actividades inseguras de las que son responsables, en los casos en los que la actividad es esencialmente incontrolable, el acceso controlado puede representar una alternativa más segura, junto con el mandato moral de permitir a las personas obtener ingresos.



Un trabajador informal de residuos selecciona material para reciclar en un basural de Porto Seguro, Brasil; © Joa Souza (2008).

Por lo tanto, se recomienda que se realicen intervenciones para obligar a las autoridades municipales de todo el mundo a reconocer a los trabajadores informales de los residuos en los planes municipales de gestión de residuos y a integrarlos en la cadena de valor.

Restringir la cadena de suministro de determinados artículos y materiales

El comercio ilícito de instrumental médico cortopunzante es una actividad preocupante que aumenta el riesgo de transmisión de patógenos en todos los aspectos de la cadena de valor que entran en contacto con este instrumental, incluidos los propios recolectores, los manipuladores posteriores o los compradores, así como los usuarios de medicamentos y los pacientes que, sin saberlo, permiten que estos dispositivos usados les perforen la piel. Según Unicomb et al. [42], el 2% de los centros de Bangladesh admitieron vender dispositivos médicos de un solo uso para

su reutilización, un comercio que también han puesto de manifiesto otros autores^[156, 157]. Aunque es casi imposible controlar las actividades de estos recolectores de residuos médicos especializados, hacer esfuerzos para restringir el suministro es una intervención que podría reducir drásticamente el riesgo para todos aquellos que puedan verse potencialmente afectados.

Inclusión e integración de los trabajadores informales de recolección de residuos

Los datos indican que la inclusión e integración de los trabajadores informales de residuos en la planificación de la gestión municipal de los residuos sólidos puede mejorar la salud y la seguridad y el bienestar de sus participantes^[23, 158, 159]. Muchos de los pasos para facilitar esta integración (sección 4.4.3) son relativamente gratuitos y, por lo tanto, este informe recomienda que los municipios de todo el mundo inicien el proceso como urgente para empezar a mitigar el daño causado a esta población vulnerable.



Trabajadores informales buscan materiales en el basural de Bantargebang, Yakarta, Indonesia; © Rumbo a lo desconocido (2019).

4.4.2 Necesidades de pruebas, deficiencias en la investigación y previsión Desarrollar criterios de información normalizados para establecer la causalidad

Existen pruebas considerables que indican un riesgo potencialmente grave para la salud de los trabajadores informales de los residuos debido a las actividades de recuperación de RAEE. Gran parte de las pruebas se basan en las concentraciones determinadas en los compartimentos ambientales y en los cuerpos de quienes participan en las actividades, así como de quienes viven en las cercanías. Sin embargo, muchos de estos estudios carecen de una explicación descriptiva suficiente para establecer con seguridad las actividades específicas que constituyen fuentes de emisión que permanecen confusas. Se sugiere aquí que los futuros estudios desarrollen un criterio de información que requiera que los investigadores informen en un marco estandarizado del contexto de la investigación junto con la información de las concentraciones ambientales. De este modo, se podría garantizar que los futuros estudios puedan atribuir el daño a los receptores y las concentraciones en los compartimentos medioambientales a la actividad de la fuente, lo que permitiría a los responsables políticos intervenir con una base de pruebas más estratégica y lógica.

Llevar a cabo una investigación de alta calidad, comparable y procesable que cuantifique el riesgo

La calidad general de la investigación sobre la seguridad del sector informal de los residuos presenta desafíos en este estudio. La abrumadora mayoría de la bibliografía sobre los recicladores es cualitativa, no técnica y poco práctica, y se centra en la mitigación filantrópica de la pobreza y en pruebas anecdóticas o en informes de experiencias individuales. Los tipos de datos recogidos a menudo carecen de información crítica que se presenta de forma incoherente en los distintos estudios y, aunque estas percepciones ayudan a la comprensión general, no permiten una intervención medida y dirigida.

Sin embargo, hay una excepción en el caso de los trabajadores informales de los RAEE, donde varios autores consideran que el "índice de riesgo" y el "cociente de riesgo" asociados a la exposición a las sustancias que se encuentran durante sus actividades son muy importantes^[162, 166]. Se han adoptado enfoques similares con los trabajadores formales de residuos médicos ^[164], pero en general son muy pocos los estudios que cuantifican el riesgo de los participantes en el sector informal de la recuperación de residuos. Se han adoptado enfoques similares con los trabajadores formales de RES^[164],

pero, en general, son muy pocos los estudios que cuantifican el riesgo en los participantes del sector informal de la recuperación de residuos. Dada su vulnerabilidad por naturaleza a la exposición, y el número de participantes globales en el sector, se recomienda evaluar cuantitativamente el riesgo de exposición a los daños en una serie de peligros potenciales.

El peso de la enfermedad en el mundo

El desarrollo de estudios para cuantificar el riesgo, como se ha mencionado en la sección anterior, permitirá cuantificar el riesgo a escala global. Por lo tanto, se recomienda que se realicen estudios sobre el peso global de la enfermedad para determinar el riesgo de este gran grupo de individuos extremadamente vulnerables que actualmente prestan un servicio crítico a la economía material global, siendo los principales trabajadores que proporcionan una economía circular en el Hemisferio Sur.

Observatorio Mundial

Para centralizar y poner a disposición de los interesados las investigaciones antes mencionadas relacionadas con los recicladores, se recomienda la creación de un "observatorio mundial" como depósito de datos que permita diseñar intervenciones específicas.

4.4.3 Buenas prácticas

Acceso a los residuos

La presencia de trabajadores informales de residuos en los rellenos supone un alto riesgo de exposición a accidentes al interactuar con los vehículos y los residuos, especialmente en el frente de trabajo donde el material es descargado y manipulado por las máquinas. El grupo de trabajo de ISWA sobre rellenos sanitarios^[12] sugirió que la mejora del acceso organizado a través de puntos de entrada específicos mejoraría considerablemente la seguridad al permitir una mejor delimitación del espacio de trabajo entre los vehículos y los peatones. Blaauw et al.[11] sugirieron otras intervenciones de gestión, e informaron que los intentos de los operadores de rellenos en Sudáfrica de restringir el acceso han sido en gran medida infructuosos, y que exigir



Figura 16: Marco analítico y tipología de intervenciones para la integración del sector informal en los sistemas de gestión de residuos; según Velis et al. [9]

a los trabajadores informales que firmen la entrada y salida del sitio mientras se adhieren a las reglas del sitio mejora la seguridad y sigue permitiendo al sector informal recuperar material para apoyar sus medios de vida.

Reconocimiento e integración

Mientras que el acceso a los residuos y la mejora de la seguridad en un sitio puede proporcionar algunos beneficios, varios autores^[23, 158, 159] proponen dar un mayor reconocimiento al sector informal mediante su integración en los planes municipales de gestión de residuos. Velis et al.^[9] esbozaron los desafíos más amplios que conciernen a la integración/inclusión/ formalización de los recicladores en los sistemas modernizados de gestión de residuos y recursos. La investigación demostró un marco que analizaba la participación de base de los recicladores en los sistemas municipales, proporcionando un estándar para las intervenciones sistemáticas para

para apoyar su integración en las estructuras comerciales, gubernamentales y sociales (**Figura 16**). La tesis principal aquí es que sus actividades, motivos e implicaciones afectan a las cuatro esferas y, por lo tanto, las intervenciones deben diseñarse explícitamente para tener en cuenta esta complejidad. Los enfoques parciales y unilaterales han fracasado históricamente. Las complejas consideraciones y el debate más amplio sobre el papel de los recicladores en la economía circular del hemisferio sur se han detallado en otro lugar^[132].

Más recientemente, Samson^[10] analizó los enfoques hacia la integración del sector del reciclaje informal en Sudáfrica, informando de los resultados comparativos de los diferentes enfoques y proporcionando una tipología de los actores de la intervención. Samson descubrió que los recuperadores informales siguen siendo explotados en gran medida por los ayuntamientos y la industria, que se

benefician de la reducción de los residuos que hay que gestionar y de la materia prima, respectivamente, con un coste comparativamente bajo.

Acceso al mercado y desarrollo de espacios seguros

El desarrollo de los mercados y el acceso a los mismos podría desempeñar un papel importante en la ayuda al sector informal del reciclaje.

Los datos de Macedonia del Norte^[13] indican que la salud y los medios de vida de los trabajadores del sector informal han mejorado considerablemente gracias a la provisión de espacios de trabajo seguros para clasificar, almacenar y embalar el material reciclado, junto con la provisión de equipos de protección personal, que los participantes deben llevar en el lugar. Estas medidas reducen la probabilidad de que el material sea robado o confiscado por las autoridades y proporcionan instalaciones para la eliminación controlada de los residuos.

5 Conclusiones



Se utilizó un enfoque sistemático para revisar las pruebas sobre los riesgos que plantea para la salud y la seguridad de las personas la gestión de materiales, objetos y estructuras al final de su vida útil, teniendo en cuenta el valor de la vida como interés principal. La revisión se centró en cinco áreas temáticas preseleccionadas, cada una de las cuales abordaba el destino al final de la vida útil de la ingeniería compleja: materiales (plásticos), objetos/productos (RAEE y dispositivos médicos) y materiales/productos utilizados en edificios, junto con la infraestructura de eliminación de residuos sólidos en tierra, como los basurales.

El debate sobre los riesgos que suponen para la vida de las personas estos objetos y la infraestructura de eliminación asociada no era posible sin hacer referencia al concepto y al término jurídico de "residuos sólidos".

A través de la gestión de los residuos sólidos en los últimos 200 años (la "era del saneamiento"), las sociedades han intentado controlar los riesgos potenciales que plantean los productos de ingeniería cuando ya no sirven para su propósito. Hoy en día, el concepto de "residuos sólidos" se ve cuestionado por la aspiración de trasladar la recuperación de los recursos (materiales técnicos de ingeniería; nutrientes y recursos de base biológica, como las sustancias húmicas; y energía y combustibles) a un uso circular de los recursos incorporados e integrados ("economía circular").

En este sentido, el análisis presentado sirve de recordatorio crítico de que el mero hecho de rebautizar los "residuos sólidos" comomateriales, componentes, artículos, bienes, estructuras e infraestructuras "de segunda mano", no elimina

automáticamente ni en absoluto su potencial de causar daños si se manipulan de forma inadecuada y deficiente, sin que se priorice y respete el objetivo de proteger la salud y la seguridad de las personas. Más que una simple lista/tabulación de pruebas, esta revisión intenta evaluar críticamente todas y cada una de las fuentes de peligro potencial, ofreciendo comentarios sobre la fiabilidad y la idoneidad para la generalización, al tiempo que yuxtapone los resultados siempre que es posible. El análisis de las combinaciones H-P-R incorpora la consideración de la vulnerabilidad, la prevalencia y la extensión geográfica de los receptores, lo que permite identificar patrones de alto nivel y áreas prioritarias para prevenir y mitigar el riesgo para la salud y la seguridad de las personas.

El presente trabajo transmite la necesidad de ajustar las agendas de investigación y formar una verdadera colaboración entre los países de ingresos bajos y medios y los países de ingresos altos en estas áreas temáticas transversales desatendidas

Lo más interesante es que estas áreas prioritarias convergen en tres "temas generales" que se solapan y están interconectados (Figura 17):

A. Quema abierta (sin control):

la práctica más perjudicial de la gestión de materiales/artículos/ estructuras al final de su vida útil.

- B. Basurales: el método de eliminación más perjudicial, donde se manipulan, mezclan y a menudo se incendian materiales/artículos/productos/ partes de estructuras complejas.
- C. Trabajadores del sector informal de los residuos - recicladores: una mano de obra omnipresente de personas de bajos recursos urbanos marginados que, en condiciones de salud y seguridad deficientes, prestan servicios de recuperación de recursos en los LMIC a escala; a menudo operan en basurales o, por ejemplo, utilizan la quema a cielo abierto para recuperar metales de los RAEE, y están expuestos a RES infectados por patógenos.

En general, las pruebas cotejadas y analizadas críticamente aquí indican que si se pudieran resolver los riesgos de seguridad que representan para la salud humana la quema a cielo abierto de residuos sólidos, la eliminación en basurales y las actividades relacionadas con mitigación del riesgo. De esta manera, se podría preservar y valorar la vida y la salud de las personas. Sin embargo, a pesar del volumen de los esfuerzos de investigación revisados, el análisis también demuestra vívidamente la falta de comprensión de los aspectos fundamentales de las especificidades del riesgo y los daños involucrados, y las estrategias de mitigación eficaces. La quema a cielo abierto, los basurales y el sector informal de los residuos son, sin duda, tres áreas que carecen de una base de investigación sólida y de calidad.

Parte del desafío fundamental de la investigación en este caso,

es que los fenómenos involucrados son complejos (interacciones materialeshumanos/sociedad-medio ambiente) y, por lo tanto, requieren esfuerzos verdaderamente interdisciplinarios y/o multidisciplinarios. Además, ante la ausencia actual de una financiación sustancial de la investigación en estas áreas, se podría especular que el interés de las principales instituciones de investigación y de los investigadores individuales podría ser limitado.

Dado que los mayores riesgos se dan sobre todo en los LMIC, la ca pacidadde llevar a cabo y publicar investigaciones líderes en el mundo que sirvan de base a las estimaciones de riesgo y soluciones basadas en la evidencia se ve afectada negativamente por la actual disparidad de capacidades y recursos entre los países de ingresos altos y los países de ingresos bajos y medios^[160]. Se recomienda la creación de asociaciones entre investigadores de HIC y LMIC, garantizando al mismo tiempo que los resultados se compartan a través de publicaciones de acceso abierto, junto con vías de impacto claramente definidas para cualquier inversión futura en investigación.

El presente trabajo transmite una fuerte necesidad de ajustar adecuadamente las agendas de investigación y los recursos asociados, incluyendo el aumento de las

colaboraciones genuinas de Resultados de tratamiento LMIC y HIC en estas en la población de mayor riesgo áreas temáticas transversales Quema a desatendidas. cielo abierto Recuperación de metales provenientes de los RSU la mayoría de los basurales o de los RAEE de los trabajados informales Trabajadores informales

transversales e interconectados (diagrama de Venn interior).

Pobl_{ación} de mayor riesgo Lugar donde la exposición es mayor Figura 17: Las combinaciones de peligro-vía-receptor convergen en tres temas

Basurales



En concreto, este estudio yuxtapone los riesgos que plantean los objetos al final de su vida útil ("residuos sólidos"), con los beneficios positivos de sostenibilidad más amplios de la agenda rápidamente emergente de la economía circular ("después del uso"); conceptos que deben evolucionar mutua y simultáneamente. Esta investigación y el informe son un peldaño hacia el desarrollo de una economía circular en los países de ingresos bajos y medios (el "Hemisferio Sur") que valora explícita y fundamentalmente la salud y la seguridad humanas; del mismo modo que es impensable no respetarla en los países de ingresos altos

6 Resumen de recomendaciones

Las recomendaciones para seguir trabajando se han dividido en dos grupos a lo largo de este informe:

- Las respuestas urgentes incluyen acciones que podrían tomarse para reducir la exposición al peligro para los individuos y las poblaciones afectadas en las que se considera que el riesgo es alto, pero para las que puede faltar la investigación que fundamente y oriente los recursos.
- Las recomendaciones para la investigación y la innovación incluían acciones que podrían llevarse a cabo para mejorar la comprensión de la exposición a los peligros de los individuos y las poblaciones y,

por lo tanto, apoyar el caso para financiar o intervenir de otra manera para reducir o eliminar esa exposición.

En esta sección, las respuestas urgentes y las recomendaciones para la investigación se agrupan y se resumen en la **Tabla 4** y la **Tabla 5**, respectivamente. Para cada una de ellas, se ha indicado el tipo de partes interesadas que pueden actuar.

Sin embargo, este no era el objetivo principal del proyecto y, por lo tanto, deben tratarse como una indicación para permitir una mayor investigación en el marco de la investigación que permite esta revisión.

Los riesgos para la salud de las personas identificados en esta revisión se centraron en su gran mayoría en los LMIC, donde la capacidad y los medios para mitigarlos son limitados debido a que las prioridades compiten con otras necesidades de la sociedad, como la atención sanitaria, el suministro de agua potable y la nutrición. Esta misma falta de recursos también repercute en la financiación de la investigación en los LMIC, lo que da lugar a un gran número de estudios de baja calidad que son insuficientes para convencer a los financiadores para que intervengan. La falta de financiación para intervenir y la falta de financiación para la investigación agravan el problema y reducen la eficacia de las intervenciones.

Tabla 4: Resumen de 11 respuestas urgentes para mitigar el daño.

Area temática General	Recomendaciones	Detalle	Tipo indicativo de partes interesadas
Quema a cielo abierto	Gestionar los residuos para que las comunidades no tengan que gestionar los suyos y quemarlos a cielo abierto Gestionar la continuidad de la quema a cielo abierto proporcionando orientación para llevar a cabo una	Eliminar la necesidad de que los ciudadanos tengan que tomar medidas de emergencia para gestionar sus propios residuos. Esto puede lograrse mediante: • reducir la masa de residuos en el sistema • aumentar la recolección de residuos de los domicilios y las empresas • mejorar la economía del reciclaje y la preparación para la reutilización • Apoyar al sector informal del reciclaje como potencialmente el mayor recolector de RSM del planeta. Proporcionar asesoramiento sobre la quema más segura, como por ejemplo • aumentar el flujo de aire en los incendios, ya sea mediante una quema cuidadosa o mediante el uso de incineradores rudimentarios • evitar la combustión de ciertos materiales, como los plásticos clorados los contaminantes orgánicos persistentes y los RAEE que contienen soldadura (por ejemplo)	ONGs Organizaciones relacionadas con la Ayuda Oficial al Desarrollo (AOD) Gobiernos municipales y centrales ONG Organizaciones relacionadas con la
	combustión más segura Eliminar o sustituir las sustancias seleccionadas que se utilizan en el sistemas de producción en zonas en las que la quema a cielo abierto es frecuente	 Quemar lejos de otros receptores humanos y utilizar equipos de protección respiratoria. Retirar materiales y sustancias específicas de sistemas de producción en zonas donde hay grandes cantidades de residuos que corren el riesgo de ser quemados a cielo abierto, como por ejemplo COPs Metales catalíticos como el hierro, el cobre, el aluminio y el cromo. 	Fabricantes de productos, propietarios de marcas Gobiernos centrales Organizaciones relacionadas con la AOD
	Eliminar o sustituir las sustancias seleccionadas que se utilizan en el sistemas de producción en zonas en las que la quema a cielo abierto es frecuente	Sustituir algunos materiales por otros que sean menos dañinos al quemarse, previa evaluación del riesgo. Por ejemplo: • Envases de plástico clorado (por ejemplo, PVC) • Envases de poliestireno • Papel (clorado).	Fabricantes de productos, propietarios de marcas Gobiernos centrales Organizaciones relacionadas con la AOD

ÁreaTemática General	Recomendaciones	Detalle	Tipo indicativo de partes interesadas
Basurales	Reducir la cantidad de material depositado en los basurales	Desviar el material de los basurales aplicando un tratamiento y una eliminación alternativos: • El desvío de los residuos de alimentos y jardines de los basurales podría reducir su masa en más de un 50%. La recolección separada de los grandes flujos y el desvío hacia el compostaje podrían implementarse a bajo costo, pero requerirían la cooperación de la sociedad civil • La integración y el reconocimiento de los trabajadores informales de la recuperación de residuos podría mejorar el desvío de los envases que también constituyen una proporción considerable de los residuos generados en los LIMICS. Los trabajadores informales podrían acceder a los residuos antes de depositarlos en los basurales para reducir el riesgo de exposición a los peligros en el frente operativo • Desviar el material restante a rellenos sanitarios en los que los materiales puedan depositarse de forma segura sin el riesgo de que se produzcan fallos en los taludes de los residuos y otros innumerables peligros a los que puedan estar expuestos los trabajadores y la población.	Gobiernos centrales y municipales con ayuda de organismos internacionales de financiación
	Transformar los basurales existentes siguiendo una serie de pasos transitorios rentables	Dado el elevado coste de los rellenos sanitarios en comparación con los basurales, podría aplicarse una serie de pasos de transición entre el basural y el relleno sanitario para reducir los daños derivados de futuros depósitos de residuos. Los métodos de gestión podrían introducirse secuencialmente en función de la relación coste-beneficio de la mitigación del riesgo. Por ejemplo: • organización básica de los residuos • gestión del ingreso de residuos • celdas separadas • cobertura intermedia y diaria • revestimientos y recogida de lixiviados • cobertura superior • captura de gas y quema o utilización.	Gobiernos municipales y centrales con ayuda de ONG y organismos internacionales de financiación
	Realizar una evaluación del riesgo de rotura del talud Elaborar orientaciones para mitigar el riesgo de derrumbe de taludes	Identificar los basurales con mayor riesgo de derrumbe de la ladera de los residuos mediante la colaboración con redes internacionales como ISWA, así como con los gobiernos nacionales, para informar sobre los basurales que pueden determinarse visualmente como de riesgo (por ejemplo, los de gran pendiente o ladera alta y los que están cerca de los centros de población). Realizar un seguimiento mediante el despliegue de un equipo internacional de expertos en ingeniería geotécnica para llevar a cabo una evaluación in situ para determinar la estabilidad de los basurales y, por lo tanto, el riesgo para las poblaciones, y permitir que se establezcan prioridades. En caso necesario,	Organizaciones relacionadas con la AOD
Recolectores Informales	Restringir el acceso a los entornos peligrosos en estrecha colaboración con los trabajadores informales de los residuos	evacuar a la población. Cuando sea posible proporcionar un acceso continuo al material a través de un medio más seguro (por ejemplo, un cobertizo con cintas transportadoras o mesas de clasificación), se puede restringir el acceso a los rellenos sanitarios y basurales mediante la prohibición del acceso peatonal y la aplicación de una cubierta diaria e intermedia a la superficie de los residuos. Es imprescindible que esto se haga en colaboración con los propios recolectores informales para garantizar que se les incluye en el diseño y la aplicación de las medidas alternativas.	Organizaciones internacionales de residuos
	Facilitar el acceso controlado a los rellenos sanitarios Restringir la cadena de	En los casos en que no sea posible la exclusión, se puede ofrecer un acceso controlado en el que los recolectores informales tengan acceso a zonas específicas y menos peligrosas de los rellenos sanitarios, a cambio de cumplir con los procedimientos básicos de salud y seguridad. Algunos operadores pueden ser reacios a asumir una responsabilidad continua por la presencia de los recolctores informales, pero en el contexto de las alternativas en las que no tienen control, el acceso gestionado puede ser una opción más segura en general.	Gobiernos nacionales y municipales
	suministro de determinados artículos y materiales (RAEE y RES)	Adoptar medidas para reducir la demanda de equipos médicos recuperados de los residuos para su reutilización por parte de las instituciones médicas. Restringir la cadena de suministro de equipos eléctricos usados que se exportan desde los HIC a los LMIC.	ONGs y Organizaciones relacionadas con la AOD
	Integrar a los recolectores informales de residuos en los planes municipales de gestión de residuos sólidos	Los datos indican que la inclusión e integración de los trabajadores informales de los residuos en la planificación de la gestión de los residuos sólidos municipales puede mejorar la salud y la seguridad y el bienestar de sus participantes. Por lo tanto, se recomienda que los gobiernos municipales actúen esta integración con carácter de urgencia para iniciar el proceso de mitigación de los daños a esta población vulnerable.	Operadores de rellenos y basurales, gobiernos municipales, ONGs y organizaciones de recicladores

Tabla 5: Resumen de las 18 recomendaciones para seguir investigando e innovando.

AreaTemática General	Recomendación	Detalle	Tipo indicativo de partes interesadas
Todo	Investigación e innovación sobre la naturaleza y la escala local y global de los fenómenos y sus implicaciones, así como los retos y oportunidades de todo el sistema, incluyendo la evaluación comparativa y los observatorios globales apoyados por pruebas cuantificadas normalizadas	Encargar investigaciones de alta calidad, comparables y procesables, dirigidas a desarrollar una comprensión detallada de la magnitud del daño en cada área temática de preocupación a nivel de sistemas, incluyendo: • Número de personas ocupadas en actividades y número de afectados por las interacciones negativas con las emisiones • Flujos de materiales y sustancias en la sociedad y en la cadena de valor de la recuperación de recursos, desde la fase de uso hasta su destino • Desarrollo de métodos estandarizados de recopilación de datos y presentación de informes • Creación de uno o varios observatorios mundiales para albergar datos y conocimientos	Organizaciones relacionada con la AOD Organismos internacionales de financiación Organizaciones internacionales del sector de los residuos Académicos y consultores
Quema a cielo abierto	Obtener datos primarios sobre la prevalencia	Las investigaciones sobre las cantidades de residuos quemados a cielo abierto se basan en gran medida en entrevistas a expertos y en la búsqueda de información, con unos pocos artículos que aportan datos precedentes de encuestas y observaciones, lo que genera una importante incertidumbre sobre la masa de material que se quema a cielo abierto. Se podrían llevar a cabo varias actividades de recopilación de datos primarios: • Análisis de segmentos para determinar la prevalencia de la quema abierta observando el tamaño y la masa quemada en diferentes contextos. • Evaluación de las actividades de quema a cielo abierto en los centros informales de recuperación de RAEE • Encuestas verbales y escritas combinadas con el análisis físico del material para determinar la masa abierta quemada. • Métodos novedosos para evaluar la masa que se quema en incendios de larga duración en basurales. • Análisis basado en algoritmos de datos de imágenes aéreas recogidos por satélite avión o dron.	Académicos y consultores - especialistas en gestión de residuos y recopilación de datos primarios Organizaciones relacionadas con la AOD
	Vincular la prevalencia (arriba) con las prácticas de gestión	Investigar la relación entre la prevalencia de las quemas a cielo abierto y las variaciones en la gestión para proporcionar pruebas para la elaboración de modelos predictivos en otros contextos.	Académicos y consultores - especialistas en química atmosférica Organizaciones relacionadas con la AOD
	Desarrollar factores de emisión fiables	Desarrollar factores de emisión fiables, adecuados al tipo de material y a las condiciones de combustión. Es probable que se realicen estudios sobre el terreno de incendios en muchos contextos diferentes y con una composición de materiales variada, por ejemplo: • quema en el jardín de la vivienda/domicilio • quema en la calle • incendios en basurales • incendios para recuperar componentes eléctricos • incineración básica en hornos rudimentarios (como los RES) • incendios simulados	Académicos y consultores - especialistas en química atmosférica Organizaciones relacionadas con la AOD
	Relacionar las concentraciones atmosféricas observadas con la fuente	Mejorar la comprensión de la contribución de la quema a cielo abierto a las concentraciones de sustancias detectadas en la atmósfera en el contexto de las fuentes de contaminación. Los estudios combinarán datos sobre otras fuentes de emisión, como el transporte y la industria, con especies marcadoras para modelar y asignar las concentraciones atmosféricas medidas a las fuentes, incluida la quema a cielo abierto.	Académicos y consultores - especialistas en química atmosférica Organizaciones relacionadas con la AOD
	Comparación de riesgos entre las emisiones y la eliminación de patógenos	Comparar cuantitativamente la mitigación del riesgo de infección patógena mediante la descarga a cielo abierto con aquella asociada a las emisiones de sustancias potencialmente nocivas de la quema a cielo abierto.	Académicos y consultores: especialistas en gestión de residuos, gestión de riesgos y control de infecciones Organizaciones relacionadas con la AOD

AreaTemática General	Recomendación	Detalle	Tipo indicativo de partes interesadas
	Evaluar los beneficios y las motivaciones de la quema a cielo abierto	Entender las razones por las que la quema a cielo abierto es llevada a cabo por diferentes actores para adaptar eficientemente las intervenciones hacia la mitigación. Es probable que la investigación incluya: • encuestas a gran escala • grupos de discusión • investigación participativa.	Académicos y consultores Organizaciones relacionadas con la AOD
	Desarrollar prácticas/ guías de transición para trabajar en la eliminación de riesgos	Desarrollar prácticas de transición, guías, procesos, protocolos para el seguimiento, la eliminación rápida o la mejora de las prácticas de quema a cielo abierto. Estos tipos de recursos combinarán la teoría del cambio de comportamiento con la evaluación del riesgo, centrándose en las ubicaciones geográficas y los grupos socioeconómicos donde la prevalencia de la quema a cielo abierto es alta.	Académicos consultorías, gobiernos municipales y centrales Organizaciones relacionadas con la AOD
Basurales		Aunque la ubicación de algunos de los mayores basurales del mundo es conocida por ISWA y el Atlas de Residuos, no existen datos registrados de forma centralizada sobre la ubicación de la mayoría. Esto supone un reto para los agentes que desean intervenir para evitar daños, por ejemplo, la evaluación de la rotura de taludes de los basurales. Por lo tanto, se sugieren las siguientes actividades de investigación: Colaborar con la red internacional de ISWA para identificar los sitios de alto riesgo conocidos	ISWA, gobiernos nacionales consultorías académicas Organizaciones relacionadas con la AOD
	Identificación de	 Desarrollar algoritmos para interpretar imágenes captadas por drones, satélites o aviones para identificar los basurales. Estos algoritmos podrían validarse con la comprobación sobre el terreno y calibrarse con estudios de reconocimiento, datos y caracterización de residuos. Utilizar los datos anteriores para elaborar un perfil de los emplazamientos en función de su topología, condiciones climáticas y tamaño, lo que permitirá elaborar una lista de 	
	los basurales Evaluación del riesgo de rotura de taludes	preselección de emplazamientos para su evaluación sobre el terreno. Desplegar un equipo global de ingenieros geotécnicos, expertos en fallos de taludes de residuos, para evaluar los lugares identificados como de alto riesgo a partir del estudio documental.	Ingenieros geotécnicos, académicos, consultorías Organizaciones relacionadas con la AOD
	Orientación para mitigar el riesgo de fallo del talud de residuos	Desarrollar orientaciones accesibles y de libre acceso dirigidas a los gobiernos municipales, tanto para evaluar la probabilidad de que se produzcan fallos en los taludes de residuos como para detallar los pasos a seguir para mitigar el riesgo, incluida la evacuación en caso necesario.	Académicos, consultorías Organizaciones relacionadas con la AOD
	Elaborar normas para la eliminación controlada y gestionada, junto con orientaciones y seguimiento de las medidas transitorias para lograrlo	Elaborar normas mínimas para la "eliminación controlada en tierra" de bajo coste en los LMIC que reconozcan los retos asociados a la aplicación en un contexto de escasos recursos financieros. Complementar con protocolos de orientación y seguimiento que apoyen los pasos de transición hacia la reducción de daños y el eventual relleno sanitario.	Académicos y consultores - especialistas en química atmosférica Organizaciones relacionadas con la AOD
Recolectores informales	Desarrollar criterios de información estandarizados para establecer la causalidad controlando los factores de riesgo Existen considerables pruebas que indican las concentraciones de sustancias peligrosas en el entorno y en las personas. Sin embargo, muchos estudios no aportan información suficiente para inferir la causalidad en el contexto de los factores de riesgo. Para mejorar la calidad de estos estudios, se recomienda desarrollar criterios experimentales y de notificación estandarizados y comparables.		Académicos, consultorías Organizaciones relacionadas con la AOD,
	Llevar a cabo una investigación de alta calidad, comparable y procesable que cuantifique el riesgo	Muchos de los estudios sobre los trabajadores informales no son técnicos ni prácticos, y se centran en la mitigación filantrópica de la pobreza y en pruebas anecdóticas o en informes de experiencias individuales. Para establecer una base de evidencia cuantificable, se recomienda que se lleven a cabo más estudios que modelen la exposición al peligro para calcular los cocientes de peligro y los números de índice reportables y así proporcionar un riesgo cuantificable de morbilidad y mortalidad.	Académicos, consultorías Organizaciones relacionadas con la AOD,
	Vincular las observaciones epidemiológicas a las pruebas de exposición al riesgo en los estudios del tipo carga global de la enfermedad	Utilizar los datos anteriores para extrapolar los estudios del tipo carga global de la enfermedad que evalúan los riesgos para todo el sector global de los trabajadores informales.	Académicos, consultorías Organizaciones relacionadas con la AOD,

AreaTemática General	Recomendación	Detalle	Tipo de partes interesadas potenciales
	Establecer un observatorio mundial para facilitar el diseño de intervenciones específicas	Para centralizar y poner a disposición de los interesados las investigaciones antes mencionadas relacionadas con los trabajadores informales, se recomienda la creación de un "observatorio mundial" como depósito de datos que permita diseñar intervenciones específicas.	Académicos, consultores, organizaciones relacionadas con la AOD
Capacitar a los trabajadores informa para que se organice trabajen lejos de las actividades de alta exposición Innovación en el uso Equipos de Proteccio que puedan ser utilizables/aceptables asequibles para los	trabajadores informales para que se organicen y trabajen lejos de las actividades de alta	Fomentar y trabajar con los trabajadores informales para mejorar las condiciones y trabajar en un entorno más seguro, lejos del frente del basural, depositando la materia prima en lugares intermedios que estén delimitados para reducir las interacciones con la maquinaria y los vehículos y que no impliquen trabajar encima de pilas de residuos profundas de composición desconocida. Como ampliación de este concepto, los entornos cubiertos podrían estar provistos de mesas o cintas transportadoras para mejorar la manipulación manual, la higiene y el bienestar. También se podría animar a los recicladores a participar como recolectores autorizados de material separado en origen como parte de la planificación de la gestión municipal de residuos.	Académicos, consultores, organizaciones relacionadas con la AOD
	utilizables/aceptables/	Trabajar con los recicladores para proporcionar y fomentar el uso de equipos de protección personal asequibles / aceptables / utilizables para reducir el riesgo de exposición a los peligros	Académicos, consultores, organizaciones relacionadas con la AOD

Notas finales

- KAZA, S., YAO, L., BHADA-TATA, P. & VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Available: https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/30317/9781464813290.pdf?sequence=126isAllowed=y [Accessed 1 August 2019].
- WILSON, D. G. 1976. A brief history of solid waste management. International Journal of Environmental Studies, 9, 123-129.
- WILSON, D. C. 2007. Development drivers for waste management. Waste Management and Research. 25, 198-207.
- VELIS, C. A., WILSON, D. C. & CHEESEMAN, C. R. 2009. 19th century London dust-yards: A case study in closed-loop resource efficiency. Waste Management, 29, 1282-1290.
- WILSON, D. C., RODIC, L., MODAK, P., SOOS, R., ROGERO, A. C., VELIS, C., et al. 2015. Global Waste Management Outlook. Available: https://www.researchgate.net/publication/283085861_Global_Waste_Management_Outlook_United_Nations_ Environment_Programme_UNEP_and_International_Solid_Waste_Association_ISWA [Accessed 14 May 2019].
- WHO 2015. Water, sanitation and hygiene in health care facilities: status in low and middle income countries and way forward. Available: https:// apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/154588/9789241508476_eng. pdf;sessionid=6BD30175CC3AC7FAC997ABC1DCC8773A?sequence=1 [Accessed 27 April 2020].
- WHO 2019. Overview of technologies for the treatment of infectious and sharp waste from health care activities, Geneva, World Health Organization.
- 8. RODRÍGUEZ, J. R. 2012. The Monte Testaccio. From rubbish dump to archive. Atti della Pontificia Accademia Romana di Archeologia: Serie III, Rendiconti.
- VELIS, C. A., WILSON, D. C., ROCCA, O., SMITH, S. R., MAVROPOULOS, A. & CHEESEMAN, C. R. 2012. An analytical framework and tool ('InteRa') for integrating the informal recycling sector in waste and resource management systems in developing countries. Waste Management & Research, 30, 43-66.
- SAMSON, M. 2020. Lessons from Waste Picker Integration Initiatives: Development of Evidence Based Guidelines to Integrate Waste Pickers into South African Municipal Waste Management Systems. Technical report: Integrating reclaimers into our understanding of the recycling economy. [Accessed].
- BLAAUW, P. F., VILJOEN, J. M. M., SCHENCK, C. J. & SWART, E. C. 2015. To "spot" and "point"
 managing waste pickers' access to landfill waste in the North-West Province.
 AfricaGrowth Agenda, 2015, 18-21.
- 12. operations-guidelines/109/ [Accessed 10 June 2020].
- TOSKA, A. 29 November 2019 2019. RE: Discussion about informal sector projects in Macedonia.
- GUTBERLET, J., BAEDER, A., PONTUSCHKA, N., FELIPONE, S. & DOS SANTOS, T. 2013. Participatory research revealing the work and occupational health hazards of cooperative recyclers in Brazil. International journal of environmental research and public health, 10, 4607-4627.
- WILSON, D. C., RODIC, L., MODAK, P., SOOS, R., CARPINTERO, A., VELIS, K., et al. 2015. Global waste management outlook, UNEP.
- LAU, W. W. Y., SHIRAN, Y., BAILEY, R. M., COOK, E., STUCHTEY, M. R., KOSKELLA, J., et al. 2020. Evaluating Scenarios Toward Zero Plastic Pollution. Science.
- HEALTH AND SAFETY EXECUTIVE 2018. Key statistics in the Waste sector in Great Britain, 2018. Available: http://www.hse.gov.uk/statistics/industry/waste-recycling.pdf [Accessed 21 October 2019].
- DOHERTY, J. 2019. Work-related ill health 'impacts 4.5% of workers' [Online]. London, UK: Environment Media Group Ltd. Available: https://www.letsrecycle.com/news/latest-news/work-related-illness-impacts-4-5-of-industry/ [Accessed 3 December 2019].
- VELIS, C. & MAVROPOULOS, A. 2016. Unsound waste management and public health: The neglected link? Waste Management & Research, 34, 277-279.
- 20. INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION 2019. Statistics on safety and health at work 2019 ed. Geneva, Switzerland: International Labour Organization.
- COMARU, F. & WERNA, E. 2013. The Health of Workers in Selected Sectors of the Urban Economy: Challenges and Perspectives. Available: https://www.ilo.org/global/topics/ safety-and-health-at-work/resources-library/publications/WCMS_208090/lang--en/ index.htm [Accessed 23 October 2019].
- CHOKHANDRE, P., SINGH, S. & KASHYAP, G. C. 2017. Prevalence, predictors and economic burden of morbidities among waste-pickers of Mumbai, India: a cross-sectional study. Journal of occupational medicine and toxicology (London, England), 12, 30-30.
- 23. WILSON, D. C., VELIS, C. & CHEESEMAN, C. 2006. Role of informal sector recycling in waste management in developing countries. Habitat International, 30, 797-808.
- 24. GIUSTI, L. 2009. A review of waste management practices and their impact on human health. Waste Management, 29, 2227-2239.
- SEARL, A. & CRAWFORD, J. 2012. Review of Health Risks for workers in the Waste and Recycling Industry. IOM contract no: 611-00491. Available: https://wwwblmlaw.com/ images/uploaded/news/File/Review_of_Health_Risks_for_workers_in_the_Waste_ and_Recycling_Industry1%20(2).pdf [Accessed 2] June 2020].
- POOLE, C. J. M. & BASU, S. 2017. Systematic Review: Occupational illness in the waste and recycling sector. Occup Med (Lond), 67, 626-636.
- LAVOIE, J. & GUERTIN, S. 2001. Evaluation of health and safety risks in municipal solid waste recycling plants. Journal of the Air & Waste Management Association, 51, 352-360
- MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D. G. & THE, P. G. 2009. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. PLOS Medicine, 6. e1000097.
- 29. GUSENBAUER, M. 2019. Google Scholar to overshadow them all? Comparing the sizes of 12 academic search engines and bibliographic databases. Scientometrics, 118, 177-214.

- 30. BRUNNER, P. H. & RECHBERGER, H. 2017. Practical handbook of material flow analysis: For environmental, resource and waste engineers, Boca Raton, USA, CRC Press.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION 2012. Rapid Risk Assessment of Acute Public Health Events. WHO/HSE/GAR/ARO/2012.1. Available: https://www.who.int/csr/resources/ publications/HSE_GAR_ARO_2012_1/en/ [Accessed 5 February 2020].
- ROUSE, J. R. 2006. Seeking common ground for people: Livelihoods, governance and waste. Habitat International, 30, 741-753.
- FORBID, G. T., GHOGOMU, J. N., BUSCH, G. & FREY, R. 2011. Open waste burning in Cameroonian cities: An environmental impact analysis. Environmentalist, 31, 254-262.
- KAWAMURA, K. & PAVULURI, C. 2010. New Directions: Need for better understanding of plastic waste burning as inferred from high abundance of terephthalic acid in South Asian aerosols. Atmospheric Environment, 44, 5320-5321.
- KHAN, B. A., CHENG, L., KHAN, A. A. & AHMED, H. 2019. Healthcare waste management in Asian developing countries: A mini review. Waste Management & Research, 37, 863-876.
- MUSA, O. I., PARAKOYI, D. B. & AKANBI, A. A. 2006. Evaluation of Health Education Intervention on Safe Immunization Injection among Health Workers in Ilorin, Nigeria Annals of African Medicine, Vol 5, pp. 122-128
- BAZRAFSHAN, E. & KORD MOSTAFAPOOR, F. 2010. Survey of medical waste characterization and management in Iran: a case study of Sistan and Baluchestan Province. Waste Management & Research, 29, 442-450.
- MESDAGHINIA, A., NADDAFI, K., AMIR HOSSEIN, M. & SAEEDI, R. 2009. Waste management in primary healthcare centres of Iran. Waste Management & Research, 27, 354-361.
- AZAGE, M. & KUMIE, A. 2010. Healthcare waste generation and its management system: the case of health centers in West Gojjam Zone, Amhara Region, Ethiopia. Ethiopian Journal of Health Development, Vol 24.
- BASSEY, B. E., BENKA-COKER, M. O. & ALUYI, H. S. A. 2006. Characterization and management of solid medical wastes in the Federal Capital Territory, Abuja Nigeria. African health sciences, 6, 58-63.
- PHENGXAY, S., OKUMURA, J., MIYOSHI, M., SAKISAKA, K., KUROIWA, C. & PHENGXAY, M. 2005. Health-care waste management in Lao PDR: a case study. Waste Management & Research, 23, 571-581.
- UNICOMB, L., HORNG, L., ALAM, M.-U., HALDER, A. K., SHOAB, A. K., GHOSH, P. K., et al. 2018. Health-Care Facility Water, Sanitation, and Health-Care Waste Management Basic Service Levels in Bangladesh: Results from a Nation-Wide Survey. 99, 916-923.
- COFFEY, M. & COAD, A. 2010. Collection of Municipal Solid Waste in Developing Countries, United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT).
- AGARWAL, R., SHUKLA, K., KUMAR, S., AGGARWAL, S. G. & KAWAMURA, K. 2020. Chemical composition of waste burning organic aerosols at landfill and urban sites in Delhi. Atmospheric Pollution Research, 11, 554-565.
- BRIGDEN, K., LABUNSKA, I., SANTILLO, D. & ALLSOPP, M. 2005. Recycling of Electronic Wastes in China & India: Workplace & Environmental Contamination. Available: https:// storage.googleapis.com/planet4-international-stateless/2005/08/ee56bf32recycling-of-electronic-waste.pdf [Accessed 6 May 2020].
- PERKINS, D. N., DRISSE, M.-N. B., NXELE, T. & SLY, P. D. 2014. E-waste: a global hazard. Annals of global health, 80, 286-295.
- WATSON, A., BRIGDEN, K., SHINN, M. & COBBING, M. 2010. Toxic Transformers: a review
 of the hazards of brominated & chlorinated substances in electrical and electronic
 equipment. GRL-TN-01-2010. Available: http://www.greenpeace.to/publications/ToxicTransformers-2010.pdf [Accessed 15 may 2020].
- PANSUK, J., JUNPEN, A. & GARIVAIT, S. 2018. Assessment of air pollution from household solid waste open burning in Thailand. Sustainability (Switzerland), 10.
- WIEDINMYER, C., YOKELSON, R. J. & GULLETT, B. K. 2014. Global Emissions of Trace Gases, Particulate Matter, and Hazardous Air Pollutants from Open Burning of Domestic Waste. Environmental Science & Technology, 48, 9523-9530.
- NAGPURE, A. S., RAMASWAMI, A. & RUSSELL, A. 2015. Characterizing the Spatial and Temporal Patterns of Open Burning of Municipal Solid Waste (MSW) in Indian Cities. Environmental Science & Technology, 49, 12904-12912.
- 51. CHANCHAMPEE, P. 2010. Methods for Evaluation of Waste Management in Thailand in Consideration of Policy, Environmental Impact and Economics.
- CHRISTIAN, T. J., YOKELSON, R. J., CÁRDENAS, B., MOLINA, L. T., ENGLING, G. & HSU, S. C. 2010. Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico. Atmos. Chem. Phys., 10, 565-584.
- KUMARI, K., KUMAR, S., RAJAGOPAL, V., KHARE, A. & KUMAR, R. 2017. Emission from open burning of municipal solid waste in India. Environmental Technology, 1-14.
- 54. PREMAKUMARA, D. G. J., MENIKPURA, S. N. M., SINGH, R. K., HENGESBAUGH, M., MAGALANG, A. A., ILDEFONSO, E. T., et al. 2018. Reduction of greenhouse gases (GHGs) and short-lived climate pollutants (SLCPs) from municipal solid waste management (MSWM) in the Philippines: Rapid review and assessment. Waste Management, 80, 397-405.
- NATIONAL ENVIRONMENTAL ENGINEERING RESEARCH INSTITUTE 2010. Air Quality Assessment, Emissions Inventory and Source Apportionment Studies: Mumbai. Available: http://mpcb.ecmpcb.in/ereports/pdf/Mumbai_report_cpcb.pdf [Accessed 1 May 2019].
- REYNA-BENSUSAN, N., WILSON, D. C. & SMITH, S. R. 2018. Uncontrolled burning of solid waste by households in Mexico is a significant contributor to climate change in the country. Environmental Research, 163, 280-288.
- US ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY 2001. Residential Household Waste Open Burning. Available: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-08/documents/ opnres3.pdf [Accessed 01 May 2019].
- GUENDEHOU, G. H. S., KOCH, M., HOCKSTAD, L., PIPATTI, R. & YAMADA, M. 2006. IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 5: Waste Chapter 5: Incineration and open burning of waste. Available: https://www.ipcc-nggip.iges.orjp/ public/2006gl/vol5.html [Accessed 1] June 2020].

- LENKIEWICZ, Z. 2019. Open burning of waste at a dumpsite [Online]. YouTube. Available: https://www.youtube.com/watch?v=oqFLtdKasOg [Accessed 11 June 2020].
- HUMAN RIGHTS WATCH. 2017. Lives At Risk: Open Burning of Waste in Lebanon [Online]. YouTube. Available: https://www.youtube.com/watch?v=XgaC.WrpluU [Accessed 1] June 20201.
- TRACINGTHOUGHT. 2019. "Disappearing" Trash: Is Bali Burning Their Landfills? [Online]. YouTube. Available: https://www.youtube.com/watch?v=11D9T5dYLjA [Accessed].
- G., C. & SATYANARAYAN, S. 2016. Dump. Burn. Pollute. Who cares in indifferent Bengaluru? [Online]. Deccan Chronicle. Available: https://www.deccanchronicle.com/nation/current-affairs/170516/dump-burn-pollute-who-cares-in-indifferent-bengaluru.html [Accessed II June 2020].
- DOSHI, V. 2016. The Kolkata dump that's permanently on fire: 'Most people die by 50' [Online]. The Guardian. Available: https://www.theguardian.com/cities/2016/oct/24/ difficult-breathe-inside-kolkata-india-rubbish-dump-permanently-fire [Accessed 11 June 2020]
- LORRAINE, D. 2016. Overview of accident statistics on waste management facilities [Accessed].
- GJOKA, K., SHEHI, T. & NEPRAVISHTA, F. 2012. Assessment of Risk to Human Health from Landfill Gas at Sharra Landfill, Tirana-Albania. Journal of Environmental Science and Engineering. B., 1, 1239.
- 66. BATES, M. 2004. Managing Landfill Site Fires in Northamptonshire.
- CESARO, A., BELGIORNO, V., GORRASI, G., VISCUSI, G., VACCARI, M., VINTI, G., et al. 2019. A relative risk assessment of the open burning of WEEE. Environmental Science and Pollution Research, 26, 11042-11052.
- SONG, Q. & Ll, J. 2014. A systematic review of the human body burden of e-waste exposure in China. Environment International, 68, 82-93.
- SEPÚLVEDA, A., SCHLUEP, M., RENAUD, F. G., STREICHER, M., KUEHR, R., HAGELÜKEN, C., et al. 2010. A review of the environmental fate and effects of hazardous substances released from electrical and electronic equipments during recycling: Examples from China and India. Environmental impact assessment review, 30, 28-41.
- 70. OGUNMAKINDE, O., SHER, W. & MAUND, K. 2019. An Assessment of Material Waste Disposal Methods in the Nigerian Construction Industry. Recycling, 4, 13.
- WAHAB, A. B. & LAWAL, A. F. 2011. An evaluation of waste control measures in construction industry in Nigeria. African Journal of Environmental Science and Technology, 5(3), 246-254.
- LEMIEUX, P. M., LUTES, C. C. & SANTOIANNI, D. A. 2004. Emissions of organic air toxics from open burning: a comprehensive review. Progress in Energy and Combustion Science, 30, 1-32.
- DANIA, A. A., KEHINDE, J. O. & BALA, K. 2007. A study of construction material waste management practices by construction firms in Nigeria. PRoBE 2007. The Third Scottish Conference for Postgraduate Researchers of the Bullt and Natural Environment. Glasgow Caledonian University.
- WASSON, S. J., LINAK, W. P., GULLETT, B. K., KING, C. J., TOUATI, A., HUGGINS, F. E., et al. 2005. Emissions of chromium, copper, arsenic, and PCDDs/Fs from open burning of CCA-treated wood. Environ Sci Technol, 39, 8865-76.
- LIN, X., XU, X., ZENG, X., XU, L., ZENG, Z. & HUO, X. 2017. Decreased vaccine antibody titers following exposure to multiple metals and metalloids in e-waste-exposed preschool children. Environmental Pollution, 220, 354-363.
- LIN, Y, XU, X, DAI, Y, ZHANG, Y, LI, W. & HUO, X. 2016. Considerable decrease of antibody titers against measles, mumps, and rubella in preschool children from an e-waste recycling area. Science of The Total Environment, 573, 760-766.
- PASCALE, A., SOSA, A., BARES, C., BATTOCLETTI, A., MOLL, M. J., POSE, D., et al. 2016.
 E-Waste Informal Recycling: An Emerging Source of Lead Exposure in South America.
 Annals of Global Health, 82, 197-201.
- WILLIAMS, M., GOWER, R., GREEN, J., WHITEBREAD, E., LENKIEWICZ, Z. & SCHRÖDER, D. P. 2019. No Time to Waste: Tackling the plastic pollution crisis before it's too late. Available: http://opendocsids.ac.uk/opendocs/handle/123456789/14490 [Accessed 3 June 2019]
- KODROS, J. K., WIEDINMYER, C., FORD, B., CUCINOTTA, R., GAN, R., MAGZAMEN, S., et al. 2016. Global burden of mortalities due to chronic exposure to ambient PM2.5 from open combustion of domestic waste. Environmental Research Letters, 11, 124022.
- INSTITUTE FOR HEALTH METRICS AND EVALUATION 2019. Global Burden of Disease Database. Global Health Data Exchange. Washington, USA: Institute for Health Metrics and Evaluation (IHME).
- SHIVANI, GADI, R., SHARMA, S. K. & MANDAL, T. K. 2019. Seasonal variation, source apportionment and source attributed health risk of fine carbonaceous aerosols over National Capital Region, India. Chemosphere, 237.
- SECRETARIAT OF THE STOCKHOLM CONVENTION ON PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS
 2008. Open burning of waste, including burning of landfill sites. Available: http://www.pops.int/Implementation/BATandBEP/BATBEPGuidelinesArticle5/tabid/187/ctl/Download/mid/21090/Default.aspx?id=2178ObjiD=1516 [Accessed 1] June 2020].
- SHEMWELL, B. E. & LEVENDIS, Y. A. 2000. Particulates generated from combustion of polymers (plastics). J Air Waste Manag Assoc, 50, 94-102.
- 84. YASUHARA, A., KATAMI, T., OKUDA, T., OHNO, N. & SHIBAMOTO, T. 2001. Formation of Dioxins during the Combustion of Newspapers in the Presence of Sodium Chloride and Poly(vinyl chloride). Environmental Science & Technology, 35, 1373-1378.
- MULDOON, J. 2017. The Hawthorne studies: an analysis of critical perspectives, 1936-1958. Journal of Management History, 23, 74-94.
- NI, H.-G., LU, S.-Y., MO, T. & ZENG, H. 2016. Brominated flame retardant emissions from the open burning of five plastic wastes and implications for environmental exposure in China. Environmental Pollution, 214, 70-76.
- SIMONEIT, B. R. T., MEDEIROS, P. M. & DIDYK, B. M. 2005. Combustion products of plastics as indicators for refuse burning in the atmosphere. Environmental Science and Technology, 39, 6961-6970.
- PARK, Y. K., KIM, W. & JO, Y. M. 2013. Release of harmful air pollutants from open burning of domestic municipal solid wastes in a metropolitan area of Korea. Aerosol and Air Quality Research. 13, 1365-1372
- WAGNER, J. P. & CARABALLO, S. A. 1997. Toxic species emissions from controlled combustion of selected rubber and plastic consumer products. Polymer - Plastics Technology and Engineering, 36, 189-224.
- GNONLONFIN, A. 2017. Optimal Municipal Solid Waste Taxation with Waste Picking Amandine Gnonlonfin 1 Université de Toulon (LEAD, LIA CNRS). 1-36.
- VALAVANIDIS, A., ILIOPOULOS, N., GOTSIS, G. & FIOTAKIS, K. 2008. Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled combustion of common types of plastic. Journal of Hazardous Materials, 156, 277-284.
- 92. LI, T.-Y., GE, J.-L., PEI, J., BAO, L.-J., WU, C.-C. & ZENG, E. Y. 2019. Emissions and Occupational Exposure Risk of Halogenated Flame Retardants from Primitive Recycling of E-Waste.

- Environmental Science & Technology, 53, 12495-12505.
- REDFERN, F. M., LEE, W.-J., YAN, P., MWANGI, J. K., WANG, L.-C. & SHIH, C.-H. 2017. Overview and Perspectives on Emissions of Polybrominated Diphenyl Ethers on a Global Basis: Evaporative and Fuglitive Releases from Commercial PBDE Mixtures and Emissions from Combustion Sources. Aerosol and Air Quality Research, 17, 1117-1131.
- CARROLL, W. F. 2001. The relative contribution of wood and poly(vinyl chloride) to emissions of PCDD and PCDF from house fires. Chemosphere, 45, 1173-1180.
- GUTTIKUNDA, S. K., NISHADH, K. A. & JAWAHAR, P. 2019. Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. Urban Climate, 27, 124-141.
- FU, P. & KAWAMURA, K. 2010. Ubiquity of bisphenol A in the atmosphere. Environmental Pollution, 158, 3138-3143.
- QUAB, U., FERMANN, M. & BRÖKER, G. 2004. The European Dioxin Air Emission Inventory Project—Final Results. Chemosohere, 54, 1319-1327.
- FIEDLER, H. 2007. National PCDD/PCDF release inventories under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Chemosphere, 67, S96-S108.
- JOINT RESEARCH CENTRE 2018. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration: Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control). Available: http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/ bitstream/JRC113018/jrc113018_wt_1_22-01-2018pubsy.pdf (Accessed 17 December 20191.
- EU (EUROPEAN UNION) 2010. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and
 of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions (integrated pollution
 prevention and control). L334, 17–119.
- 101. KAZA, S., YAO, L. C., BHADA-TATA, P. & VAN WOERDEN, F. 2018. What a Waste 2.0.
- 102. GERBA, C. P., TAMIMI, A. H., PETTIGREW, C., WEISBROD, A. V. & RAJAGOPALAN, V. 2011. Sources of microbial pathogens in municipal solid waste landfills in the United States of America. Waste Management & Research, 29, 781-790.
- 103. COINTREAU, S. 2006. Occupational and Environmental Health Issues of Solid Waste Management: Special Emphasis on Middle- and Lower-Income Countries. Available: http://documents.worldbank.org/curated/en/679351468143072645/ pdf/337790REVISEDOup120IPUBLICI.pdf [Accessed 10 June 2020].
- 104. PEARSON, C., LITTLEWOOD, E., DOUGLAS, P., ROBERTSON, S., GANT, T. W. & HANSELL, A. L. 2015. Exposures and Health Outcomes in Relation to Bioaerosol Emissions from Composting Facilities: A Systematic Review of Occupational and Community Studies. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B, 18, 43-69.
- 105. ROBERTSON, S., DOUGLAS, P., JARVIS, D. & MARCZYLO, E. 2019. Bioaerosol exposure from composting facilities and health outcomes in workers and in the community: A systematic review update. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 222, 364-386.
- HUMBAL, C., GAUTAM, S. & TRIVEDI, U. 2018. A review on recent progress in observations, and health effects of bioaerosols. Environment International, 118, 189-193.
- 107. DOUWES, J., THORNE, P., PEARCE, N. & HEEDERIK, D. 2003. Bioaerosol health effects and exposure assessment progress and prospects. The Annals of occupational hygiene, 47, 187-200.
- GUTBERLET, J. & UDDIN, S. M. N. 2017. Household waste and health risks affecting waste pickers and the environment in low- and middle-income countries. International journal of occupational and environmental health, 23, 299-310.
- 109. MOTHIBA, M. P. 2016. A study on working conditions and health status of waste pickers working at landfill sites in the City of Tshwane Metropolitan Municipality.
- JAYAKRISHNAN, T., JEEJA, M. C. & BHASKAR, R. 2013. Occupational health problems of municipal solid waste management workers in India. International Journal of Environmental Health Engineering, 2, 42.
- AFON, A. 2012. A survey of operational characteristics, socioeconomic and health effects of scavenging activity in Lagos, Nigeria. Waste Management & Research, 30, 444.47.
- 112. MITRA, S. 2016. Disease and health condition of scavengers in Bangladesh.
- 113. KOELSCH, F., FRICKE, K., MAHLER, C. & DAMANHURI, E. Stability of landfills-The Bandung dumpsite disaster. Proceedings Sardinia, 2005.
- PETLEY, D. 2017. Koshe, Ethiopia: the worst garbage dump landslide in recent years [Online]. American Geophysical Union. Available: https://blogs.agu.org/ landslideblog/2017/03/17/koshe-1/ [Accessed 27 June 2020].
- 115. Merry, S.M., Kavazanjian, E.C., Jr., and Fritz, W.U. (2005). "Reconnaissance of the July 10, 2000 Payatas Landfill Failure", American Society of Civil Engineers (ASCE) Journal of Performance of Constructed Facilities, Vol. 19, No. 2, pp. 100-107.
- BLIGHT, G. 2008. Slope failures in municipal solid waste dumps and landfills: a review. Waste Management & Research, 26, 448-463.
- 117. LAVIGNE, F., WASSMER, P., GOMEZ, C., DAVIES, T. A., SRI HADMOKO, D., ISKANDARSYAH, T. Y. W. M., et al. 2014. The 21 February 2005, catastrophic waste avalanche at Leuwigajah dumpsite, Bandung, Indonesia. Geoenvironmental Disasters, 1, 10.
- D-WASTE, UNIVERSITY OF LEEDS, ISWA, SWEEPNET, WTERT & SWAPI. 2019. Waste Atlas [Online]. D-Waste. Available: http://www.atlas.d-waste.com/ [Accessed 6 December 2019].
- 119. EC 2008. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives. Official Journal of the European Union.
- 120. OTENG-ABABIO, M., ANNEPU, R., BOURTSALAS, A. C. T., INTHARATHIRAT, R., CHAROENKIT, S. & KENNARD, N. 2018. Urban Solid Waste Management. In: ROSENZWEIG, C., ROMERO-LANKAO, P., MEHROTRA, S., DHAKAL, S., ALI IBRAHIM, S. & SOLECKI, W. D. (eds.) Climate Change and Cities Second Assessment Report of the Urban Climate Change Research Network. Cambridge: Cambridge University Press.
- KAUFMAN, S. M. & THEMELIS, N. J. 2009. Using a Direct Method to Characterize and Measure Flows of Municipal Solid Waste in the United States. Journal of the Air & Waste Management Association, 59, 1386-1390.
- 122. LINZNER, R. & LANGE, U. 2013. Role and size of informal sector in waste management - a review. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management, 166, 69-83.
- 123. PURSHOUSE, H., VELIS, C., RUTKOWSKI, J., RUTKOWSKI, E. & LERPINIERE, D. 2017. Purshouse et al., Athens 2017. Informal Waste Management and Recycling Sector Operator Models - NO FIELDS 05062017.
- 124. IBÁÑEZ-FORÉS, V., COUTINHO-NÓBREGA, C., BOVEA, M. D., DE MELLO-SILVA, C. & LESSA-FEITOSA-VIRGOLINO, J. 2018. Influence of implementing selective collection on municipal waste management systems in developing countries: A Brazilian case study. Resources, Conservation and Recycling, 134, 100-111.
- 125. HAYAMI, Y., DIKSHIT, A. K. & MISHRA, S. N. 2006. Waste pickers and collectors in Delhi. Poverty and environment in an urban informal sector. The Journal of Development Studies, 42, 41-69.

- 126. VERGARA, S. E., DAMGAARD, A. & GOMEZ, D. 2016. The Efficiency of Informality. Quantifying Greenhouse Gas Reductions from Informal Recycling in Bogotá, Colombia. Journal of Industrial Ecology, 20, 107-119.
- 127. MAJEED, A., BATOOL, S. A. & CHAUDHRY, M. N. 2017. Informal Waste Management in the Developing World: Economic Contribution Through Integration With the Formal Sector. Waste and Biomass Valorization, 8, 679-694.
- 128. CHEN, F., LUO, Z., YANG, Y., LIU, G. J. & MA, J. 2018. Enhancing municipal solid waste recycling through reorganizing waste pickers: A case study in Nanjing, China. Waste Management and Research, 36, 767-778.
- 129. PLASTICSEUROPE 2020. Plastics the Facts 2019: An analysis of European plastics production, demand and waste data. Available: https://www.plasticseurope.org/application/files/9715/7129/9584/FINAL_web_version_Plastics_the_facts2019_14102019.pdf [Accessed 24 June 2020].
- CONFEDERATION OF EUROPEAN PAPER INDUSTRIES (CEPI) 2019. KEY STATISTICS 2018: European pulp & paper industry. Available: https://www.twosides.info/wp-content/uploads/2019/07/Final-Key-Statistics-2018.pdf [Accessed 24 June 2020].
- EUROSTAT. 2020. Packaging waste by waste management operations and waste flow[env waspac]
- 132. IACOVIDOU, E, VELIS, C. A, PURNELL, P, ZWIRNER, O, BROWN, A, HAHLADAKIS, J, et al. 2017 Metrics for optimising the multi-dimensional value of resources recovered from waste in a circular economy: A critical review. Journal of Cleaner Production, 166, 910-938.
- 133. BINION, E. & GUTBERLET, J. 2012. The effects of handling solid waste on the wellbeing of informal and organized recyclers: a review of the literature. International Journal of Occupational and Environmental Health, 18, 43-52.
- 134. WASTE 2004. Addressing the Exploitation of Children in Scavenging (Waste Picking): a Thematic Evaluation of Action on Child Labour. Available: http://www.ilo.org/ipecinfo/ product/download.do?type=document&id=459 [Accessed 27 June 2020].
- LAHA, S. 2015. (In) formality in E-waste Movement & Management in the Global Economy: Faculty of Humanities. Doctor of Philosophy PhD, The University of Manchester
- 136. GRAVEL, S. L., J.: BAKHIYI, B.: DIAMOND, M. L.: JANTUNEN, L. M.: LAVOIE, J.: ROBERGE, B.: VERNER, M. A.: ZAYED, J.: LABRECHE, F. 2019. Halogenated flame retardants and organophosphate esters in the air of electronic waste recycling facilities: Evidence of high concentrations and multiple exposures. Environment International, 128, 244-253.
- CAHILL, T. M., GROSKOVA, D., CHARLES, M. J., SANBORN, J. R., DENISON, M. S. & BAKER, L. 2007. Atmospheric Concentrations of Polybrominated Diphenyl Ethers at Near-Source Sites. Environmental Science & Technology, 41, 6370-6377.
- 138. JULANDER, A., WESTBERG, H., ENGWALL, M. & VAN BAVEL, B. 2005. Distribution of brominated flame retardants in different dust fractions in air from an electronics recycling facility. Science of The Total Environment, 350, 151-160.
- 139. VELIS, C. 2017. Waste pickers in Global South: Informal recycling sector in a circular economy era. Waste Management & Research, 35, 329-331.
- 140. CRUVINEL, V. R. N., MARQUES, C. P., CARDOSO, V., NOVAES, M. R. C. G., ARAÚJO, W. N., ANGULO-TUESTA, A., et al. 2019. Health conditions and occupational risks in a novel group: waste pickers in the largest open garbage dump in Latin America. BMC Public Health, 19, 581.
- GREEN, B. & GRIFFITHS, E. C. 2013. Psychiatric consequences of needlestick injury Occupational Medicine, 63, 183-188.
- AHLBORG, U. G. & VICTORIN, K. 1987. Impact on health of chlorinated dioxins and other trace organic emissions. Waste Management & Research, 5, 203-224.
- 143. ARP, H. P. H., MORIN, N. A., HALE, S. E., OKKENHAUG, G., BREIVIK, K. & SPARREVIK, M. 2017. The mass flow and proposed management of bisphenol A in selected Norwegian waste streams. Waste management, 60, 775-785.
- 144. GADI, R., SHIVANI, SHARMA, S. K. & MANDAL, T. K. 2019. Source apportionment and health risk assessment of organic constituents in fine ambient aerosols (PM2.5): A complete year study over National Capital Region of India. Chemosphere, 221, 583-596.
- 145. FURUYA, S., CHIMED-OCHIR, O., TAKAHASHI, K., DAVID, A. & TAKALA, J. 2018. Global Asbestos Disaster. International journal of environmental research and public health, 15, 1000.
- NATIONAL MINERALS INFORMATION CENTER 2018. Asbestos Statistics and Information. Minerals Yearbook: Advance Data Release of the 2018 Annual Tables In: CENTER, N. M. I. (ed.)
- JADHAV, A. V. & GAWDE, N. C. 2019. Current Asbestos Exposure and Future Need for Palliative Care in India. Indian journal of palliative care, 25, 587-591.
- 148. ASAKURA, H. 2013. Removing gypsum from construction and demolition waste (C&DW). In: PACHECO-TORGAL, F., TAM, V. W. Y., LABRINCHA, J. A., DING, Y. & DE BRITO, J. (eds.) Handbook of Recycled Concrete and Demolition Waste. Woodhead Publishing.
- 149. GUIDOTTI, T. L. 1996. Hydrogen Sulphide. Occupational Medicine, 46, 367-371.
- 150. TOWNSEND, T., CHADIK, P., BITTON, G., BOOTH, M., LEE, S. & YANG, K. J. G., FL: STATE UNIVERSITY SYSTEM OF FLORIDA 2000. Gypsum drywall impact on odor production at landfills: Science and control strategies.
- 151. HJEMDAHL, P. W. & BALASUBRAMANIAN, S. 2018. To What Extent Would Operational Restructuring Through Connecting Market Participants Streamline the Informal Recycling Industry in Urban India?
- 152 GUARNIERI, P. & STREIT, J. 2015. Implications for waste pickers of Distrito Federal, Brazil arising from the obligation of reverse logistics by the National Policy of Solid Waste. Latin American J. of Management for Sustainable Development, 2.
- MARELLO, M. & HELWEGE, A. J. L. A. P. 2018. Solid Waste Management and Social Inclusion of Wastepickers: Opportunities and Challenges. 45, 108-129.
- 154. GUTBERLET, J. 2012. Informal and cooperative recycling as a poverty eradication strategy. Geography Compass, 6, 19-34.
- 155. COWING, M. J. 2013. Health and Safety Guidelines for Waste Pickers in South Sudan. Available: https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/19536/health_ safety_guidelines_waste_SouthSudan.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Accessed 5 August 2020].
- 156. STRINGER, R. 2011. Medical waste and human rights: Submission to the UN Human Rights Council Special Rapporteur. Available: https://noharm-europe.org/sites/default/ files/documents-files/1684/MedWaste_Human_Rights_Report.pdf [Accessed 27 April 2019].
- TAGHIPOUR, H. & MOSAFERI, M. 2009. Characterization of medical waste from hospitals in Tabriz, Iran. Science of the Total Environment, 407, 1527-1535.
- 158. WILSON, D. C., VELIS, C. A. & RODIC, L. 2013. Integrated sustainable waste management in developing countries. Proceedings of Institution of Civil Engineers: Waste and Resource Management, 166, 52-68.

- 159. WILSON, D. C., RODIC, L., COWING, M. J., VELIS, C. A., WHITEMAN, A. D., SCHEINBERG, A., et al. 2015. 'Wasteaware' benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. Waste Management, 35, 329-342.
- 160. BUSSE, C. & AUGUST, E. 2020. Addressing power imbalances in global health: Pre-Publication Support Services (PREPSS) for authors in low-income and middle-income countries. BMJ Global Health, 5, e002323.
- GARFÌ, M., TONDELLI, S. AND BONOLI, A. 2009. Multi-criteria decision analysis for waste management in Saharawi refugee camps. Waste Management, 29(10), 2729-2739.
- 162. COOK, E., VELIS, C.A., GERASSIMIDOU, S., RAMOLA, A. AND RAGOSSNIG, A. 2020c. Thermal deconstruction, open burning and disposal of e-waste without pollution control: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/tbrmq.
- 163 VELIS, C.A. AND COOK, E. 2020. Mismanagement of plastic waste through open burning in the Global South: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/qwy4d.
- 164 COOK, E, VELIS, C.A., WOOLRIDGE, A., STAPP, P. AND EDMONDSON, S. 2020d. Medical and healthcare waste generation, storage, treatment and disposal: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/tb7ng.
- MAALOUF, A., COOK, E., VELIS, C.A., MAVROPOULOS, A., GODFREY, L. AND KAMARIOTAKIS, H. 2020. From dumpsites to engineered landfills: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/65m89.
- 166 COOK, E., VELIS, C.A., GERASSIMIDOU, S., RAMOLA, A. AND RAGOSSNIG, A. 2020b. Physical processing, dismantling and hydrometallurgical treatment of e-waste: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/hpyjm.
- 167 COOK, E. AND VELIS, C.A. (2020). Construction and demolition waste management: A systematic review of risks to occupational and public health. 10.31224/osfio/5tpbz.
- 168 COOK, E, VELIS, C.A. AND DERKS, M. 2020a. Plastic waste reprocessing for circular economy. A systematic review of risks to occupational and public health from legacy substances and extrusion. 10.31224/osfio/yyb5u.

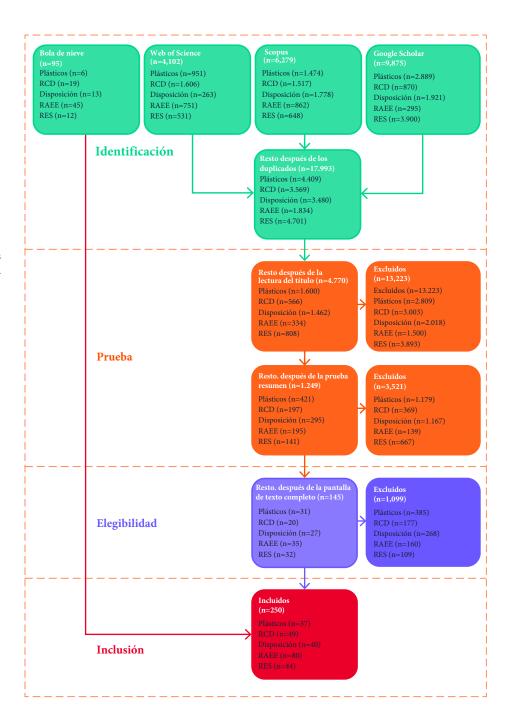
Apéndice A Metodología

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la bibliografía para cada tema de acuerdo con las directrices PRISMA, [28] cuyo objetivo es garantizar que se apliquen prácticas científicas sólidas al proceso de revisión. A continuación se resumen brevemente los detalles exhaustivos de la metodología.

La bibliografía pertinente se identificó mediante búsquedas en bases de datos académicas establecidas con una amplia cobertura disciplinaria (Scopus, Web of Science y Google Scholar), tal como recomienda Gusenbauer^[29] para mejorar la probabilidad de captar todas las fuentes de información pertinentes. La estrategia de búsqueda consistió en

identificar los términos adecuados. seleccionados para presentar tres componentes, todos los cuales debían satisfacerse para que se incluyera un documento bibliográfico, a saber (i) tipo de material y residuo; (ii) tipo o función de procesamiento de residuos; y (iii) daño a la salud humana o al medio ambiente. Los estudios en lengua inglesa se examinaron por el título y el resumen y, a continuación, se llevó a cabo un examen de elegibilidad más exhaustivo, que implicó la lectura o el escaneo del texto principal de la publicación con más detalle. La búsqueda sistemática se complementó con una serie de técnicas de revisión rápida, como la búsqueda por bola de nieve, la búsqueda en bases de datos, sitios web de ONG y la búsqueda de citas. El proceso de selección se ilustra en la Figura 18.

Figura 18: Resumen de los estudios incluidos en esta investigación para cada área temática.



Se utilizó el análisis del flujo de materiales (AFM) para mostrar la generación y la gestión de los residuos en cada área temática utilizando los principios del método genérico, adaptados de Brunner y Rechberger^[30]. Los peligros y riesgos identificados en los estudios seleccionados se resumieron y discutieron para destacar los principales desafíos de seguridad. En base a estos resúmenes, se llevó a cabo un ejercicio de caracterización semicuantitativa del riesgo para evaluar las combinaciones seleccionadas de peligro-vía-receptor que se identificaron. El objetivo de este proceso no era cuantificar el riesgo para la salud de las personas,

ya que hacerlo en tantos escenarios excedía los recursos de este estudio. En su lugar, la evaluación de riesgos se utilizó como indicador cualitativo para clasificar y priorizar las vías de riesgo, de modo que pudieran clasificarse y compararse. Para la evaluación se utilizó una matriz básica de evaluación de riesgos (**Tabla 6**) basada en las orientaciones de la Organización Mundial de la Salud sobre la Evaluación Rápida de Riesgos de Eventos Agudos de Salud Pública^[31]. (*Rapid Risk Assessment of Acute Public health Events*)

Aunque esta guía no está directamente dirigida a una revisión global de la seguridad,

los responsables políticos han utilizado marcos similares como base para una indicación defendible del riesgo que puede utilizarse para priorizar la acción.

En muchos casos, había muy poca información con la que caracterizar la combinación completa de peligro-vía-receptor, por lo que los niveles de potencial de daño se dedujeron mediante un razonamiento cualitativo aductivo.

		Consecuencia					
			Muy leve	Leve	Moderada	Grave	Muy Grave
			1	2	3	4	5
	Muy poco probable	1	1	2	3	4	5
Probabilidad	Improbable	2	2	4	6	8	10
	Probable	3	3	6	9	12	15
	Muy poco probable	4	4	8	12	16	20
	Inevitable	5	5	10	15	20	25

Rojo	Alto potencial de daño		
Ambar	Potencial de daño medio/alto		
Amarillo	Potencial de daño medio/bajo		
Verde	Bajo potencial de daño		
Gris	Datos insuficientes		

Tabla 6: Matriz utilizada para determinar el nivel de exposición al riesgo en cada uno de los escenarios de peligro especificados.

Agradecimientos

Investigado por

Investigador principal y director del proyecto:

Dr. Costas Velis (Universidad de Leeds)

Co-investigadores:

Profesor Phil Purnell (Universidad de Leeds) y

Dr. Emilio García-Taengua (Universidad de Leeds)

Investigador principal:

Ed Cook (Universidad de Leeds)

Apoyo al diseño gráfico:

Nick Rigas (D-Waste)

Áreas temáticas en colaboración con:

Asociación Internacional de Residuos Sólidos (ISWA), D-Waste Ltd. e Independent Safety Services Ltd. (ISSL)

Autores

Ed Cook (Universidad de Leeds)

Dr. Costas Velis (Universidad de Leeds)

Colaboradores

Spyridoula Gerassimidou (Universidad de Leeds) Sarah

Edmondson

Dr. Amani Maalouf (D-Waste)

Antonis Mavropoulos (D-Waste)

Maria Plota (D-Waste)

Haris Kamariotakis (D-Waste)

Dra. Anne Woolridge (ISSL)

Aditi Ramola (ISWA)

Boris Brkovic (ISWA)

Petra Stapp (ISSL)

Michiel Derks (Universidad de Leeds)

Dr. Josh Cottom (Universidad de Leeds)

Dr. Godwin Akpeimeh (Universidad de Leeds) Profesor Arne

Ragossnig (ISWA)

Carmela Gonzales (Universidad de Leeds)

Grupo de Asesoramiento Técnico

Profesor William Powrie FREng (Real Academia de Ingeniería -

Presidente del Programa)

Profesora Linda Godfrey (Consejo de Investigación Científica e

Industrial - Sudáfrica)

Stuart Hayward-Higham (Suez UK)

Dr. Keith Alverson (Centro Internacional de Tecnología

Medioambiental de Naciones Unidas)

Profesor Sir Ian Boyd (Universidad de St. Andrews - antiguo

asesor científico jefe de Defra)

Mark Ewen (Mott MacDonald)

Tracy Moffatt (Skanska)

Profesor Edward Kosior (Nextek)

Crispian Lao (Comisión Nacional de Gestión de Residuos

Sólidos, Filipinas)

Junta del Programa y personal de la Academia

Profesor William Powrie FREng (Real Academia de Ingeniería

- Presidente del Programa)

Dr. Andrew Clark (Real Academia de Ingeniería)

Dra. Ruth Boumphrey (Lloyd's Register Foundation)

Steve Gilbert (Lloyd's Register)

Profesora Susan Gourvenec (Universidad de Southampton)

Hazel Ingham (Real Academia de Ingeniería)

Shaarad Sharma (Real Academia de Ingeniería)

Pippa Cox (Real Academia de Ingeniería)

Gemma Hummerston (Real Academia de Ingeniería)

Agradecimientos

Quisiéramos agradecer a las siguientes partes interesadas el tiempo que dedicaron a responder a las preguntas, proporcionar asesoramiento técnico, orientaciones y críticas:

Alodia Ishengoma (consultora independiente)

Arijan Toska (Centro de Recursos Empresariales de Macedonia)

Dra. Jutta Gutberlet (Universidad de Victoria)

Markus Spitzbart (GIZ Ghana)

Carl Houston (Biffa Polymers)

Profesora Barbara Evans (Universidad de Leeds)

Dr. Steven De Boer (SABIC)

Jose María Sánchez Serrano (SABIC)

Dra. Anne Scheinberg (ISWA)

Dr. Nicolas Humez

Dr. Kees Balde

Elisabeth Smith (Demontage- und Recycling-Zentrum) Profesor

David Wilson (Imperial College)

Joanne Green (Tearfund)

Lakshmi Narayan (Cooperativa SWaCH)

Nadine Dulac (Agencia de Desarrollo de Bélgica)

Dra. Sonia Dias (WEIGO)

Dra. Laura-lee Innes (Universidad de Monash)

Dr. Gev Eduljee (UKRI)

Doun Moon (GAIA)

Harriet Purdie (Asociación Dental Británica)

Beatrice Giordani (Grupo Newster)

Gianluca Magrini (Grupo Newster)

Tim Morris (Recursos Naturales de Gales)

También queremos agradecer a **Daniel Ternald** y **Shunichi Honda**, del Centro Internacional de Tecnología Medioambiental de Naciones Unidas, su apoyo en la revisión del informe.

Fondos

Este informe ha sido posible gracias a la financiación de la Lloyd's Register Foundation.

Traducción al español por

ARS Miembro Nacional de ISWA en Argentina. M. Soledad Garavelli

Engineering

Engineering X es una nueva asociación internacional fundada por la Real Academia de Ingeniería y la Fundación Lloyd's Register que reúne a algunos de los principales expertos en solución de problemas del mundo para abordar los grandes desafíos de nuestra época.

Nuestra red mundial de ingenieros expertos, académicos y líderes empresariales trabaja en colaboración para compartir las mejores prácticas, explorar nuevas tecnologías, educar y formar a la próxima generación de ingenieros, crear capacidad, mejorar la seguridad y lograr un impacto.



La Real Academia de Ingeniería es una organización benéfica que aprovecha el poder de la ingeniería para construir una sociedad sostenible y una economía inclusiva que funcione para todos.

En colaboración con nuestros becarios y socios, hacemos crecer el talento y desarrollamos las capacidades para el futuro, impulsamos la innovación y creamos asociaciones mundiales, e influimos en la política y en la participación del público. Juntos estamos trabajando para hacer frente a los mayores desafíos de nuestra época.



La Fundación Lloyd's Register es una organización benéfica mundial independiente que apoya la investigación, la innovación y la educación para hacer del mundo un lugar más seguro. Nuestra visión es ser conocidos en todo el mundo como líderes en el apoyo a la investigación, la formación y la educación relacionadas con la ingeniería que marcan una diferencia real en la mejora de la seguridad de las infraestructuras críticas de las que depende la sociedad moderna. Para ello, promovemos la excelencia científica y actuamos como catalizadores trabajando con otros para lograr el máximo impacto.

Misión benéfica de la Fundación Lloyd's Register

- Garantizar, en beneficio de la comunidad, normas técnicas elevadas de diseño, fabricación, construcción, mantenimiento, funcionamiento y rendimiento con el fin de mejorar la seguridad de la vida y los bienes en el mar, en tierra y en el aire.
- El avance de la educación pública, incluso dentro de las industrias del transporte y cualquier otra disciplina de ingeniería y tecnología.



UNIVERSITY OF LEEDS

La Universidad de Leeds, en el Reino Unido, es conocida por su enfoque interdisciplinario de la resolución de problemas para los desafíos globales, con plataformas de colaboración en toda la universidad. Al estar entre las 100 mejores universidades del mundo, el pensamiento y los conocimientos globales se traducen en esfuerzos tangibles para abordar los desafíos más importantes para nuestra sociedad y nuestro futuro colectivo. Nuestra investigación está alineada con la meta de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas. El equipo de investigación de Costas Velis en la Escuela de Ingeniería Civil (segunda en el Reino Unido por su poder de investigación), de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Físicas, innova en la recuperación de recursos de los residuos sólidos y permite una economía circular global, al tiempo que previene los riesgos para la salud pública, como la contaminación por plásticos y la mala gestión de los residuos en general. La Universidad de Leeds dirigió y coordinó este esfuerzo de equipo internacional, revisando sistemáticamente y evaluando críticamente la base de pruebas científicas, para abrir nuevas vías de investigación y soluciones.



Una mujer camina por un basural en llamas en Dandora, Kenia; © Benedicte Desrus (2013).

ISBN 978-1-909327-50-4

Engineering X Royal Academy of Engineering Prince Philip House 3 Carlton House Terrace London SWIY 5DG

Tel: 020 7766 0600 www.raeng.org.uk @RAEngGlobal

Registered charity number 293074

Lloyd's Register Foundation 71 Fenchurch Street London EC3M 4BS United Kingdom

Tel: +44 20 7709 9166 www.lrfoundation.org.uk/en/ @LR_Foundation

Lloyd's Register Foundation is a Registered Charity (Reg. no. 1145988) and limited company (Reg. no. 7905861) registered in England and Wales, and owner of Lloyd's Register Group Limited.





