



Las opiniones y los contenidos de los trabajos publicados son responsabilidad de los autores, por tanto, no necesariamente coinciden con los de la Red Internacional de Investigadores en Competitividad.



Esta obra por la Red Internacional de Investigadores en Competitividad se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 3.0 Unported. Basada en una obra en riico.net.

Indicadores de referencia para la mejora del manejo integral de RSU. Caso ciudad de México

Francisco Gutiérrez-Galicia¹

Ana Lilia Coria-Páez²

Aida Medina-González³

Resumen

A nivel mundial la Ciudad de México es la segunda en generación de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) esto aunado a la falta de áreas para el tratamiento y disposición final representa uno de sus mayores problemas ambientales. Para evaluar la eficiencia en el manejo de los RSU se utilizaron los indicadores de referencia en el Manejo Integral Sustentable utilizados en más de 50 ciudades del mundo para mejorar el manejo de sus residuos. Los resultados muestran un mediano desempeño en la aplicación de las 3 R's (Reducción, Reúso y Reciclaje) así como a una gestión centrada sólo en el sector público. Con base en estos se desarrolla un modelo conceptual para alcanzar la competitividad sustentable para un país de desarrollo medio alto y verificarlo por medio de indicadores de referencia.

Palabras Claves: RSU, Evaluación, infraestructura, gobernanza.

Abstract

Worldwide, Mexico City is the second-largest generation of Urban Solid Waste (MSW). The lack of areas for treatment and final disposal represents one of its most significant environmental problems. The reference indicators in Sustainable Integral Management use to evaluate the efficiency of MSW management in Mexico City. These indicators were used in more than 50 cities worldwide to improve their waste management. The results show a medium performance in applying the 3 R's (Reduction, Reuse, and Recycling) and management focused only on the public sector. Based on these, a conceptual model develops to achieve sustainable competitiveness for a country of high medium development and verify it through reference indicators.

Keywords: MSW, Evaluation, infrastructure, governance.

¹Instituto Politécnico Nacional, México, UPIIH

²Instituto Politécnico Nacional, México, ESCA Tepepan

³Instituto Politécnico Nacional, México, CECYT 16

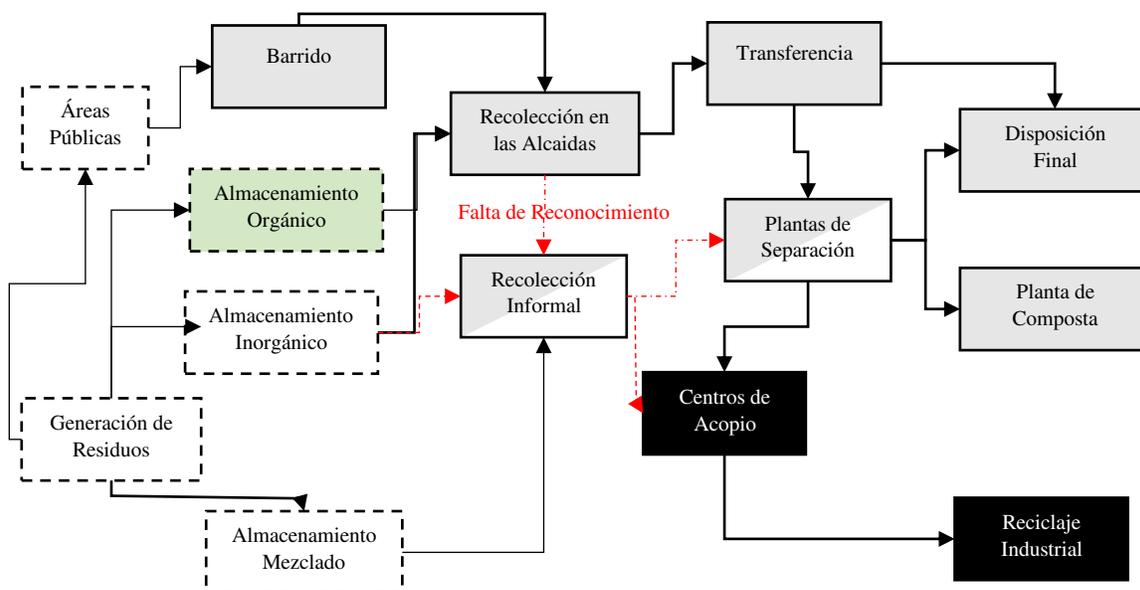
Introducción

Las Naciones Unidas (ONU) clasifican el área metropolitana de la Ciudad de México con 19 millones de habitantes en 2007, como una de las cinco áreas urbanas más pobladas del mundo (United Nations, 2017). La Ciudad concentra el 30% de la población urbana nacional y es la tercera aglomeración más poblada del mundo (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2016). Entre las megaciudades del mundo, la Ciudad de México es la segunda en generación de residuos sólidos después de la región de Nueva York (Kennedy et al., 2015). La gestión de RSU es un desafío para el gobierno de la Ciudad, tanto en términos de la cantidad generada como de la densidad del tráfico y la falta de áreas adecuadas para llevar a cabo su tratamiento y disposición final de acuerdo con las regulaciones ambientales existentes. El Manejo Integral de RSU en la Ciudad se lleva a cabo por tres diferentes grupos: el servicio público de limpieza que realiza la recolección y disposición final, los trabajadores informales que realizan la separación de RSU para reciclaje y las empresas privadas que brindan servicios de recolección y disposición final para empresas e industrias (Guibrunet, 2019).

Para comprender el manejo de los residuos en una Ciudad se utilizó un Diagrama de Flujo de Procesos (PFD) para representar el sistema de residuos sólidos y reciclaje de una ciudad, incluidos elementos y operaciones formales e informales de forma completa y concisa (Mavropoulos et al., 2012).

La **Figura 1** muestra el diagrama de flujo de procesos (PFD) del manejo de los RSU en la Ciudad de México, las relaciones entre ellos y el grupo de partes interesadas al que pertenece cada uno.

Figura 1. Gestión Municipal de Residuos Sólidos (MSWM) en la Ciudad de México



Fuente: Elaboración Propia

Los cuadrados blancos con líneas punteadas en la **Figura 1** indican las actividades realizadas por los habitantes. Dado que la separación de todos los RSU aún no se ha logrado hay dos tipos de almacenamiento: mezclado y separado.

Los servicios públicos se indican en rectángulos grises, los cuales realizan la recolección de RSU separados que se depositan en las estaciones de transferencia y desde allí se envían a tratamiento o disposición final según sus características. Los residuos sólidos inorgánicos se envían a los sitios de disposición final en el Estado de México y una pequeña parte se envía a plantas de separación para recuperar los RSU con valor económico para el reciclaje. Mientras tanto, la parte orgánica se envía a la planta de composta en el Bordo Poniente (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

Los rectángulos en grises con blancos indican las actividades realizadas por los trabajadores informales. Los cuales voluntariamente en los vehículos de recolección, o en las plantas de separación recolectan y acondicionan residuos inorgánicos para la venta a los centros de acopio (Guibrunet et al., 2017), los residuos que tienen un mercado estable vinculado a la cadena de reciclaje son: papel, cartón, PET, vidrio y metal (Guevara-García y Montiel-Corona, 2015).

Sin embargo, la presencia de voluntarios en los vehículos de recolección propicia que sean operados con más trabajadores de los requeridos (Bleck y Wettberg, 2012). En 2018, en promedio cada ruta de recolección tenía 4 operarios, dos trabajadores de base y dos informales, recolectando en promedio de 4,46 Toneladas por día (se considera que cada ruta se cubre en un día), lo que representa sólo el 59% de la capacidad de un vehículo de recogida con compactación de 15 m³ en buenas condiciones, mientras que en ciudades como Tijuana, Ciudad Juárez y Reynosa donde el servicio de recolección está a cargo de empresas privadas, que no permiten "pepena" se alcanzaron 13.33, 11.57 y 9.78 toneladas diarias por vehículo respectivamente (Couto y Hernández, 2012). Las plantas de separación de la ciudad también presentan una baja eficiencia ya que sólo el 4% del RSU que ingresa se recupera para su reciclaje ya que el trabajo se realiza manualmente (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México, 2020).

Los rectángulos negros se refieren a centros de acopio, reciclaje industrial y recolección privada. Los centros de reciclaje actúan como intermediarios entre los informales y la industria del reciclaje. Antes de llegar a la industria del reciclaje, los residuos reciclables tienen que pasar por los centros de acopio de tamaño creciente, cada uno desempeñando un papel en el procesamiento y transporte de residuos reciclables. Los residuos reciclables que se generan en la ciudad tienen que ser manipulados en pequeñas cantidades, debido a que los residuos se recolectan diariamente casa por casa y los

voluntarios no tiene la capacidad de almacenarlos. Los centros de reciclaje se ubican en las principales calles donde circulan los vehículos de recolección frecuentemente, cerca de las estaciones de transferencia donde los terrenos son generalmente caros y pequeños en tamaño. En consecuencia, están limitados en la cantidad de materiales reciclables que pueden manejar, donde solo pueden almacenar los artículos más voluminosos durante unos días a la semana, y hasta unos meses para los menos voluminosos (como cobre o bronce). Disponen de maquinaria adaptada al tamaño de sus locales como compactadores de cartón para hacer pacas más compactas, con peso y volumen adecuados (entre 100 y 600 kilos) para ser transportadas en pequeños camiones pick-up (remolques más grandes no pueden maniobrar en estas pequeñas calles de barrios). Los centros de reciclaje industrial prestan un servicio con maquinaria adecuada para recibir reciclables por cientos de kilos: sus básculas, carretillas elevadoras y remolques están adaptados para estas cantidades. Se encuentran en zonas industriales en las afueras de la ciudad; a no más de 15 km del centro de la ciudad, y con fácil acceso para sus proveedores. En última instancia, venden reciclables a empresas transnacionales que operan en todo México (para cartón y metales) o en el extranjero (para plásticos). Estos pequeños y grandes comerciantes de reciclaje constituyen una red de intermediarios que operan a diferentes escalas y que es necesaria para que la industria del reciclaje sea viable, tanto en términos físicos como económicos (Guibrunet et al., 2017).

Para aumentar la cantidad de residuos reciclados la ciudad implementó la separación en dos fuentes inorgánicos y orgánicos en 2003. Posteriormente entró en vigor la norma NADF-024-AMBT-2013 para que los habitantes realicen la separación de RSU en cuatro fracciones: reciclables, no reciclables, residuos orgánicos y especiales, incluidos los residuos eléctricos y electrónicos y los residuos voluminosos (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2015). Lo que tiene por objeto aumentar la cantidad de materiales reciclables que se almacenan y se recolectan por separado, para disminuir la cantidad de RSU que se envían a disposición final (Tsydenova et al., 2019).

Objetivo

Evaluar el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos en la Ciudad de México utilizando los indicadores de referencia, y elabora un modelo conceptual que permita alcanzar un nivel medio alto en todos sus elementos acorde al nivel socioeconómico en el que el Banco Mundial califica a México (The World Bank, 2018).

Metodología

Los Indicadores de Referencia en el "Manejo Integral Sostenible de Residuos" (MISR) es un enfoque que proporciona información sobre aspectos esenciales, como los ambientales, sociales y legales; las

partes interesadas: recicladores, pequeñas empresas, habitantes, y elementos prácticos o técnicos del sistema de gestión de residuos, incluida la prevención, la reutilización y el reciclaje mediante estos indicadores se puede evaluar el trabajo de las ciudades en la prestación de los servicios de manejo de RSU, e identificar los aspectos en que se requiere poner mayor énfasis para mejorar el sistema y monitorear el impacto de los cambios implementados (Byamba y Ishikawa, 2017; Van De Klundert y Anschütz, 2001). Los indicadores de referencia en el MIS-RSM son resultado del trabajo realizado por el programa Hábitat de la Naciones Unidas para obtener un perfil deseado del manejo integral de los residuos sólidos en países desarrollados y en vías de desarrollo. La metodología de indicadores de referencia se ha probado en más de 50 ciudades del mundo, lo cual sustenta que es un enfoque adecuado para evaluar el desempeño de las ciudades que se encuentran en las etapas primarias de desarrollo del manejo integral de los RSU.

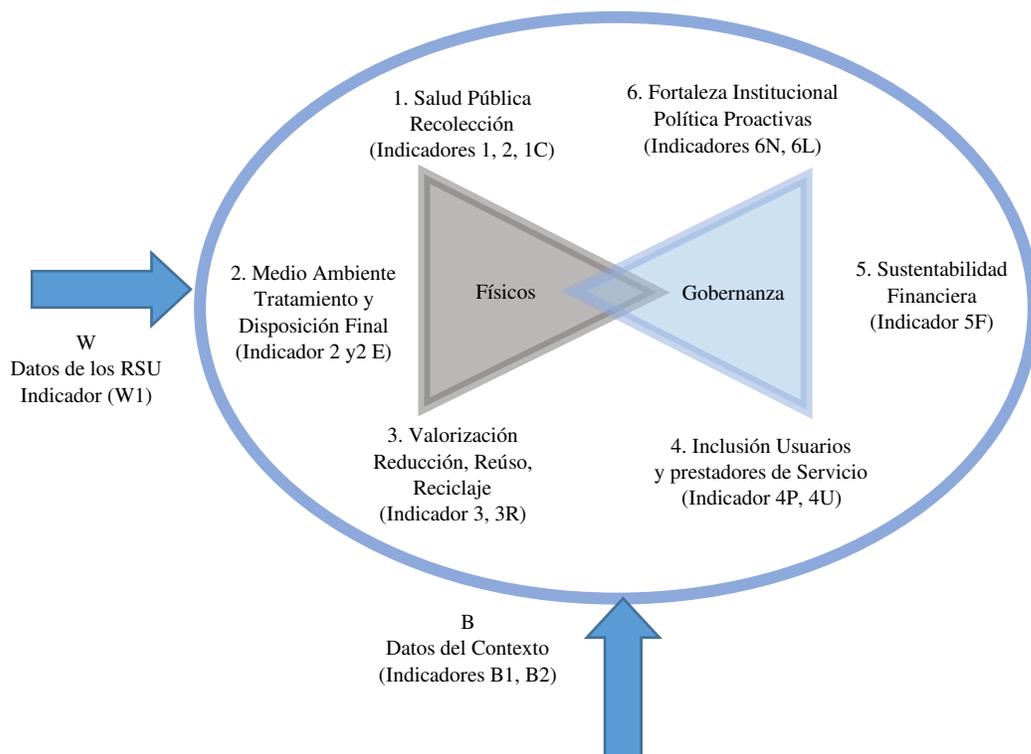
Los Indicadores de Referencia en el MISR distingue seis componentes agrupados en aspectos físicos y de gobernanza. Los aspectos físicos hacen referencia a la infraestructura equipos y personal con que cuenta el sistema y se clasifican a su vez en tres componentes: protección de la salud, protección al medio ambiente y valorización (3 R's). La protección a la salud hace referencia a aquellos elementos que se utilizan para que los RSU no sean un foco infección en las zonas urbanas que afecten a la salud de la población, para evaluar su eficiencia se utilizan los indicadores **1.1 Cobertura de Recolección**, **1C Calidad del servicio de recolección** y **1.2 Residuos capturados por el sistema**. En lo referente al Componente Protección al Medio Ambiente, se refieren a la infraestructura que se tiene para evitar la contaminación por RSU en el medio ambiente, este componente se evalúa con los indicadores **2 Tratamiento y disposición final controlada** y **2E Calidad en el tratamiento y disposición final controlada**. Finalmente, la Valorización de los RSU se refiere a las actividades relacionadas con la reducción, reúso, y reciclaje con objeto de disminuir la cantidad de RSU que se generan, se evalúa por medio de los indicadores **3 Tasa de reciclaje** y **3R Calidad del Reciclaje**.

El grupo de gobernanza se focaliza en la coordinación de los aspectos físicos que son las estrategias de gobierno para un funcionamiento óptimo del modelo. El primer aspecto en la gobernanza es la inclusión cuyo objeto es determinar si los distintos actores en el manejo de lo RSU participan equitativamente en la planeación, y se mide con los indicadores **4U Inclusión de los usuarios** y **4P Inclusión de los Proveedores**. El otro aspecto que considera la gobernanza es la Sustentabilidad Financiera que asegura que los servicios y actividades del manejo de los RSU tienen un costo beneficio viable y se mide con el indicador **5F**. Finalmente está el aspecto de Fortaleza Institucional y Políticas Públicas, se enfoca en la idoneidad del marco legal nacional y local y su grado de implementación en la ciudad, se evalúa con los indicadores **6N Congruencia con el marco legal**

nacional y 6L Instrumentos locales coherentes: En los anexos A1 y A2 se describe el proceso de cálculo de cada indicador.

El proceso de evaluación se sintetiza en la **Figura 2**, compuesta de dos triángulos uno para los aspectos físicos y otro para la gobernanza, cada aspecto tiene sus propios componentes que se evalúa con indicadores que determinan el grado de cumplimiento para tener un sistema integral con la información disponible acerca de los residuos sólidos y el contexto de la ciudad (Schübeler et al., 1996; Van De Klundert y Anschutz, 2001; Wilson et al., 2015).

Figura 2. Proceso de Evaluación por Indicadores de Referencia



Fuente: (Van De Klundert y Anschutz, 2001; Wilson et al., 2015).

Los 12 indicadores evalúan el sistema de residuos existente con base en las actividades que realizan los involucrados en la gestión de residuos, los elementos prácticos y técnicos del sistema de residuos, y el contexto local.

La evaluación por los indicadores de referencia utiliza escalas distintas dependiendo del ingreso nacional, se utiliza una escala para los países con ingresos altos la cual evalúan con un mayor rigor los aspectos físicos debido a que se considera que se tiene una mayor accesibilidad a las tecnologías más avanzadas para el manejo de RSU, para poder elegir el nivel de ingreso se utilizan los indicadores de contexto **B.1 Ingresos nacionales** y **B2 Población** y **W1 generación per cápita**. Para evaluar el

desempeño de los indicadores se establecieron 5 categorías, baja, media baja, media, media alta y alta usando un código de colores como si se tratase de un semáforo, donde el rojo corresponde a la categoría baja, naranja para la media y verde para la categoría alta. Además de que existe para cada indicador un rango distinto como se muestra en el Anexo A3.

Para conocer la situación actual de los RSU en la Ciudad de México y el impacto de las mejoras que tendría si se implementa el modelo conceptual propuesto, se utilizaron los indicadores de referencia en el Manejo Integra Sustentable de los Residuos Sólidos Municipales (MIS-RSM).

Modelo Conceptual Propuesto

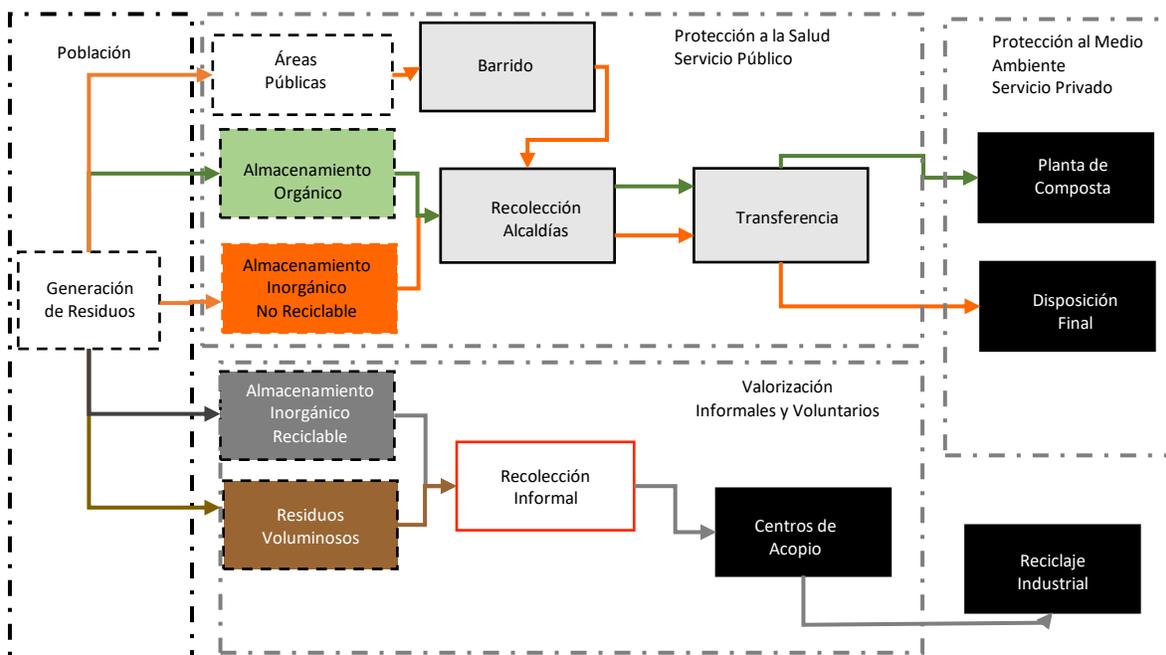
Para que exista un MIS-RSU en la Ciudad de México se tendría que dar cumplimiento a la NADF-024-AMBT-2013, la cual establece las fracciones en las cuales se deben separa los RSU y el tratamiento idóneo al que deberán de someterse (Secretaría del Medio Ambiente del la Ciudad de México, 2015), sin embargo, en la práctica esta separación no es realizada por la población (Jefatura de Gobierno, 2021).

Por lo que la principal problemática identificada es el incumplimiento en la separación, y falta de participación de la población, los distintos prestadores de servicios (Públicos, Privados e Informales) tienen predilección por una de las fracciones dependiendo de sus intereses y objetivos de tratamiento, sin embargo, no existe actualmente una correlación entre el interés de los prestadores de servicio por una determinada fracción y los RSU que maneja o que son su entera responsabilidad, ocasionando que existan tareas duplicadas o inclusive que se contrapongan cuando dos o más prestadores de servicio están a cargo de una misma fracción y su objetivos de tratamiento o valorización son distintos. La otra deficiencia identificada en el manejo de los RSU en la Ciudad es la falta de reconocimiento del sector informal.

Por lo anterior se propone un modelo conceptual en el cual se asigne el manejo de las distintas fracciones de los RSU al prestador de servicio que tenga mayor interés en una determinada fracción, a fin de evitar que existan tareas duplicadas o que se contrapongan. En la **Figura 3** se muestra la propuesta para el Manejo Integral Sustentable de Residuos Sólidos Urbanos (MIS-RSU) en la Ciudad de México. En el cual el sistema de protección al ambiente está integrado por el servicio público que se encarga de la recolección y transporte de los RSU orgánicos y No reciclables. El servicio de Protección al ambiente estaría integrado por el servicio particular encargado de la composta y la disposición final. Mientras que el sistema de valorización estaría a cargo de los informales y voluntarios en la recolección y transporte, y los privados en el acopio y tratamiento industrial.

Cada uno de estos sistemas de protección a la salud, medio ambiente y valorización, está formado por distintos subsistemas que son autónomos, pero que se agrupan en estos tres sistemas relevantes ya que manejan los mismos tipos de RSU o los objetivos de los servicios que se prestan están alineados.

Figura 3. Modelo Conceptual Propuesto



Fuente: Elaboración propia.

Sistema de protección a la salud

El sistema de protección a la salud consiste en retirar frecuentemente los residuos sólidos de los asentamientos humanos a fin de evitar que estos se acumulen y se generen vectores que dispersen enfermedades contagiosas en la población (Marshall y Farahbakhsh, 2013; Wilson D. C., 2007). Se propone que los servicios públicos realicen la recolección de la fracción orgánica y la inorgánica NO reciclable de los RSU de los espacios públicos y las casas habitación, para su disposición final o tratamiento térmico en instalaciones privadas fuera de la Ciudad, su tarea principal está enfocada en la recolección y transporte de los RSU orgánicos y no valorizables fuera de las zonas urbanas. En cuanto a los residuos orgánicos e inorgánicos no valorizables, estos son recolectados exclusivamente por el servicio público de cada alcaldía para entregarlos a las estaciones de transferencia que posteriormente los transportan a las plantas de composta, disposición final o tratamiento térmico (Jefatura de Gobierno, 2021). En este modelo se considera que los particulares limitarían sus servicios a los comercios e industrias como lo marca la normatividad vigente por lo que no tendrían injerencia en la recolección de RSU. Otro componente de la tarea de protección a la salud está en el barrido

manual y mecánico que son los encargados de realizar la recolección de los residuos que se encuentran en las calles, avenidas, parques y espacios públicos. En la Ciudad de México, el barrido mecánico se encarga de las avenidas que abraquen más de una alcaldía y del resto se encarga el barrido manual de cada alcaldía (Jefatura de Gobierno, 2008). Este sistema estaría integrado por la recolección, barrido y transporte en las alcaldías, todos pertenecientes al servicio público.

Sistema de protección al medio ambiente

El sistema de protección al medio ambiente propuesto estaría a cargo de los prestadores de servicio privado, los cuales invierten en la construcción de infraestructura para el tratamiento o disposición final de RSU, para posteriormente prestar sus servicios a los gobiernos locales. En el caso de la Ciudad de México en el MIS-RSU propuesto estaría integrado por la disposición final, el tratamiento por composta y el acondicionamiento de una fracción de los RSU NO Reciclables en las Plantas de Separación para su tratamiento térmico, dado que ya no se recibirían RSU reciclables. Se pretende que el servicio particular asuma todas las operaciones de protección al ambiente, y que la Dirección General de Servicios Urbanos y Sustentabilidad (DGSUyS) modifique el esquema de contratación actual por periodos mayores a los actuales a fin de que se puedan realizar mejoras a la infraestructura existente. Los servicios de disposición final y tratamiento son supervisados por la DGSUyS (Jefatura de Gobierno, 2008).

Sistema de valorización de RSU

La valorización de los RSU es el proceso que acorde a la política en materia de RSU (jerarquización de las operaciones de RSU) debería de ser el de mayor importancia (Asamblea Legislativa del Distrito Federal, 2003), sin embargo, actualmente este sistema no tiene identidad propia y sus operaciones se encuentran entrelazadas con los sistemas de limpia y protección al ambiente, carece de normas que regulen los procesos de valorización y reciclaje. En el sistema de valorización los grupos de mayor interés son los informales y voluntarios en la recolección de los RSU orgánicos no reciclables. El acopio y los procesos de reciclaje industrial lo realizan los particulares que posteriormente aprovechan las materias primas obtenidas. La asociación internacional de residuos sólidos ISWA por sus siglas en inglés, considera que una solución benéfica para todos los involucrados en el manejo de los RSU, es el aumento de la tasa de reciclaje, que permita desarrollar los medios de vida de las personas dedicadas a la pepena y separación de RSU, además de reducir los impactos al medio ambiente por la disposición final de los RSU y reducir los costos del manejo de RSU en las ciudades, para lo que es necesario incluir exitosamente al sector informal dentro de un sistema de manejo integral y sustentable de RSU (Mavropoulos et al., 2012).

En la **Figura 3** se muestra el MIS-RSU para el sistema de valorización de RSU, el cual plantea que la recolección de los residuos reciclables en los domicilios de la Ciudad de México esté a cargo exclusivamente de los voluntarios e informales, los cuales se entregarían en los centros de acopio que se encuentran dentro de las alcaldías y que posteriormente se enviarán al reciclaje industrial en instalaciones fuera de la zona urbana. Para ello es necesario promover la separación de RSU a fin de que los voluntarios e informales solo acopien residuos reciclables y no tengan que depositar parte de sus RSU en las estaciones de transferencias para su disposición final o tratamiento.

Resultados

Utilizando la herramienta de los indicadores de referencia en el MIRSMM, se determinó que actualmente el manejo de los RSU en la Ciudad de México tiene rezagos tanto en los aspectos físicos como en los de gobernanza como se muestra en la **Tabla 1**. La evaluación de los indicadores **1.1 Cobertura de recolección**, **1.2 Residuos captados por el sistema**, **3 Tasa de reciclaje** y **3R Calidad en el Reciclaje** no están al nivel de ingresos del país que es medio-alto. En el caso de los primeros dos (**1.1 Cobertura de Recolección** y **1.2 Residuos captados por el sistema**) se considera que la diferencia existente se debe a la falta de información acerca de la cantidad de residuos que recolectan los servicios de recolección privado e informales. Mientras que los indicadores **3 Tasa de reciclaje** y **3R Calidad en el reciclaje** relacionados con la reducción, reúso y reciclaje, aunque tienen un nivel medio, existe una mejoría notable después del cierre del Bordo Poniente en el 2011, y con la puesta en operación de una planta de composta y una planta de compactación para el uso de los RSU como combustible alternativo con lo que se ha logrado que el 32% de los RSU se recupere, el doble de lo que se tenía en el 2011 (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2009, 2016).

Por otra parte, los aspectos de gobernanza son los de mayor rezago. Los indicadores de inclusión de los proveedores de servicio **4U Inclusión de los usuarios** y **4P Inclusión de los proveedores** se encuentran por debajo del nivel medio alto, ya que actualmente la planeación y organización del manejo de los RSU en la Ciudad de México, se centra en el servicio público y no considera a los servicios privados e informales, con un balance adecuado. El indicador **5F Sustentabilidad financiera**, se encuentra en un nivel medio, ya que actualmente los recursos que se tienen se destinan en su mayoría a la operación, siendo mínimos los recursos que se destinan a reposición y construcción de nueva infraestructura. Adicionalmente el indicador **6L Instrumentos locales coherentes** relacionado con la normatividad y política locales no prevé la participación de los servicios particulares e informales en el manejo de los RSU, inclusive no se tiene registro de la cantidad de RSU que manejan lo que afecta la evaluación de los indicadores **1.1 Cobertura de la Recolección**, **1.2 Residuos captados por el sistema** y **3 Tasa de Reciclaje**. Finalmente, el indicador **6N**

Congruencia con el marco legal nacional en el manejo de RSU, tiene un nivel medio bajo ya que a nivel federal no se han desarrollado mecanismos para verificar que se cumplan las normas oficiales mexicanas y la LGPGIRS, para que los sistemas de manejo de los RSU en los estados tengan una calidad homogénea, llegando al extremo que el gobierno federal en el periodo 2012-2018 no elaboro el plan nacional correspondiente a residuos sólidos.

Tabla 1. Comparación de Indicadores de Referencia para la Manejo Integral de RSU en 2017 y MIS-RSU propuesto.

| Fechas en las que se aplicó el indicador | | | | 2017 | MIS-RSU 2020 | | Progreso |
|--|---|--|----------------|------------|--------------|---|----------|
| No. | Categoría | Indicador | | | | | |
| B1 | Ingresos nacionales | Clasificación Banco Mundial | | Medio-alto | | × | |
| | | Ingreso percipita | USDS\$/Persona | 8,930 | 9,570 | ✓ | |
| B2 | Población | Ciudad de México | Hab | 8,811,266 | 9,018,645 | ✓ | |
| W1 | Generación per cápita de RSU | RSU per cápita | Kg por año | 538 | 531 | × | |
| | | | kg por día | 1.475 | 1.455 | × | |
| 1.1 | Salud Pública y Recolección de RSU | Cobertura de Recolección | | 82.10% | 90.00% | ✓ | |
| 1.2 | | Residuos capturados por el sistema | | 82.70% | 90.00% | ✓ | |
| 1C | | Calidad del servicio de recolección | | 67% | 71% | ✓ | |
| 2 | Protección Ambiental en el Tratamiento y disposición de RSU | Tratamiento y disposición final controlada | | 79.70% | 88.00% | ✓ | |
| 2E | | Calidad en el tratamiento y disposición final controlada | | 65% | 88% | ✓ | |
| 3 | Valorización de RSU 3 R's (Reducción, Reúso, Reciclaje) | Tasa de reciclaje | | 32.80% | 42.80% | ✓ | |
| 3R | | Calidad en el reciclaje | | 50% | 79% | ✓ | |
| 4U | Inclusión | Inclusión de usuarios | | 54% | 79% | ✓ | |
| 4P | | Inclusión de proveedores | | 30% | 96% | ✓ | |
| 5F | Sustentabilidad Financiera | Sustentabilidad Financiera | | 54% | 70% | - | |

| | | | | | | | |
|----|--|---|-----|--|-----|--|---|
| 6N | Fortaleza Institucional, Políticas Públicas. | Congruencia con el marco legal nacional | 33% | | 33% | | - |
| 6L | | Instrumentos locales coherentes | 58% | | 83% | | ✓ |

Fuente: Elaboración Propia.

El modelo conceptual propuesto tiene como objeto que todos los indicadores del sistema de manejo de RSU de la Ciudad de México alcancen un nivel medio alto acorde a la situación económica del país. Esto a partir de tres propuestas de mejora que son: el cumplimiento de la norma NADF-024-AMBT-2013 de separación; el reconocimiento del sector informal como responsable de la recolección de residuos reciclables y el sector privado responsable del tratamiento y disposición final, y la certidumbre en la contratación de los servicios de disposición final y tratamiento a través de concesiones (Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal, 2015). Estas propuestas mejorarían el desempeño en los indicadores de gobernanza y en consecuencia el de los indicadores físicos.

Debido a la implementación del modelo conceptual y sus propuestas de mejora, los indicadores de inclusión **4U Inclusión de los usuarios** y **4P inclusión de proveedores** alcanzarían un nivel medio alto y alto respectivamente. En relación con el indicador **4U Inclusión de los usuarios** se considera un mayor involucramiento para cumplir con la separación de los RSU, y en el indicador **4P Inclusión de proveedores** se considera que los prestadores de servicio público, privado e informal serán responsables de cada uno de los sistemas relevantes que integran el manejo de los RSU a fin de evitar tareas que se contraponen o se duplican con lo que este indicador será el que tenga la mejora mayor al pasar de un valor del 30% al 95.6%. El indicador **5F Sustentabilidad financiera** pasaría de un nivel medio a uno medio alto, al considerar que mediante la concesión a particulares se tendría una mayor disponibilidad de recursos para la infraestructura en disposición final y tratamiento. En cuanto al indicador **6L Instrumentos locales coherentes** se considera una mejora del 25% para alcanzar un nivel medio alto, ya que, para la coordinación de los tres prestadores de servicio, se necesitaría contar con un área específica para la supervisión de los prestadores de servicio público y privado y el registro de las actividades que realizan. Finalmente, el indicador 6N Congruencia con el marco legal nacional en el manejo de RSU relacionado con el marco legal nacional, no se proponen mejoras ya que está fuera de los límites del sistema de manejo de RSU de la Ciudad de México.

Con la reorganización del manejo de RSU y el reconocimiento del sector informal, se considera que el sistema de manejo de RSU captaría el 90% de la generación, con lo cual los indicadores **1.1 Cobertura de Recolección**, **1.2 Residuos capturados por el sistema** y **2 Tratamiento y disposición final** controlada pasarían del nivel medio al nivel medio alto. Además, el indicador 3 relacionado con

la reducción, reúso y reciclaje, se incrementaría en un 10% por el incremento en la captación de RSU y por una mayor cantidad de residuos orgánicos tratados en la planta de composta y residuos reciclables, originado por el cumplimiento de la separación en cuatro fracciones por parte de la población.

En cuanto a los indicadores cualitativos de los aspectos físicos **1C Calidad del servicio de recolección de RSU**, **2E Calidad en el tratamiento y disposición final controlada** y **3R Calidad en el Reciclaje**, estos también mejorarían para alcanzar al menos un nivel medio alto. El indicador **1C Calidad del servicio de recolección** y **3R Calidad en el reciclaje** tendría un nivel medio alto debido al reconocimiento del sector informal, mejorando las condiciones de estos trabajadores al no tener que separar los residuos reciclables de los no reciclables y dotándolos de uniformes y equipo de protección personal EPP como se hace con el servicio público. Mientras que en el caso del indicador **2E Calidad en el tratamiento y disposición final controlada** alcanzaría un nivel alto, ya que mediante la concesión de la disposición final a particulares estos estarían en condiciones de realizar las inversiones necesarias para tratar los lixiviados y el biogás que se genera en los Rellenos Sanitarios.

Conclusiones

Mediante la evaluación por indicadores de referencia se comprobó que la Ciudad de México no tiene actualmente un manejo integral sustentable de los RSU, ya que los servicios están centrados en la protección de la salud pública dejando, en contra de las políticas ambientales vigentes, en un segundo plano la protección al medio ambiente y valorización de los RSU. Para mejorar el sistema actual es necesario modificarlo, esta investigación propone implementar un MIS-RSU en el que se tengan responsabilidades compartidas como las nuevas tendencias establecen. Es necesario incluir a todos los actores involucrados y desarrollar nuevas relaciones entre las dependencias de gobierno, los informales, organizaciones no gubernamentales y el sector privado en el manejo de los RSU. La propuesta para la Ciudad de México consiste en que el sistema de protección a la salud esté integrado por el servicio público que se encarga de la recolección y transporte de los RSU orgánicos y NO reciclables. El sistema de protección al ambiente estaría integrado por el servicio particular encargado de la composta y la disposición final, mientras que el sistema de valorización estaría a cargo de los informales y voluntarios en la recolección y transporte, y los privados en el acopio y tratamiento industrial.

Para ello es necesario dar cumplimiento de la norma de separación NADF-024-AMBT-2013 (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2015). Una vez establecida la separación de RSU, se considera el reconocimiento del sector informal en los servicios de recolección informales

como se implementó en China desde 2007 para logra un mejor desempeño en el reciclaje (Yang, 2018), para ello es necesario modificar las frecuencias de recolección para que coexista la recolección publica e informal. En cuanto a las Plantas de Separación estas ya no tendrían RSU mezclados para desarrollar sus actividades, por lo que tendrían que modificarse para realizar otros tipos de tratamiento, se recomienda que sea la compactación de RSU para su aprovechamiento térmico cuando sea posible, dado que una limitación para mejorar la infraestructura del MRSU de la Ciudad de México es la falta de recursos económicos ya que el gobierno de la Ciudad no recibe ingresos por la recolección de RSU de los habitantes, los servicios públicos son gratuitos, independientemente de los niveles de ingresos de la población (Jefatura de Gobierno, 2008). Se propone la creación de la Asociación Publica Privada, para el tratamiento y disposición final de los residuos mediante la planta de composta bordo poniente, 5 rellenos que cumplan con la NOM-083-SEMARNAT-203 (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2004) y una planta de compactación para el aprovechamiento térmico de los RSU no reciclables.

También se requiere que el gobierno de la Ciudad de México, mejore la recopilación de datos, especialmente sobre la composición de RSU desde el último estudio que data de 2009 (Durán et al., 2013), y contar con información detallada de los sectores público, privado e informal para que se cumplan los planes en la gestión de residuos incluyendo a todos los interesados y sus características, que actualmente los realiza la Unidad de Gestión Sustentable de Residuos Sólidos que es la encargada de los sistema de información de RSU y de elaborar el inventario de Residuos, donde se resume toda la información relativa al manejo integral de RSU, que tiene una periodicidad de un año pero que se publica con más de 10 meses de retraso (Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México, 2021).

Referencias

- Asamblea Legislativa del Distrito Federal. (2003). Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. En Gaceta oficial del Distrito Federal (pp. 2–20).
- Bleck, D., y Wettberg, W. (2012). Waste collection in developing countries - Tackling occupational safety and health hazards at their source. *Waste Management*, 32(11), 2009–2017. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.03.025>
- Byamba, B., y Ishikawa, M. (2017). Municipal solid waste management in Ulaanbaatar, Mongolia: Systems Analysis. *Sustainability (Switzerland)*, 9(6), 896. <https://doi.org/10.3390/su9060896>
- Couto, I., y Hernández, A. (2012). Participación y rendimiento de la iniciativa privada en la gestión integral de los residuos sólidos urbanos en la frontera México-Estados Unidos. *Gestión y Política Pública*, XX1(1), 215–261. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13323078007>
- Durán, A., Garcés, M., Velasco, A., Marín, J. C., Gutiérrez, R., Moreno, A., y Delgadillo, A. (2013). Mexico city's municipal solid waste characteristics and composition analysis. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 29(1), 39–46. <http://scielo.unam.mx/pdf/rica/v29n1/v29n1a4.pdf>
- Guevara-García, J. A., y Montiel-Corona, V. (2015). PUSHING MEXICO TO A RECYCLING CULTURE. En J. Galindo (Ed.), *Mexico in Focus* (pp. 141–176). Nova Science Publishers, Inc.
- Guibrunet, L. (2019). What is “informal” in informal waste management? Insights from the case of waste collection in the Tepito neighbourhood, Mexico City. *Waste Management*, 86, 13–22. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2019.01.021>
- Guibrunet, L., Sanzana Calvet, M., y Castán Broto, V. (2017). Flows, system boundaries and the politics of urban metabolism: Waste management in Mexico City and Santiago de Chile. *Geoforum*, 85, 353–367. <https://doi.org/10.1016/J.GEOFORUM.2016.10.011>
- Jefatura de Gobierno. (2008). Regalamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. En Gaceta Oficial del Distrito Federal (pp. 4–24).
- Jefatura de Gobierno. (2021, agosto 4). Programa de Gestión Integral de Residuos para la Ciudad de México 2021-2025. Gaceta Oficial de la Ciudad de México, 4–61. http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/gacetas/GOCDMX_21-08-04_SEDEMA.pdf
- Kennedy, C. A., Stewart, I., Facchini, A., Cersosimo, I., Mele, R., Chen, B., Uda, M., Kansal, A., Chiu, A., Kim, K.-G., Dubeux, C., Lebre La Rovere, E., Cunha, B., Pincetl, S., Keirstead, J., Barles, S., Pusaka, S., Gunawan, J., Adegbile, M., ... Sahin, A. D. (2015). Energy and material flows of megacities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 112(19), 5985–5990. <https://doi.org/10.1073/pnas.1504315112>

- Marshall, R. E., y Farahbakhsh, K. (2013). Systems approaches to integrated solid waste management in developing countries. *Waste Management*, 33(4), 988–1003. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2012.12.023>
- Mavropoulos, A., Willson David C., Appelqvist, B., Vells, C., y Cooper, J. (2012). Globalization and Waste Management Phase 1: Concepts and facts.
- Schübeler, P., Wehrle, K., y Christen, J. (1996). Urban management and infrastructure (Collaborative Programme on Municipal Solid Waste Management in Low-Income Countries). Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management. <http://documents.banquemondiale.org/curated/fr/829601468315304079/pdf/400960Municipal1te0framework01PUBLIC.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2009). Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal 2009-2014. En *Gac. Of. del Dist. Fed.* (Vol. 17, pp. 25–133). <http://www.ordenjuridico.gob.mx/Documentos/Estatal/Distrito>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2016). PGIRS 2016-2020. <http://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México. (2021). Residuos sólidos. Programas. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>
- Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno de la Ciudad de México. (2020). Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México 2019. <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/inventarioderesiduossolidos-ciudademexico-2019.pdf>
- Secretaria del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal. (2015, julio 8). Norma ambiental para el Distrito Federal nadf-024-ambt-2013. *Gaceta oficial del Distrito Federal*, 22–43.
- Secretaría del Medio Ambiente del la Ciudad de México. (2015, julio). Norma ambiental para el distrito federal 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 Feder. *Gac. Of. del Dist. Fed.*, 22–43.
- Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2004, octubre 20). 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. *Diario Oficial de la Federación*, 6–19. <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD02/nom-083.pdf>

The World Bank. (2018). GDP per capita, Atlas method (current US\$). En The World Bank (p. 1).
<https://data.worldbank.org/indicator/NY.GDP.PCAP.CD?end=2017&locations=MX&start=20>

11

Tsydenova, Morillas, Hernández, Soria, Wilches, y Pehlken. (2019). Feasibility and Barriers for Anaerobic Digestion in Mexico City. *Sustainability*, 11(15), 4114.
<https://doi.org/10.3390/su11154114>

United Nations. (2017). World urbanization prospects: The 2009 revision. UN.
https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/18401/World_Urbanization_prospects_2009_Revision.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Van De Klundert, A., y Anschütz, J. (2001). Integrated Sustainable Waste Management -the Concept (Anne Scheinberg (ed.); 1a ed.). WASTE.

Wilson D. C. (2007). Development drivers for waste management. *Waste Management and Research*, 25(3), 198–207. <https://doi.org/10.1177/0734242X07079149>

Wilson, D. C., Rodic, L., Cowing, M. J., Velis, C. A., Whiteman, A. D., Scheinberg, A., Vilches, R., Masterson, D., Stretz, J., y Oelz, B. (2015). ‘Wasteaware’ benchmark indicators for integrated sustainable waste management in cities. *Waste Management*, 35, 329–342.
<https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2014.10.006>

Yang, Y. (2018). Assessment of the Wasteaware Indicator for Selected Cities in the US and China. Columbia University.

Anexos

A1. Cálculo de Indicadores de los Componentes físicos

| Indicador | Descripción |
|--|---|
| 1.1 Cobertura de recolección | La cobertura de recolección representa la proporción en porcentaje de los RSU recolectados entre los RSU generados en la ciudad. |
| 1.2 Residuos capturados por el sistema | Los residuos capturados por el sistema representan la proporción en porcentaje de RSU que se entregan a una instalación oficial de tratamiento, reciclaje, o disposición final entre el total de RSU generados en la ciudad. |
| 1.C Calidad del servicio de recolección | Este es un indicador cualitativo compuesto que incluye los criterios 1C.1-1.C6. 1.C1 Presencia de RSU alrededor de las paradas de recolección o contenedores, 1C.2 Presencia de RSU acumulados en los puntos de recolección o contenedores desbordados., 1C.3 Presencia de tiradores clandestinos, 1C4 Controles ambientales apropiados en la recolección, 1C5 Adecuada implementación y supervisión de la recolección, 1C.6 Uso apropiado del Equipo de Protección Personal (EPP) en la recolección. Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |
| 2 Tratamiento y disposición final controlada | Es la proporción en porcentaje de RSU que se tratan en una instalación entre el total de RSU destinados a tratamiento o disposición final. |
| 2E Calidad en el tratamiento y disposición final controlada. | Se trata de un indicador cualitativo compuesto que incluye los criterios 2E.1-2E.6. El criterio 2E.1 se centra en la recepción de residuos y la gestión general de los emplazamientos; 2E.2 en los procesos específicos de tratamiento y eliminación de residuos y los procedimientos operativos para su uso adecuado; y 2E.3 se centra en los controles ambientales. El criterio 2E.4 evalúa la eficiencia de la generación y el uso de energía. Los dos últimos criterios se centran en la competencia técnica (2E.5) y en la salud y la seguridad en el trabajo (2E.6). Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |

| | |
|----------------------------|---|
| 3 Tasa de reciclaje | Es la proporción en porcentaje del reciclaje de RSU y tratamiento de residuos orgánicos entre el total de los que se genera. El reciclaje en este documento representa una colección de actividades públicas y privadas, formales e informales que resultan en desviar materiales de la eliminación y recuperarlos para devolverlos a un uso productivo. Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |
| 3R Calidad en el Reciclaje | Este es un indicador cualitativo compuesto que se compone marcando los criterios 3R.1- 3R.6 a continuación. Los dos primeros criterios se centran en la calidad del reciclado, para los materiales reciclables secos (3R.1) y para los productos orgánicos (3R.2). El criterio 3R.3 evalúa el enfoque político y práctico en la «parte superior de la jerarquía»: para una ciudad generadora de residuos más alta, esto significa reducción y reutilización, mientras que para las ciudades que generan menos residuos, se trata principalmente de una desviación hacia el reciclaje. El criterio 3R.4 reconoce el papel del «sector comunitario» en los países de renta alta y del sector informal del reciclaje en los países de renta media y baja. Los dos últimos criterios se centran en la protección del medio ambiente (3R.5) y la salud y la seguridad (3R.6). Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |

Fuente: (Wilson et al., 2015)

A2. Cálculo de los Indicadores de gobernanza

| Indicador | Descripción |
|--|--|
| 4U Inclusividad del usuario | Se trata de un indicador cualitativo compuesto que marca los criterios 4U.1-4U.6. El criterio 4U.1 Evalúa en qué medida todos los ciudadanos, independientemente de su nivel de ingresos, reciben un buen servicio. Los tres criterios siguientes se centran en evaluar el grado en que los usuarios, o usuarios potenciales, de los servicios de desechos sólidos participan en la planificación, formulación de políticas, implementación y evaluación de esos servicios. Los dos últimos criterios abordan aspectos complementarios de la sensibilización y educación del público: 4U.5 evalúa el nivel de actividad y 4U.6 su efectividad en el logro del cambio de comportamiento deseado. |
| 4P Inclusión de los proveedores | Este es un indicador cualitativo compuesto que marca los criterios 4P.1-4P.5 a continuación. El criterio 4P.1 evalúa la presencia de instrumentos jurídicos que permiten a los sectores público y privado participar en la prestación de servicios estables de gestión de residuos. Los criterios 4P.2 y 4P.3 se centran a su vez en la representación del sector privado y el reconocimiento del papel de los sectores no estructurado y comunitario, respectivamente. El criterio 4P.4 examina el "equilibrio" entre los intereses de los sectores público y privado, de modo que ninguna de las partes se vea indebidamente beneficiada sobre la otra; mientras que 4P.5 evalúa el proceso de licitación real. Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |
| 5F Sustentabilidad Financiera | Representa el grado en que el servicio de gestión de residuos sólidos de una ciudad es financieramente sostenible. Este es un indicador cualitativo compuesto que marca los criterios 5F.1-5F.6 a continuación. El criterio 5F.1 evalúa los procedimientos transparentes de contabilidad de costos; 5F.2 la adecuación del presupuesto total, independientemente de la fuente de ingresos; 5F.3 recuperación de los costos locales de los hogares; 5F.4 asequibilidad de las tasas de uso; 5F.5 cobertura de los costos de eliminación, centrándose en la medida en que la eliminación tiene un "precio"; 5F.6 la capacidad de reunir capital para la inversión |
| 6N Congruencia con el marco legal nacional | Este es un indicador cualitativo compuesto marcando los criterios 6N.1-6N.6 a continuación. Los criterios abarcan la legislación básica y los reglamentos de aplicación (6N.1); una estrategia nacional aprobada y reciente y políticas claras (6N.2); directrices para el gobierno local sobre la aplicación (6N.3); la designación y capacidad de una única autoridad nacional responsable de la gestión de los desechos sólidos (6N.4); el organismo regulador del medio ambiente (6N.5); y la medida en que las empresas responsables de los productos que se convierten en residuos sólidos comparten los costos de su gestión a través de la responsabilidad ampliada del productor (6N.6). Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |
| 6 L Instrumentos locales coherentes | Este es un indicador cualitativo compuesto que marca los criterios 6L.1-6L.6 a continuación. 6L1 Estructura organizativa, 6L2 Capacidad institucional, 6L3 Planificación estratégica a nivel de ciudad, 6L4 Disponibilidad y calidad de los datos, 6L5 Control de la gestión y 6L6 supervisión de la prestación de servicios y la cooperación intermunicipal. Cada uno de estos criterios se evalúa cada uno en una escala de Likert (0-20) y al final se obtiene la proporción en porcentaje de un resultado máximo posible de 120. |

Fuente: (Wilson et al., 2015)

A3. Escalas de valorización indicadores.

| Componente | Indicador | Nivel de Desempeño | | | | |
|--|--|--------------------|------------|----------|------------|------------|
| | | Bajo | Medio Bajo | Medio | Medio Alto | Alto |
| Protección a la Salud | 1.1 Cobertura de la Recolección | 0 a 49% | 50 a 69% | 70 a 89% | 90 a 98 % | 99 a 100% |
| | 1.2 RSU captados por el sistema | | | | | |
| | 1.C Calidad del servicio de Recolección de RSU | 0 a 19% | 20 a 39% | 40 a 59% | 60 a 79% | 80 a 100 % |
| Protección Ambiental | 2 Tratamiento y disposición final controlada | 0 a 49% | 50 a 74% | 75 a 84% | 85 a 94% | 95 a 100% |
| | EJE Calidad Enel tratamiento y disposición final controlada | 0 a 19% | 20 a 39% | 40 a 59% | 60 a 79% | 80 a 100 % |
| Valorización de RSU 3R's | 3 Tasa de reciclaje | 0 a 9% | 10 a 24% | 24 a 44% | 45 a 64% | Más de 65% |
| | 3R Calidad del reciclaje | | | | | |
| Inclusión | 4U Inclusión de usuarios | | | | | |
| | 4P Inclusión de proveedores | 0% a 19% | 20 a 39% | 40 a 59% | 60 a 79% | 80 a 100 % |
| Sustentabilidad Financiera | 5F Sustentabilidad Financiera | | | | | |
| Fortaleza Institucional, Políticas Públicas. | 6N Congruencia con el marco legal nacional en el manejo de RSU | | | | | |
| | 6L Instrumentos locales coherentes | | | | | |

Fuente: (Wilson et al., 2015)