

7. Evaluación del manejo de residuos, impacto en trabajadores de limpia y valorización para coprocesamiento



CLAUDIA RODRÍGUEZ TAPIA*
LUIS RAÚL TOVAR GÁLVEZ**
MARIANA ABIGAIL MUÑOZ DÍAZ***

<https://doi.org/10.52501/cc.364.07>

Resumen

En la CDMX se generan 13 149 ton/día de residuos sólidos urbanos (RSU), hay 12 970 trabajadores que acompañan a choferes en vehículos recolectores de RSU. Asimismo, existen 7 603 barrenderos que recolectan 1 860 ton/día de RSU. Ambos, sin equipo de protección personal (EPP), se exponen a enfermedades gastrointestinales, respiratorias, infecciones virales como el SARS-CoV-2. La vacunación de estos trabajadores y su acceso al agua para lavado de manos son prioridad. La separación en la fuente, basada en la norma NADF-024-AMBT-2013, es clave para mejorar la eficiencia del manejo de residuos. Se realizó un estudio en la CDMX. Los objetivos fueron seguir vehículos recolectores de RSU, previa entrega de EPP a las cuadrillas, recomendar a la población que separe por fuente (NADF-024-AMBT 2013), así como caracterizar, recuperar y determinar el poder calorífico de los RSU. La caracterización de los RSU mostró que la composición no presenta cambios significativos desde 2009, lo que indica que las políticas de reducción o reciclaje no han tenido el impacto esperado. Además, el estudio encontró que los RSU tienen un poder calorífico adecuado para ser procesados en

* Maestra en Ciencias. Profesora-Investigadora en el Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9061-6017> ; correo electrónico: crodriguezta@ipn.mx

** Doctor en Nutrición. Profesor-investigador en en el Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0821-966X>

*** Maestra en Ciencias en Estudios Ambientales y de la Sustentabilidad. Doctorante en el Instituto Politécnico Nacional, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6885-676X>

hornos cementeros, lo que podría reducir el volumen y contribuye a un manejo sustentable.

Palabras clave: *barrenderos; coprocesamiento; covid-19; cuadrillas de vehículos recolectores; separación en fuente.*

Introducción

En la Ciudad de México (CDMX) se generan 13 149 ton/día de RSU (PGIRS, 2021). El gobierno de la ciudad gasta en la gestión de los residuos sólidos urbanos (RSU) que genera la población, desde la recolección en las alcaldías, en el barrido manual mecánico de las vialidades de la ciudad, hasta la disposición final de los RSU en cinco rellenos sanitarios ubicados: cuatro en el estado de México y otro en Cuautla, Mor., aproximadamente \$2 529 864 200.00 anuales. En contraste, no se realiza una inversión adecuada en equipo de protección personal (EPP) para prevenir el contagio de enfermedades gastrointestinales, respiratorias e infecciones virales como el SARS-CoV-2, lo que deja vulnerables tanto a las cuadrillas que apoyan al operador del vehículo recolector como a los barrenderos, a pesar de que ambos grupos de trabajadores forman el eje del Servicio Público de Limpia de la CDMX. Una de las consecuencias de este descuido es que esto no solo se pone en riesgo la salud de estos trabajadores esenciales, sino que también pueden generarse brotes más amplios en la comunidad, afectando la capacidad del sistema de salud para responder. En este contexto, resulta fundamental analizar el poder calorífico de los residuos, así como definir los tratamientos y medidas preventivas que deben aplicarse (por la ciudadanía, por el personal del Servicio Público de Limpia o de manera conjunta) antes de que dichos residuos ingresen a las estaciones de transferencia (ET).

Uno de los objetivos de este estudio fue explorar estrategias para reducir el contagio de covid-19 entre las cuadrillas que apoyan al operador del vehículo recolector y de la población con la que entran en contacto diariamente durante la recolección de RSU y de residuos covid-19. Estos residuos incluyen los generados por enfermos de covid-19 que se quedan o quedaron

en cuarentena en sus domicilios y los objetos y residuos provenientes de los difuntos por la covid-19 que se entregan al Servicio Público de Limpia y que usualmente vienen mezclados con RSU.

Este estudio analiza la vulnerabilidad de las cuadrillas que acompañan al operador de los vehículos recolectores de residuos sólidos urbanos (RSU) en la Ciudad de México (CDMX), quienes, en su mayoría, no están contratados por las alcaldías y dependen de la recuperación de materiales valorizables. Las cuadrillas están formadas generalmente por cuatro a cinco personas, principalmente voluntarios, y su labor implica la recolección de 1 691 toneladas diarias de residuos. Sin embargo, estos trabajadores carecen de medidas básicas de protección, como distanciamiento social, acceso a agua y jabón, uso de cubrebocas, guantes o lentes de protección.

Además, en la pandemia de covid-19, los trabajadores de estas cuadrillas estuvieron expuestos a un alto riesgo de contagio al manejar residuos mezclados con desechos de personas contagiadas, quienes no siempre seguían las medidas de aislamiento en sus hogares. La falta de protección y la manipulación de residuos potencialmente contaminados incrementa el riesgo de transmisión del virus a los trabajadores, sus familias y la comunidad en general.

El estudio resalta la necesidad de mejorar las condiciones de trabajo de estas cuadrillas, proponiendo un enfoque que, si tiene éxito en la alcaldía Gustavo A. Madero, podría extenderse a otras alcaldías y replicarse en otras entidades del país. A pesar de las acciones de la SEMARNAT para mitigar el riesgo de contagio, se evidenció que las medidas no fueron suficientes, lo que subraya la importancia de implementar estrategias más efectivas y específicas para proteger a estos trabajadores.

Por otro lado, durante el estudio se abordó a la ciudadanía con el mensaje de que debe separar sus RSU, inclusive los residuos covid-19, para no contagiar a las cuadrillas que recogen sus residuos y que si ellos son contagiados con el SARS-CoV-2 contagian a sus familias, a sus compañeros e incluso el contagio regresa a la población. Esta separación en fuente de cuatro fracciones, incluyendo los residuos covid-19, más los residuos de manejo especial por parte de la población, en apego a la Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013, los efectos que se observarían serían producción de más composta para la CDMX proveniente de la fracción orgánica de los re-

residuos sólidos urbanos (FORSU), mayor reciclaje de residuos y un ahorro considerable al reducir la disposición final de los residuos en rellenos sanitarios, con las implicaciones de que habría menos emisiones de gases efecto invernadero, menos contaminación de los mantos freáticos por la disminución de lixiviados generados y, ciertamente, menos contagios producidos por los residuos covid-19.

Aproximación de la cantidad de residuos covid-19 generados en la Ciudad de México

Durante la pandemia, el gobierno de la CDMX implementó una página web para informar diariamente sobre contagios y defunciones. Sin embargo, este registro comenzó hasta el 1° de octubre de 2020, a pesar de que el primer caso de covid-19 en la ciudad se detectó en febrero de ese mismo año. Se estima que cada persona contagiada generaba 3 kg de residuos covid-19 durante 15 días de cuarentena, mientras que cada defunción producía 6 kg. Entre el 2 de octubre de 2020 y el 8 de febrero de 2021, se generaron aproximadamente 1 709.13 toneladas de residuos covid-19, equivalentes a 12.75 toneladas diarias.

Estos residuos, al no estar separados en la fuente, se mezclaban con los residuos sólidos urbanos (RSU), exponiendo a las cuadrillas de recolección, barrenderos y recicladores a un alto riesgo de contagio, junto con sus familias y la ciudadanía en general. La falta de equipo de protección personal (EPP) y de información agrava la vulnerabilidad de estos trabajadores, especialmente los barrenderos voluntarios, quienes dependen de propinas.

La inadecuada gestión de residuos, junto con la falta de medidas como la separación en la fuente, el uso de cubrebocas, el distanciamiento social y el lavado frecuente de manos, contribuyó al aumento de contagios y defunciones. Entre marzo y octubre de 2020, se registraron 128 529 casos y 12 224 defunciones; mientras que de octubre de 2020 a febrero de 2021 los casos aumentaron a 374 761 y las defunciones a 18 540, reflejando una crisis sanitaria agravada por el manejo deficiente de residuos covid-19.

La gestión integral de residuos en la Ciudad de México

La CDMX tiene una extensión territorial de 1 485 km², está dividida en 16 alcaldías: Azcapotzalco, Venustiano Carranza, Coyoacán, Cuajimalpa de Morelos, Cuauhtémoc, Miguel Hidalgo, Iztacalco, Iztapalapa, Benito Juárez, Gustavo A. Madero, Magdalena Contreras, Milpa Alta, Álvaro Obregón, Tláhuac, Tlalpan y Xochimilco.

La infraestructura con la que cuentan las alcaldías de la CDMX para el manejo de los RSU es de 2 594 vehículos recolectores (SEDEMA, 2019) con 4 a 5 personas, entre choferes y cuadrillas de apoyo, y 7 603 barrenderos. Un alto porcentaje de estos trabajadores son voluntarios, i.e., viven de las propinas de la población y de los materiales que recuperan de los RSU que reciben.

La Secretaría de Obras y Servicios (SOBSE) del gobierno de la CDMX es la que opera 12 ET, 3 PS, 8 plantas de composta, aunque la más grande es la planta de composta de Bordo Poniente (PCBP) con un área de 37 ha y una capacidad de procesar 913 230 ton/año de la FORSU que se generan en la ciudad.

El manejo de los RSU en la CDMX comprende diferentes etapas, como son la generación, recolección, transporte, separación y disposición final.

En la CDMX, las alcaldías deben poner en práctica el programa de separación de los residuos, el cual consiste en acopiar los RSU diariamente o de forma terciada, según sea el caso, adoptando medidas de separación en fuente (por ejemplo, el sistema terciado: inorgánicos, lunes, miércoles, viernes y domingos; orgánicos, martes, jueves y sábados).

La recolección de los RSU consiste en efectuar su recepción en los vehículos recolectores. Para ello existen dos formas de entrega de los usuarios a las cuadrillas de los vehículos recolectores: en la primera, los residuos se entregan mezclados y se depositan en los vehículos recolectores sin ningún tipo de separación. Esta forma ha sido la habitual hasta hace algunos años, y en apego a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2019) a partir de 2010 se inició la separación en fuente por parte de la ciudadanía, que es la segunda forma. En esta forma se separan los residuos en fracción orgánica (FO) e inorgánica (FI), depositándolos en los contenedores correspondientes. En la CDMX la flota vehicular con la que se cuenta en muchos casos no es suficiente para la recepción del total de RSU generados, teniendo,

entre otras consecuencias, la mezcla de los RSU o la proliferación en la ciudad de tiraderos a cielo abierto. La segunda forma de recolección de los RSU es a través de los barrenderos mediante carritos, que son tambos de acero al carbón de 200 L colocados encima de una estructura de acero con ruedas. Todos los días los barrenderos hacen barrido de vialidades en las alcaldías, pero de igual forma dan atención a la ciudadanía, que reciben sus residuos y que son posteriormente entregados a los vehículos recolectores que, una vez llenos, se llevan a la ET más cercana a la alcaldía a la que pertenecen, en donde entregan los RSU recolectados.

Aunado a lo anterior, es importante enfatizar que existen tiraderos a cielo abierto de residuos a lo largo y ancho de la ciudad, los cuales en algunos casos los RSU ahí depositados son recogidos por las cuadrillas de los vehículos recolectores antes de iniciar su primer viaje de recolección de residuos domiciliarios.

El objetivo de las estaciones de transferencia (ET) es mejorar la eficiencia del servicio de recolección de residuos sólidos urbanos (RSU), reduciendo el tiempo de traslado de los vehículos recolectores. Sin las ET, los RSU deberían ser entregados directamente en los rellenos sanitarios, la planta de compostaje de basura (PCBP) o las plantas de separación (PS). Las ET, debido a su diseño, permiten disminuir los tiempos de descarga de los residuos y el consumo de combustible de los vehículos. Estas estaciones cuentan con tolvas elevadas y un sistema de descarga en reversa, lo cual facilita la transferencia de RSU desde los vehículos recolectores. Además, tienen una caja de 70 m³ que recibe los residuos de hasta cinco vehículos y los traslada mediante un tractocamión hacia la PCBP, las PS o los rellenos sanitarios. Las ET operan generalmente de 6:00 a.m. a 10:00 p.m., con algunas, como las de Central de Abasto, Coyoacán y Cuauhtémoc, funcionando las 24 horas del día.

En la Ciudad de México existen tres plantas de separación (PS) y aprovechamiento de residuos sólidos para la selección de subproductos reciclables. La primera se construyó en 1985, en San Juan de Aragón, seguida por otra en el cerro de Santa Catarina en 1996. La más reciente, la PS y compactación de residuos sólidos Fase II, se edificó en 2012 en el complejo de San Juan de Aragón.

En la Estación de Transferencia (ET) GAM en San Juan de Aragón, además de la planta de selección, también se encuentra una planta productora

de combustibles derivados de residuos (CDR), que se envían a las plantas de CEMEX en Hidalgo. También hay una planta de CDR en la ET de Central de Abasto, ubicada en Iztapalapa y que produce aproximadamente 350 toneladas diarias de CDR, utilizadas como combustible alternativo en los hornos de CEMEX. Este proceso de sustitución de combustibles está regulado por la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, que define el coprocesamiento como la integración ambientalmente segura de residuos en otro proceso productivo. Cabe mencionar que la ET Miguel Hidalgo fue cerrada en 2013 y ya no está en operación.

Aunque la población ha permanecido cercana a 9 millones desde 2016, la cantidad de residuos orgánicos de la fracción de residuos sólidos urbanos (FORSU) que llega a la Planta de Compostaje de Bordo Poniente (PCBP) ha disminuido considerablemente. Desde 2010, el programa de separación en la fuente, que facilitaba el manejo de estos residuos, ha experimentado una reducción, y no hay datos actuales sobre cuánto de la FORSU procesa la PCBP (SEDEMA, 2020), aunque se estima en unas 900 toneladas diarias. Las 448 toneladas diarias de FORSU que ya no se procesan en la FORSU se disponen en los rellenos sanitarios, lo que aumenta la cantidad de RSU que llega a los sitios de disposición final, alcanzando aproximadamente 9 225 toneladas diarias. Este proceso implica un costo anual de alrededor de \$1 498 781 000, sin contar las externalidades negativas como el impacto climático debido a la emisión de metano (CH_4) generado por la FORSU enterrada en los rellenos, el tratamiento de lixiviados en los rellenos sanitarios, que posiblemente no se lleva a cabo, y los posibles impactos en los mantos freáticos debido a la disposición de aproximadamente 4 000 toneladas diarias de FORSU en estos sitios.

Otra erogación que hay que considerar en el manejo de los RSU en la CDMX es lo que gastan las alcaldías en la recolección y gestión de los RSU que la ciudadanía genera, por ejemplo, el combustible para mover 2 594 vehículos recolectores 365 días al año, el mantenimiento de estas unidades, así como los gastos para las barredoras mecánicas, los salarios de los operadores de los vehículos recolectores y de los pocos miembros de las cuadrillas contratados por las alcaldías. Adicionalmente, las alcaldías son responsables del barrido de las áreas comunes y vialidades secundarias, el personal con base y en nómina son aproximadamente 1 000 y los voluntarios son 7 000 personas que recorren 15 156 km/día y recolectaron en 2019 cerca de 1 860 ton/día de

residuos sólidos (SEDEMA, 2020). Una aproximación de la cantidad que gasta la ciudad por los conceptos anteriores es de \$1 031 083 000.00 al año.

Una cuestión relevante es que las cuadrillas de los vehículos recolectores recuperaban 1 621 ton/día de RSU (625 kg/día por cada vehículo recolector), a la PCBP se iban 1 348 ton/día de la FORSU limpia que se convertían en 300 ton/día de composta, pero esta composta a la fecha no se comercializa. En las PS el gremio de la pepena recuperó 182 ton/día y de CDR se recuperaron 536 ton/día más 350 ton/día de CDR de la ET Central de Abasto dando un total de 4 037 ton/día. Los RSU que se generaban diariamente eran 12 364 ton/día, de las cuales 1 423 ton/día provenían del Estado de México, por lo que el porcentaje de RSU recuperado en la CDMX fue de 36.9. Sin embargo, quienes más materiales valorizables recuperan fueron las cuadrillas de los vehículos recolectores. Por otro lado, los barrenderos recogieron 1 000 ton/día de RSU en 2016 (SEDEMA, 2017).

Los primeros que entran en contacto con los residuos covid-19 son las cuadrillas que acompañan a los operadores de vehículos recolectores y los barrenderos, los del gremio de la pepena en las PS toman contacto con los RSU y los residuos covid-19 varias horas después y posiblemente los materiales recuperados por las cuadrillas sean una fuente de contagio para el personal de los centros de acopio, que es donde comercializan las cuadrillas los materiales recuperados, esto pues es una aproximación a la dispersión del SARS-CoV-2 acompañando a los RSU que se generan en la CDMX.

La demanda promedio de energía para producir una tonelada de cemento es de 3.3 GJ que corresponden a 120 kg de carbón (Chatziaras et al., 2016), por lo que hipotéticamente los residuos covid-19 no tienen que ser incinerados ni dispuestos en un relleno sanitario, sino más bien valorizados desde el punto de vista energético. El precio de incinerar en 2020 una tonelada de residuos covid-19 en la CDMX, sin recolección ni transporte, era de \$13 000.00 (SENER, SEMARNAT y GIZ, 2018).

Las hipótesis que postulamos fueron: a) el estudio costo-beneficio soporta la adquisición de EPP para las cuadrillas y los barrenderos; b) la fracción inorgánica de los residuos covid-19 puede utilizarse como CDR en hornos cementeros; c) los residuos covid-19 separados en la fuente llegan a las doce ET de la CDMX; d) la composición de los RSU en la GAM es diferente a la que había en 2009.

Materiales y métodos

La investigación se realizó en tres etapas en el periodo comprendido entre septiembre de 2020 y febrero de 2021.

Seguimiento a vehículos recolectores y entrega de equipo de protección personal a cuadrillas y barrenderos en la alcaldía GAM

Se adquirió EPP y se distribuyó semanalmente entre 20 miembros de las cuadrillas de los vehículos recolectores durante un mes en la GAM. Debido a la contingencia sanitaria, la alcaldía GAM estuvo cerrada en diciembre 2020 y enero de 2021, por lo que se decidió acudir a un campamento para vehículos recolectores ubicado en Ticomán e Insurgentes Norte, donde se contactó a tres operadores de vehículos recolectores que recorren la GAM recibiendo RSU de los ciudadanos y los entregan en la ET GAM. Debido a los objetivos del estudio, se acordó seguirlos en sus rutas, fueron tres equipos los que seguían a estos vehículos recolectores de RSU recorriendo múltiples colonias en la GAM, los equipos estuvieron formados por dos personas que entregaron durante tres semanas a cada miembro de la cuadrilla lo siguiente: cubrebocas, careta de PET, lentes de seguridad de material antiempañante, un juego de guantes de carnaza, un asperjador con sanitizante y desinfectante de amplio espectro, un gel antibacterial con 70 % de alcohol y 25 bolsas de polietileno y bagazo de agave parcialmente compostable que eran distribuidas por estas cuadrillas entre la población para el depósito de residuos covid-19 de enfermos que no fueron al hospital y que permanecieron en sus domicilios tanto en su tratamiento como en su convalecencia. La empresa Anguiplast Plásticos Ecológicos (Arandas, Jal.) donó para este estudio 50 000 bolsas.

La distribución de EPP se hizo cada semana, en el campo descubrimos que en la GAM hay personal de barrido, precisamente 1 110 individuos; varios de ellos son voluntarios y tampoco cuentan con EPP, así que decidimos entregarles a 20 barrenderos el EPP que se entregó a las cuadrillas. Cada barrendero atiende a 970 personas al día (SEDEMA, 2019).

Las rutas recorridas fueron: Norte 23-A, Lindavista Vallejo III Secc, Gustavo A. Madero, 07720; Residencial Zacatenco; Colonia Lindavista Vallejo, abarca la Manzana 1 de una unidad habitacional sobre la Calle Poniente 152 esquina con Nte. 35. La ruta cubre Poniente 152, Av. Miguel Othón de Mendizábal y Eje Central Lázaro Cárdenas.

Se realizó un estudio costo-beneficio para la evaluación del suministro de EPP a los trabajadores de la GAM y de la CDMX.

Durante el seguimiento a los vehículos recolectores, entramos en contacto con la población y se trabajó en la concientización con la ciudadanía, sobre la separación en fuente de sus RSU y sobre la separación de los residuos covid-19.

Evaluación del poder calorífico superior e inferior de residuos covid-19

Se realizó un muestreo adaptado de la NMX-AA-61-1985 para recolectar residuos generados por tres pacientes femeninas (de 27, 29 y 57 años) durante su enfermedad por covid-19, cuyas pruebas fueron positivas el 8 de diciembre de 2020. Se solicitó a las pacientes que recolectaran en bolsas identificables los residuos inorgánicos y descartaran los residuos sanitarios y orgánicos tras desinfectarlos con un sanitizante. Las bolsas y su contenido fueron desinfectados con Bioxan, un sanitizante a base de compuestos cuaternarios de amonio.

Para inactivar el virus, las bolsas fueron selladas y expuestas al sol durante diez días. Después de este periodo, las muestras fueron llevadas al laboratorio, donde las bolsas fueron nuevamente desinfectadas antes de realizar las determinaciones fisicoquímicas. Durante el proceso de composición y minimización de los residuos, el contenido de las bolsas también fue sanitizado. Los residuos encontrados incluyeron cubrebocas, envolturas de medicamentos, vasos de unicel, envases de golosinas, vasos de polipropileno y servilletas de papel.

Las bolsas de muestras obtenidas durante el tiempo de muestreo se pesaron por separado en una balanza analítica y se registraron la fecha de recolección y el peso de cada una. Una vez pesadas, se procedió a realizar la caracterización del contenido con base en la NADF-024-AMBT-2013.

Se preparó una muestra compuesta a partir de los residuos generados por tres pacientes, recortando los subproductos a un tamaño aproximado de 1 cm². Los subproductos fueron recolectados en bolsas de plástico y pesados nuevamente en una balanza analítica. Posteriormente, se siguieron las normativas NMX-AA-015-1985, NMX-AA-016-1984 y NMX-AA-33-1985 para homogenizar las muestras, determinar el contenido de humedad (%H) y el poder calorífico superior de los residuos covid-19.

Se tomaron muestras duplicadas de 5 g de los subproductos, que fueron pesadas, homogenizadas y deshidratadas en estufa a 70±5° C durante 24 horas. Para determinar el porcentaje de sólidos volátiles (%sv), se calcinó en mufla a 550° C durante 2 horas, seguido de enfriamiento y pesaje.

La muestra compuesta se obtuvo mediante el cuarteo, un proceso descrito en la NMX-AA-15-1985. Después de homogenizar el material, se dividió en cuatro partes, eliminando dos de los cuadrantes opuestos y repitiendo el cuarteo. La muestra final de aproximadamente 100 g se pesó, almacenó y se utilizó para realizar las determinaciones de poder calorífico superior e inferior (PCS y PCI). La mezcla descartada también fue pesada y almacenada.

Se determinó el %H y %sv por triplicado a la muestra compuesta. El procedimiento para la obtención del poder calorífico de los RSU requiere de 0.5 a 1 g de muestra homogénea y seca. Para la determinación del poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI), se utilizó un calorímetro de bomba de oxígeno Parr modelo 1341. El proceso comenzó con el pesado de la muestra, que se introdujo en la cápsula de platino del calorímetro. La muestra fue luego sometida a una combustión en presencia de oxígeno a 20 atm dentro de la bomba calorimétrica, utilizando una bujía para generar la chispa que iniciaría la combustión. La temperatura se midió con un termómetro con resolución de 0.01° C.

El calorímetro fue calibrado con una tableta de ácido benzoico de peso y humedad conocidos. Para asegurar una medición precisa, se utilizó un alambre de platino de 10 cm con conductividad térmica adecuada, colocado en contacto con los electrodos del calorímetro y la cápsula de platino. El sistema fue cerrado y llenado con oxígeno, y la muestra se colocó en una chaqueta con agua para regular la temperatura. Se monitoreó la temperatura durante todo el proceso hasta alcanzar la temperatura máxima.

El sistema fue desmontado tras la combustión, liberando el oxígeno y midiendo la longitud del alambre de platino no consumido. Este procedimiento se repitió por duplicado para cada subproducto y por triplicado para la muestra compuesta.

Con un protocolo similar analizamos dos muestras que una planta procesadora de RSU de Huejotzingo, Puebla, que comercializa como CDR en hornos cementeros, muestras que precisamente sustituyen al coque de petróleo (PCS=38.987 MJ/kg; S=5.91%) o al combustóleo (42.45 MJ/kg; S=1.7%; V=290 ppm).

¿Y los residuos covid-19 que la ciudadanía genera en la CDMX en dónde están? y ¿cuál es la composición de los RSU que tira la población de la GAM?

En septiembre de 2020 solicitamos a la Dirección Ejecutiva de Transferencia y Disposición Final de Residuos Sólidos Urbanos de la SOBSE información sobre la cantidad de residuos covid-19 que llegan a las 12 ET de la CDMX y autorización para realizar un estudio de composición de RSU de ocho vehículos recolectores provenientes de la GAM que entregan en la ET GAM. Se visitaron las 12 ET y se observó que cada una contaba con un área de recepción de residuos covid-19.

Las preguntas que queríamos responder fueron:

¿Llegan residuos covid-19 a la ET GAM siendo esta la segunda alcaldía en la ciudad con mayor número de contagios y defunciones?

¿Qué tanto ha variado la composición de RSU que la población de la GAM genera en medio de la pandemia?

Recepción de residuos covid-19 en las estaciones de transferencia de la CDMX

En cada una de las 12 ET de la ciudad, la SOBSE colocó contenedores para la recepción de residuos covid-19. Estos contenedores son recolectados por una empresa especializada en el tratamiento de residuos biológicos infec-

ciosos, cuyo personal recoge los residuos mediante un recolector que toma los contenedores y los descarga en el vehículo recolector sin que el personal manipule el contenedor o entre en contacto con los residuos covid-19.

Composición de los RSU generados en la alcaldía Gustavo A. Madero

Derivado de la pandemia por covid-19, fue necesario conocer si la composición de los RSU ha sufrido algún cambio con respecto a 2009, que es cuando se hizo el último estudio sobre la composición y generación de residuos en la CDMX (Orta Ledesma et al., 2014). Para esto se llevó a cabo un ejercicio de caracterización de los RSU que depositaron vehículos recolectores de la GAM. La caracterización de los RSU consistió en determinar la composición de los RSU de ocho vehículos recolectores que entregan en la ET GAM y de ellos tomar una muestra y caracterizar cada una de ellas, esto se realizó en las dos últimas semanas de noviembre de 2020. El trabajo de campo se realizó siguiendo las siguientes Normas Mexicanas:

1. NMX-AA-15-1985 Para la determinación del método de cuarteo.
2. NMX-AA-19-1985 Para la determinación del peso volumétrico *in situ* de los residuos sólidos.
3. NMX-AA-22-1985 Para la determinación de la composición física de los residuos sólidos.

Nos apeamos al procedimiento establecido por esta última norma mexicana, denominado “selección y cuantificación de subproductos”, con algunas modificaciones a los subproductos establecidos en dicha norma y conforme a los nuevos residuos sólidos que ha traído la pandemia desde marzo de 2020.

La toma de muestra se realizó en el patio de la ET GAM donde fueron depositados los RSU de cada vehículo recolector, se tomó la muestra de diferentes partes de estos RSU, para la toma de la muestra se utilizó un bote de plástico de capacidad de 200 L. El bote de plástico se encontraba nuevo, limpio y libre de abolladuras.

El bote de plástico fue llenado con los RSU hasta el tope, para posteriormente elevarlo a una altura de 10 cm aproximadamente y dejarlo caer, repitiendo este procedimiento tres veces y nuevamente llenando el bote hasta el tope. Esta muestra fue transportada del patio al área asignada para realizar el cuarteo.

El procedimiento comenzó con el pesaje de la muestra de residuos sólidos urbanos (RSU) utilizando una báscula de piso, y luego se depositó en el área designada para la homogenización. Los residuos fueron traspaleados con pala y biello hasta lograr una distribución uniforme. Posteriormente, la muestra se dividió en cuatro partes iguales, eliminando las partes opuestas, y de los residuos restantes se seleccionaron los subproductos conforme a la NOM-AA-22, incluyendo equipos de protección personal (EPP) utilizados durante la pandemia de covid-19, cuya generación fue determinada por primera vez.

Los subproductos seleccionados fueron separados en bolsas de polietileno, pesados y registrados en un formulario correspondiente. Tras completar la clasificación, los residuos se trasladaron al patio de descarga para su procesamiento según los procedimientos establecidos en la estación de transferencia (ET) GAM. Finalmente, se determinó el peso volumétrico de los RSU y el porcentaje de cada subproducto proveniente de las ocho muestras, promediando los valores obtenidos.

Resultados

Seguimiento a vehículos recolectores y entrega de equipo de protección personal a cuadrillas y barrenderos en la alcaldía GAM

En la GAM recolectan RSU cerca de 1 890 personas que constituyen las cuadrillas de los vehículos recolectores que recorren la alcaldía. En el barrido de la alcaldía trabajan 1 100 barrenderos (SEDEMA, 2019). El estudio costo-beneficio arrojó que por cada peso que se gaste en prevención se ahorrarán \$71.67. El EPP que entregamos tanto a las cuadrillas como a los barrenderos para usarse durante los 365 días del año tiene un costo total por persona de \$32 076.00, que correspondería a \$95 907 240.00 para la

GAM. Para el personal de la CDMX serían \$986 978 520.00, que es el 39 % de lo que la CDMX gasta anualmente en la gestión de los RSU. Habría que considerar costos adicionales para que la entrega de estos equipos a los usuarios efectivamente se cumpliera.

Poder calorífico superior e inferior de residuos covid-19

De la muestra total, las fracciones y subproductos, así como su peso inicial y el peso obtenido después de llevar a cabo la minimización de los residuos covid-19, se encontró que la composición de estos residuos covid-19 contiene más subproductos plásticos que los RSU que se generan en la CDMX y son fácilmente incorporados en los RSU sin que se noten.

El PCS y PCI de la muestra compuesta de los residuos covid-19 fueron 36.10 ± 1.65 MJ/kg y 33.63 ± 1.7 MJ/kg, respectivamente ambos valores en base húmeda. Los resultados de dos materiales de RSU que la planta procesadora de RSU ubicada en Huejotzingo, Puebla, comercializa como CDR a diferentes empresas cementeras tuvieron un PCS y un PCI en base húmeda, para el PCS de 21.31 ± 0.99 MJ/kg y 24.67 ± 3.63 MJ/kg y para el PCI de 19.67 ± 0.92 MJ/kg y 18.41 ± 0.25 MJ/kg, respectivamente.

Recepción de residuos covid-19 en las estaciones de transferencia de la CDMX

Estos contenedores son recolectados en cada una de las 12 ET por la empresa especializada en el tratamiento de residuos biológicos infecciosos mencionada arriba.

La recepción de los residuos covid-19 en las ET iniciaron desde el 23 de abril, pero fue hasta la semana del 22 al 26 de junio de 2020 que el registro fue semanal.

Del 23 de abril al 17 de septiembre de 2020 (148 días), se recolectaron de las 12 ET 3 192 kilogramos, es decir 21.57 kg/día promedio.

Estos resultados indican que la población citadina arroja al cesto de sus RSU, los residuos covid-19 y que estos se hallan disueltos en los RSU que

llegan a las ET y a las PS aproximadamente 12.75 ton/día de residuos covid-19 se incorporan aleatoriamente a 13 149 ton/día de RSU que se generan en la CDMX.

Composición de los RSU generados en la alcaldía Gustavo A. Madero

Los RSU que se generaron en la GAM en diciembre de 2020 se comparan con los descritos en el estudio de Orta et al. (2014). Se observa que en 2020 hubo menos residuos de materiales de construcción y de poda y mayor cantidad de papel bond y de vidrio transparente, lo que es comprensible por la pandemia.

El peso volumétrico de los RSU que llegaron en los ocho vehículos a la ET GAM fue de 283.21 ± 57.40 kg/m³ lo que esto indica es que los RSU en la GAM no se separan en fuente.

Discusión

La investigación enfocó sus tareas en analizar el manejo de los residuos sólidos urbanos en una región de alta incidencia covid-19 en la CDMX y en un periodo corto pero crítico de la pandemia, especialmente porque se trata de un servicio indispensable que debe operar continuamente aun en condiciones de emergencia sanitaria. En este contexto, resulta incomprensible que las autoridades no hayan tomado conciencia de la fragilidad de sus trabajadores y de los riesgos de contagio para la población. Durante la pandemia, no se garantizó la entrega sistemática de equipos de protección personal (EPP) a las cuadrillas y barrenderos, ni se promovió su vacunación oportuna, privándolos también de información sobre los beneficios de la inmunización.

Cada uno de estos trabajadores tiene contacto diariamente con 50 a 80 ciudadanos, la probabilidad de contagio en ambos sentidos es alta y los recursos económicos para el pago de gastos médicos o de defunción, en el caso de los trabajadores del Servicio Público de Limpia o sus familiares son escasos.

Por lo observado en las ET sobre la recolección de residuos covid-19, evidentemente los residuos covid-19 vienen mezclados con los RSU que genera la población, es pertinente llevar a cabo campañas de información sea por las alcaldías, la SEDEMA o la SOBSE o todas juntas para que la ciudadanía separe sus residuos covid-19 en sus casas apegándose a la NADF-024-AMBT 2013, que quizás deba de modificarse e incluir los residuos covid-19. Es desconcertante que en el PGIR 2021-2025 (SEDEMA, 2021) no se establezcan estrategias para la gestión de los residuos covid-19, supusieron sus autores que la pandemia era pasajera. Este estudio es una propuesta en la dirección de considerar los residuos COVID-19 como un integrante de los RSU de la CDMX y esto hasta que no se logre la separación en fuente realizada por la ciudadanía y mantenida por las cuadrillas y los barrenderos, ambos dependientes de las alcaldías, así como en las ET y PS dependientes de la SOBSE.

El alto contenido de plásticos, el bajo contenido de humedad de la muestra compuesta de los residuos covid-19 ($5.33 \pm 0.6\%$) y el alto contenido de sólidos volátiles que fue de $95.05 \pm 0.6\%$ influyeron en los altos valores de PCS y PCI en la muestra compuesta de residuos covid-19. Estos resultados sugieren que los residuos covid-19 separados en fuente pueden coprocesarse en hornos cementeros. Esto implicaría que las descargas a cuerpos de agua de estos materiales plásticos y las emisiones a la atmósfera al quemarse en el traspatio de los domicilios se reducirían, con la condición *sine qua non* de que los hornos cementeros cumplan con la NOM-040-ECOL-2002.

El precio para procesar una tonelada de residuos covid-19 es de \$13 000.00 (SENER, SEMARNAT y GIZ, 2018) en incineradores cuyas emisiones a la atmósfera y escorias no se tiene evidencia de que cumplan con la legislación ambiental vigente.

El porcentaje de diferentes plásticos en los RSU de los vehículos recolectores fue del $18.15 \pm 3.06\%$ aparentemente no fue estadísticamente diferente a lo observado en la GAM en 2009, que entonces fue de 16.2% . Esto a pesar de la campaña de la SEDEMA contra el uso de plásticos de un solo uso en que no se observa reducción particularmente en polipropileno y en otros plásticos N° 7.

Es notable la presencia de subproductos utilizados por la población debido a los efectos de la pandemia, como cubrebocas, guantes y caretas que

serían posiblemente aún virulentos. Por cada tonelada de RSU habrá en los RSU que recibe la ET GAM, 55 kg identificados como EPP usado.

La campaña emprendida por la SEDEMA para evitar los plásticos de un solo uso, particularmente durante la contingencia ambiental, no parece haber funcionado, sería recomendable que las autoridades lo reconocieran y enfatizaran la separación en la fuente tanto de los RSU como de los residuos covid-19.

Esperamos que la información generada en este estudio sea valorada para consideración y desarrollo de acciones futuras de un mejor manejo de los residuos generados durante situaciones de emergencia sanitaria.

Conclusiones

La formación de brigadas de personal de salud que informen de los peligros del SARS-CoV-2 a las cuadrillas que acompañan al chofer del vehículo recolector y a los barrenderos es necesaria. El estudio costo-beneficio soporta la adquisición de los EPP para las cuadrillas de los vehículos recolectores y barrenderos de la CDMX, lo recomendable sería que las alcaldías y el Sindicato Único de Trabajadores del Gobierno de la Ciudad de México, o ambos, proporcionen cubrebocas de preferencia lavables, tres semanales por persona y construir en las sedes de las alcaldías un método eficiente de lavado de manos con jabón para estos trabajadores.

Un tratamiento que haga inocua a la fracción inorgánica de los residuos covid-19 puede convertirla en CDR con un alto poder calorífico, sustituyendo combustibles de origen fósil en los hornos cementeros.

La escasa cantidad de residuos covid-19 que llegan a las 12 ET indica que los residuos covid-19 provenientes de enfermos o fallecidos por la covid-19 vienen mezclados con los RSU que la ciudadanía entrega a los vehículos recolectores y a los barrenderos, se requiere entonces un programa de separación en fuente apegándose a la NADF-024-AMBT-2013 e incluso contemplar modificaciones sobre esta separación en fuente de residuos covid-19 tanto en esta norma como en la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal (2019).

En cuanto a la composición de RSU en la GAM el contenido de papel bond fue mayor en 2020 que en 2009, la cantidad de materiales de la cons-

trucción fue menor y la presencia de EPP usado fue ciertamente mayor en 2020, estos cambios se explican por la pandemia que sufrió el país entre noviembre de 2020 a febrero de 2021 y que tal parece en diciembre de 2021 se intensificará.

Agradecimientos

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología nos apoyó con financiamiento para el desarrollo del proyecto número 313193, formalizado el 10 de junio de 2020 y concluido el 7 de junio de 2021.

Referencias

- Chatziaras, N., Psomopoulos, C. S., Themelis, N. J. (2016). Use of waste derived fuels in cement industry: a review. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 27, 178-193.
- Cruz Flores, A. (2021, 24 de enero). En el desamparo, trabajadores de limpia se la rifan ante el Covid-19. *La Jornada*. <https://www.jornada.com.mx/notas/2021/01/24/capital/en-el-desamparo-trabajadores-de-limpia-se-la-rifan-ante-el-covid-19/>
- Kampf, G., Pfaender, T. S. y Steinmann, E. (2020). Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. *Journal of Hospital Infection*, (104), 246-251.
- Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal de 2003. La presente Ley es de observancia en el Distrito Federal, sus disposiciones son de orden público e interés social, y tiene por objeto regular la gestión integral de los residuos sólidos considerados como no peligrosos, así como la prestación del servicio público de limpia. 22 de abril de 2003. Gaceta Oficial de la Ciudad de México del 25 de junio de 2019.
- Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) de 2003. La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos, en el territorio nacional. 8 de octubre de 2003. DOF 18-02-2021.
- Orta Ledesma de Velásquez, M. T., Saucedo Castañeda, G. y Tovar Gálvez, L. R. (2014). *Composición y generación de residuos sólidos urbanos de la Ciudad de México durante 2008 -2009. Incluye los generados en la Central de Abasto del D.F.* (2ª ed.). Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa.

- Prather, K. A., Wang, C. C. y Schooley, R. T. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*, 368(6498), 1422-1424.
- Sadzawka, R. A., Carrasco, M. A. R., Grez, R. Z. y Mora, M. L. G. (2005). Métodos de análisis de compost. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas*, (30).
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1985). *Norma Mexicana NMX-AA-15-1985, que establece el método de cuarteo para residuos sólidos municipales y la obtención de especímenes para los análisis en el laboratorio*.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1985). *Norma Mexicana NMX-AA-016-1984, que establece el método llamado de Estufa que determina el porcentaje de humedad, contenido en los residuos sólidos municipales; se basa en la pérdida de peso que sufre la muestra cuando se somete a las condiciones de tiempo y temperatura que se establecen en esta norma, considerando que dicha pérdida se origina por la eliminación de agua*.
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1985). *Norma Mexicana NMX-AA-33-1985, que especifica un método de prueba para determinar el poder calorífico superior de los residuos sólidos municipales, empleando una bomba calorimétrica de los diferentes tipos para planear y diseñar los sistemas adecuados de disposición final de los mismos*.
- Secretaría de Energía (SENER), Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAT) y GIZ. (2018). *Programa Aprovechamiento Energético de Residuos Urbanos en México, Plantas de incineración de residuos sólidos urbanos. Revisión de costos y emisiones a la atmósfera, con una aproximación a los rellenos sanitarios*. SENER, SEMARNAT, GIZ.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (1985). *Norma Mexicana NMX-AA-61-1985, que especifica un método para determinar la generación de residuos sólidos municipales a partir de un muestreo estadístico aleatorio*. 8 de agosto de 1985. DOF 06-10-1992.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2002). *Norma Oficial Mexicana NOM-040-ECOL-2002, que establece en materia de protección a la atmósfera que la calidad del aire debe ser satisfactoria en todos los asentamientos humanos y las regiones del país, por lo que las emisiones de contaminantes de la atmósfera, sean de fuentes artificiales o naturales, fijas o móviles, deben ser reducidas y controladas para asegurar una calidad del aire satisfactoria para el bienestar de la población y el equilibrio ecológico*. 18 de diciembre de 2002. DOF 18-12-2002.
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2020). *Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2019*. SEDEMA. <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/sedema/inventarioderesiduosolidos-ciudaddemexico-2019.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2020). *Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México 2018*. SEDEMA. <http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/sedema/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA). (2021). *Programa de Gestión Integral de Residuos para la Ciudad de México. PGIR 2021-2025*. SEDEMA. https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/DGEIRA/PGIR/PGIR%202021-2025_N_ago21.pdf

- Secretaría del Medio Ambiente (SEMARNAT). (2003). *Norma Oficial Mexicana NOM-083-SEMARNAT-2003, Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial*. 10 de octubre de 2003. DOF 20-10-2004.
- Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. (2013). *Norma Ambiental NADF-024-AMBT 2013, que establece los criterios y especificaciones técnicas bajo los cuales se deberá realizar la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de los residuos del Distrito Federal*. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2016.pdf> Consultado el 2 de febrero de 2021.
- Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). (2020). *Cartilla de mejores prácticas para la prevención del covid-19 en el manejo de los residuos sólidos urbanos*. SEMARNAT.
- Ulrich, A. E. y Frossard, E. (2014). On the history of a reoccurring concept: Phosphorus scarcity. *Science of the Total Environment*, 490, 694-707.
- Van Doremalen, N., Dylan H. M., Holbrook M. G., Gamble, A., Williamson B. N., Tamin, A., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., Munster, V. J. (2020). Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, (382), 1564-1567.