



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
AMBIENTAL – RESIDUOS PELIGROSOS

PLAN DE MANEJO DE JUGUETES PLÁSTICOS SIN  
DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS PARA LA CIUDAD DE MÉXICO

TESIS

QUE PARA OPTAR EL GRADO DE  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:

I. A. SAMUEL DÍAZ JAIMES

TUTOR PRINCIPAL:

DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ, F. I. UNAM

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA, I. I. UNAM

M. I. A. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS, F. Q. UNAM



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

---

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DRA. CARMEN DEL PILAR TELLO ESPINOZA

Secretario: DRA. MARÍA NEFTALÍ ROJAS VALENCIA

Vocal 1: M. en C. PATRICIA ROMERO MARES

Vocal 2: M. I. A. LANDY IRENE RAMÍREZ BURGOS

Vocal 3: DRA. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

Lugar donde se realizó la tesis: Facultad de Ingeniería, UNAM

**TUTOR DE TESIS:**

Dra. GEORGINA FERNÁNDEZ VILLAGÓMEZ

---

Firma

---

## AGRADECIMIENTOS

Al posgrado de Ingeniería de la UNAM, por darme la oportunidad de crecer como persona y profesionalmente en la Universidad más importante del país siendo reconocida a nivel internacional, la UNAM.

A CONACYT y el Sistema de Becas de Posgrados de Excelencia por el financiamiento que me otorgaron durante toda la maestría.

A mi tutora, la Dra. Georgina Fernández Villagómez, por el apoyo brindado y su guía en la realización de este proyecto.

A los miembros del jurado para el examen de grado: Dra. Neftalí Rojas Valencia, Mtra. Landy I. Ramírez Burgos, Mtra. Patricia Romero Mares y Dra. Carmen del Pilar Tello Espinoza; quienes con su apoyo y amplio conocimiento se logró mejorar este documento.

A la Dra. Ana Elisa Silva Martínez por su apoyo brindado con el espectrofotómetro de AA utilizado para la determinación de concentración de plomo en los lixiviados.

A la Dra. Icela Dagmar Barceló Quintal y la Ing. Quím. Claudia Hernández Ambrosio por permitirme desarrollar las pruebas con el equipo de Espectrometría de Infrarrojo (FTIR-ATR), del área Química y Físicoquímica Ambiental y el laboratorio Perkin Elmer respectivamente, para la determinación de plásticos en los juguetes.

Al Mtro. Francisco Sánchez Pérez por permitirme realizar las pruebas de intemperismo acelerado en el laboratorio de Corrosión perteneciente a la DIMEI de la Facultad de Ingeniería.

Al Mtro. Constantino Gutiérrez Palacios, por su apoyo con el lisímetro donde se realizaron las pruebas presuntivas en los lisímetros.

A la Biol. Livia Sánchez porque me apoyó y aconsejó siempre durante el trabajo de laboratorio para realizar este proyecto.

Al Lic. Enrique Montes Vega, Director del Centro Ecológico de Manejo Integral de Residuos de Querétaro (CEMIRQ), quien me permitió desarrollar las pruebas en el relleno sanitario, así como a su equipo de trabajo, Lic. Iván Reséndiz y al Ing. Víctor Hugo Lugo, quienes con su apoyo brindado se construyeron las celdas para las pruebas dentro del relleno sanitario CEMIRQ.

MIL GRACIAS

---



---

CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| Índice de tablas .....  | vi        |
| Índice de figuras .....   | vii       |
| Acrónimos y siglas .....  | ix        |
| <br>  |           |
| <b>Capítulo 1. INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Justificación.....  | 1         |
| 1.2 Objetivo general.....   | 2         |
| 1.3 Objetivos específicos .....   | 2         |
| 1.4 Alcances y limitaciones.....  | 2         |
| 1.5 Hipótesis.....  | 3         |
| <b>Capítulo 2. MARCO TEÓRICO .....</b>  | <b>4</b>  |
| 2.1 Los plásticos.....  | 4         |
| 2.1.1 Clasificación de plásticos .....  | 4         |
| 2.1.2 Degradación de plásticos .....  | 7         |
| 2.2 Producción de plásticos en México y a nivel mundial.....                      | 12        |
| 2.3 Producción de juguetes plásticos en México y en el ámbito internacional.....  | 15        |
| 2.4 Generación de residuos sólidos urbanos .....                                  | 19        |
| 2.4.1 América Latina y el Caribe .....  | 19        |
| 2.4.2 México.....   | 20        |
| 2.4.3 Ciudad de México .....  | 22        |
| 2.5 Los residuos plásticos y su repercusión en la salud humana y ambiente.....    | 26        |
| <b>Capítulo 3. MARCO JURÍDICO .....</b>   | <b>31</b> |
| 3.1 Legislación internacional .....   | 31        |
| 3.1.1 Convenio de Basilea .....   | 31        |
| 3.1.2 Acuerdo Global de la Nueva Economía del Plástico .....                      | 31        |
| 3.1.3 Economía circular de plásticos en Europa.....                               | 32        |
| 3.1.4 Guías Ambientales para el Sector Plástico de Colombia .....                 | 32        |
| 3.1.5 Normatividad en juguetes .....  | 33        |
| 3.2 Legislación en México.....  | 34        |
| 3.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.....                  | 34        |
| 3.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente..... | 34        |

---

|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.....                  | 34        |
| 3.2.4 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos..... | 35        |
| 3.2.5 Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011 .....                                      | 35        |
| 3.2.6 Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011 .....  | 37        |
| 3.2.7 Norma Mexicana NMX-E-232-CNCP-2011 .....  | 37        |
| 3.3 Legislación en la Ciudad de México.....   | 39        |
| 3.3.1 Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal .....                    | 39        |
| 3.3.2 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.....                                       | 40        |
| 3.3.3 Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal.....                      | 41        |
| 3.3.4 Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México .....     | 41        |
| 3.3.6 NADF-024-AMBT-2013 .....  | 42        |
| <b>Capítulo 4. METODOLOGÍA.....</b>   | <b>43</b> |
| 4.1 Caracterización de los juguetes.....  | 43        |
| 4.2 Pruebas en lisímetros.....  | 44        |
| 4.3 Pruebas en la cámara de intemperismo acelerado.....                                       | 46        |
| 4.4 Pruebas en el relleno sanitario .....   | 47        |
| 4.4.1 Localización del relleno sanitario .....  | 48        |
| 4.4.2 Parámetros climatológicos de la zona de estudio .....                                   | 48        |
| 4.4.3 Cálculo de la producción de lixiviados .....  | 49        |
| 4.4.4 Construcción de celdas en el relleno sanitario .....                                    | 51        |
| 4.4.5 Diseño de experimento de los juguetes en el relleno sanitario.....                      | 51        |
| 4.5 Elaboración y aplicación de encuestas.....  | 55        |
| <b>Capítulo 5. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN .....</b>  | <b>56</b> |
| 5.1 Resultados de las pruebas de caracterización de tipos de plástico .....                   | 56        |
| 5.2 Resultados de pruebas en lisímetros.....  | 63        |
| 5.2.1 Concentración de plomo en lixiviados .....  | 63        |
| 5.2.2 Degradación de plásticos .....  | 66        |
| 5.3 Resultados de pruebas de la cámara de intemperismo acelerado.....                         | 67        |
| 5.3.1 Degradación de plásticos .....  | 67        |
| 5.4 Resultados de las pruebas en el relleno sanitario.....                                    | 70        |
| 5.4.1 Concentración de plomo en lixiviados .....  | 70        |
| 5.4.2 Degradación de plásticos .....  | 72        |
| 5.5 Resultados de la aplicación de encuestas .....  | 83        |

---

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Capítulo 6. PLAN DE MANEJO</b> .....  | 89  |
| 6.1 Información general .....  | 89  |
| 6.1.1 Nombre del Solicitante .....   | 89  |
| 6.1.2 Modalidad del Plan de Manejo .....   | 89  |
| 6.1.3 Residuos objeto del Plan .....   | 89  |
| 6.2 Diagnóstico del residuo .....  | 90  |
| 6.2.1 Cantidad estimada y principales fuentes potenciales de generación .....  | 90  |
| 6.2.2 Fuentes potenciales de generación .....  | 90  |
| 6.2.3 Principales materiales que componen el residuo.....  | 91  |
| 6.2.4 Manejo actual del residuo .....  | 91  |
| 6.2.5 Problemática ambiental .....   | 92  |
| 6.2.6 Identificación del uso y aprovechamiento potencial de los residuos en otras actividades productivas ...  | 92  |
| 6.3 Formas de manejo integral propuestas para el residuo .....   | 92  |
| 6.3.1 Generación del residuo.....  | 92  |
| 6.3.2 Recolección de los residuos.....   | 93  |
| 6.3.3 Tratamiento de los residuos y aprovechamiento.....   | 96  |
| 6.3.4 Destino final .....  | 98  |
| 6.4 Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo .....                         | 98  |
| 6.5 Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional .....   | 99  |
| 6.6 Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo. .... | 99  |
| <b>Capítulo 7. CONCLUSIONES</b> .....  | 100 |
| <b>Capítulo 8. RECOMENDACIONES</b> .....   | 101 |
| <b>REFERENCIAS</b> .....   | 102 |
| <b>ANEXOS</b> .....  | 111 |

---

---



---

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 2.1</b> Principales familias de los plásticos .....   | 4  |
| <b>Tabla 2.2</b> Propiedades generales de los termoplásticos .....   | 7  |
| <b>Tabla 2.3</b> Degradación térmica de polímeros .....  | 8  |
| <b>Tabla 2.4</b> Producción escisiones de la cadena principal y entrecruzamiento intermolecular de varios polímeros, irradiados por radiación de baja Transferencia de Energía Lineal (TEL) a temperatura ambiente, en el vacío o en presencia de gas inerte ..... | 9  |
| <b>Tabla 2.5</b> Estabilidad de polímeros seleccionados frente a los agentes solvolíticos .....  | 10 |
| <b>Tabla 2.6</b> Resistencia de los polímeros típicos a los solventes, a temperatura ambiente, basada en ensayos de inmersión .....  | 11 |
| <b>Tabla 2.7</b> Composición de los residuos sólidos municipales generados en países y ciudades seleccionados (porcentaje) ..  | 20 |
| <b>Tabla 2.8</b> Composición de Residuos Sólidos Urbanos en México 2012 y 2020.....  | 21 |
| <b>Tabla 2.9</b> Composición de la fracción de plásticos por tipo de polímero dentro de los RSU (%) .....  | 27 |
| <b>Tabla 3.1</b> Normatividad internacional en juguetes.....   | 33 |
| <b>Tabla 3.2</b> Límites máximos permisibles de metales pesados en juguetes. ....  | 37 |
| <b>Tabla 3.3</b> Tipos de plástico reciclable y sus características .....  | 38 |
| <b>Tabla 4.1</b> Técnicas para determinar parámetros de la caracterización de juguetes plásticos .....   | 43 |
| <b>Tabla 4.2</b> Clasificación de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos .....   | 44 |
| <b>Tabla 4.3</b> Asignación de juguetes en los lisímetros.....   | 44 |
| <b>Tabla 4.4</b> Peso de juguetes y FORSU en lisímetros.....   | 45 |
| <b>Tabla 4.5</b> Técnicas para determinar parámetros de las pruebas en lisímetros.....   | 46 |
| <b>Tabla 4.6</b> Técnicas para determinar parámetros de la prueba en cámara de intemperismo acelerado.....   | 47 |
| <b>Tabla 4.7</b> Parámetros promedio hidrometeorológicos de estación meteorológica IEZEQUIEL2 .....  | 49 |
| <b>Tabla 4.8</b> Distribución de juguetes y testigos en celdas.....  | 52 |
| <b>Tabla 4.9</b> Técnicas para determinar parámetros en la prueba del relleno sanitario .....  | 54 |
| <b>Tabla 5.1</b> Características físicas de los juguetes .....   | 56 |
| <b>Tabla 5.2</b> Muestras tomadas para caracterización de juguetes .....   | 56 |
| <b>Tabla 5.3</b> Principales grupos y sus vibraciones del plástico SAN en el espectro FTIR-ATR .....   | 57 |
| <b>Tabla 5.4</b> Principales grupos y sus vibraciones del PVC en el espectro FTIR-ATR.....   | 58 |
| <b>Tabla 5.5</b> Principales grupos y sus vibraciones del DEHP en el espectro FTIR-ATR.....  | 58 |
| <b>Tabla 5.6</b> Principales grupos y sus vibraciones del PVC y PVAc en el espectro FTIR-ATR .....   | 59 |
| <b>Tabla 5.7</b> Principales grupos y sus vibraciones del ABS en el espectro FTIR-ATR .....  | 61 |
| <b>Tabla 5.8</b> Principales grupos y sus vibraciones del PE en el espectro FTIR-ATR .....   | 62 |
| <b>Tabla 5.9</b> Características del plástico de los juguetes .....  | 62 |
| <b>Tabla 5.10.</b> Valores de los parámetros típicos encontrados en lixiviados .....   | 65 |
| <b>Tabla 5.11</b> Absorbancias de concentración de plomo en lixiviados de los lisímetros .....   | 66 |
| <b>Tabla 5.12</b> Diferencia de pesos de los juguetes plásticos en la prueba con lisímetros.....   | 66 |
| <b>Tabla 6.1</b> Características del residuo .....   | 89 |
| <b>Tabla 6.2</b> Composición de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos .....   | 91 |
| <b>Tabla 6.3.</b> Identificación de contenedores de juguetes plásticos reciclables .....   | 93 |
| <b>Tabla 6.4</b> Empresas de recolección de residuos plásticos autorizadas por la SEDEMA .....   | 94 |
| <b>Tabla 6.5</b> Centros de acopio y reciclaje registrados en la SEDEMA .....  | 96 |
| <b>Tabla 6.6</b> Metas del Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.....   | 98 |

---



---



---

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 2.1</b> A) Polímero lineal y B) polímero ramificado con su respectivo ejemplo .....   | 5  |
| <b>Figura 2.2</b> Estructura de un homopolímero constituido de un mismo monómero .....  | 5  |
| <b>Figura 2.3</b> Tipos de estructuras de copolímeros.....  | 6  |
| <b>Figura 2.4</b> Producción de materiales plásticos a nivel mundial.....   | 13 |
| <b>Figura 2.5</b> Porcentaje de demanda y usos de materiales plásticos.....   | 14 |
| <b>Figura 2.6</b> Rendimiento de ventas del mercado de juguetes en 2017 por país. / Rendimiento de ventas por categoría de juguetes en 2018. ....                           | 16 |
| <b>Figura 2.7</b> Composición de los RSU recolectados valorizables (ton/d) .....  | 22 |
| <b>Figura 2.8</b> Cantidades generadas y porcentajes de residuos inorgánicos con potencial de aprovechamiento. Fuente: elaboración propia con datos de SEDEMA, 2018. ....   | 23 |
| <b>Figura 2.9</b> Toneladas y porcentaje de generación diaria de residuos de planes de manejo. ....   | 23 |
| <b>Figura 2.10</b> Toneladas y porcentaje de acopio de residuos especiales en el programa de “Mercado de trueque”.....  | 25 |
| <b>Figura 2.11</b> Cantidad de plásticos acopiados en Programa PLASTlanguis 2015-2019 / Porcentaje de plásticos recolectados en PLASTlanguis 2018. ....                     | 26 |
| <b>Figura 4.1</b> Diagrama de flujo de metodología general del trabajo de tesis .....   | 43 |
| <b>Figura 4.2</b> Espectrofotómetro FTIR-ATR Spectrum Two / Espectrofotómetro FTIR-ATR Nicolet iS10.....  | 44 |
| <b>Figura 4.3</b> A) Lisímetro con juguete superhéroe, B) Lisímetro con juguete muñeco bebé, C) Lisímetro con juguete muñeca Barbie, D) Lisímetro con juguete luchador..... | 45 |
| <b>Figura 4.4</b> Colocación de lisímetros .....  | 45 |
| <b>Figura 4.5</b> Espectrofotómetro de AA GB Avanta / Espectrofotómetro Hach DR2000 / Medidor de Oxígeno disuelto YSI 5846  |    |
| <b>Figura 4.6</b> A) Equipo utilizado para la prueba, B) Juguetes dentro de la cámara .....   | 47 |
| <b>Figura 4.7</b> Ubicación del CEMIRQ .....  | 48 |
| <b>Figura 4.8</b> A) Vista frontal de la celda, B) vista lateral de la celda, C) Vista aérea de la celda.....   | 51 |
| <b>Figura 4.9</b> Construcción de celdas / Recubrimiento de celdas / Lona de identificación de proyecto.....  | 52 |
| <b>Figura 4.10</b> Equipo multiparamétrico Oakton PC450 .....   | 54 |
| <b>Figura 4.11</b> Toma y conservación de muestras de las celdas del relleno sanitario.....   | 55 |
| <b>Figura 5.1</b> Espectro infrarrojo del juguete A .....   | 56 |
| <b>Figura 5.2</b> Espectro infrarrojo de juguete B.....   | 57 |
| <b>Figura 5.3</b> Espectro infrarrojo de rostro del juguete C .....   | 59 |
| <b>Figura 5.4</b> Espectro infrarrojo del brazo del juguete C .....   | 60 |
| <b>Figura 5.5</b> Espectro infrarrojo de la pierna del juguete C .....  | 60 |
| <b>Figura 5.6</b> Espectro infrarrojo del torso del juguete C .....   | 61 |
| <b>Figura 5.7</b> Espectro infrarrojo del juguete D.....  | 62 |
| <b>Figura 5.8</b> Valores de pH de cada lisímetro por 12 meses .....  | 63 |
| <b>Figura 5.9</b> Comportamiento de DBO <sub>5</sub> de lisímetros en los meses analizados.....   | 63 |
| <b>Figura 5.10</b> Comportamiento de DQO de lisímetros en los meses analizados.....   | 64 |
| <b>Figura 5.11</b> Etapas en la formación de lixiviados.....  | 64 |
| <b>Figura 5.12</b> Cambios en la coloración de los juguetes en la prueba dentro de los lisímetros .....   | 67 |
| <b>Figura 5.13</b> Masa del juguete superhéroe en la prueba de intemperismo .....   | 67 |
| <b>Figura 5.14</b> Masa del juguete muñeco bebé en la prueba de intemperismo .....  | 68 |
| <b>Figura 5.15</b> Masa del juguete muñeca Barbie en la prueba de intemperismo .....  | 68 |
| <b>Figura 5.16</b> Masa del juguete luchador en la prueba de intemperismo .....   | 69 |
| <b>Figura 5.17</b> Comportamiento del promedio de la DBO <sub>5</sub> de las celdas en los meses analizados .....   | 70 |

---

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 5.18</b> Comportamiento del promedio de la DQO de las celdas en los meses analizados .....   | 70 |
| <b>Figura 5.19</b> Promedio de absorbancia de la concentración de plomo en los lixiviados de las celdas .....                                | 71 |
| <b>Figura 5.20</b> Comparación de pesos promedio (27 observaciones) de las repeticiones del juguete A en las celdas .....                    | 72 |
| <b>Figura 5.21</b> Comparación de pesos promedio (19 observaciones) de las repeticiones del juguete B en las celdas .....                    | 73 |
| <b>Figura 5.22</b> Comparación de pesos promedio (27 observaciones) de las repeticiones de los juguetes C en celdas .....                    | 73 |
| <b>Figura 5.23</b> Comparación de los pesos promedio (600 observaciones) de las repeticiones de juguete D en celdas .....                    | 74 |
| <b>Figura 5.24</b> Coloración de plásticos antes y después de la prueba en celdas del relleno sanitario .....                                | 75 |
| <b>Figura 5.25</b> Comparación de espectros IR del juguete con plástico SAN en cada prueba .....   | 76 |
| <b>Figura 5.26</b> Comparación de espectros IR del juguete con plástico PVC en cada prueba .....   | 77 |
| <b>Figura 5.27</b> Comparación de espectros IR del rostro del juguete con PVC/PVAc en cada prueba .....                                      | 78 |
| <b>Figura 5.28</b> Comparación de espectros IR del brazo del juguete con PVC/PVAc en cada prueba .....                                       | 79 |
| <b>Figura 5.29</b> Comparación de espectros IR de la pierna del juguete con PVC/PVAc en cada prueba .....                                    | 80 |
| <b>Figura 5.30</b> Comparación de espectros IR del torso del torso del juguete con ABS en cada prueba .....                                  | 81 |
| <b>Figura 5.31</b> Comparación de espectros IR del juguete con PE en cada prueba .....   | 82 |
| <b>Figura 5.32</b> Porcentaje de encuestados con base en su residencia .....   | 83 |
| <b>Figura 5.33</b> Porcentajes de hombres y mujeres que se les aplicó la encuesta .....  | 84 |
| <b>Figura 5.34</b> Porcentaje de juguetes consumidos por los encuestados .....   | 84 |
| <b>Figura 5.35</b> Porcentaje de quienes reciben los juguetes de plástico consumidos por los encuestados .....                               | 85 |
| <b>Figura 5.36</b> Porcentaje de consumo de juguetes .....   | 85 |
| <b>Figura 5.37</b> Porcentaje de lugares donde compran juguetes los encuestados .....  | 86 |
| <b>Figura 5.38</b> Porcentaje del manejo de los juguetes plásticos dañados o en desuso .....   | 86 |
| <b>Figura 5.39</b> Porcentaje de frecuencia que deposita en residuos los juguetes plásticos por los encuestados .....                        | 87 |
| <b>Figura 5.40</b> Porcentaje de población que considera el adecuado manejo de los juguetes dañados .....                                    | 87 |
| <b>Figura 5.41</b> Porcentaje de población que llevaría a reciclaje los juguetes plásticos .....   | 88 |
| <b>Figura 6.1</b> Juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, de izquierda a derecha: superhéroe, muñeco bebé, muñeca y luchador ..... | 90 |

---

## ACRONIMOS Y SIGLAS

|        |   |
|--------|---|
| ABC    | Acrilonitrilo butadieno estireno  |
| AMIJU  | Asociación Mexicana del Juguete   |
| CEDA   | Central de Abasto de la Ciudad de México                                |
| COP    | Compuesto Orgánico Persistente  |
| DOF    | Diario Oficial de la Federación   |
| EE.UU. | Estados Unidos de América   |
| EVA    | Copolímero de etilvinil acetato   |
| IEA    | International Energy Agency   |
| INECC  | Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático                       |
| INEGI  | Instituto Nacional de Estadística y Geografía                           |
| K350   | Tasa de volatilización, es decir, pérdida de peso a 350 °C              |
| LGEEPA | Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente        |
| LPGIR  | Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos       |
| MUJAM  | Museo del Juguete Antiguo Mexicano                                      |
| NPD    | Diario Nacional de Compras  |
| NOAA   | Administración Nacional Oceánica y Atmosférica                          |
| ONU    | Organización de las Naciones Unidas                                     |
| PBDE   | Polibromodifenil éteres   |
| PC     | Policarbonato   |
| PEAPM  | Plastic Europe Association of Plastics Manufactures                     |
| PET    | Politereftalato de etileno  |
| PA     | Poliamida   |
| PEHD   | Polietileno de alta densidad  |
| PELD   | Polietileno de baja densidad  |
| PEMD   | Polietileno de mediana densidad   |
| PNUMA  | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente                  |
| PNPGIR | Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos |

---

|          |   |
|----------|---|
| PGIRS    | Programa de Gestión Integral de Residuos Sólidos de la Ciudad de México |
| PP       | Polipropileno   |
| PS       | Poliestireno  |
| PUR      | Poliuretano   |
| PVC      | Cloruro de polivinilo   |
| PVDC     | Cloruro de polivinilideno   |
| RSU      | Residuos Sólidos Urbanos  |
| SAN      | Estireno acrinonitrilo  |
| SEMARNAT | Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales                       |
| SEDEMA   | Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México                    |
| TLCAN    | Tratado de Libre Comercio de América del Norte                          |
| USEPA    | Agencia de Protección al Ambiente de Estados Unidos de América          |
| UNEP     | Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente                        |

---

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 Justificación

El acelerado crecimiento del volumen de residuos de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos en casas-habitación, vertederos y rellenos sanitarios genera impactos al cambio climático, daños en la salud, cuerpos de agua y daños eco-toxicológicos que redundan en la disminución de la sustentabilidad de los habitantes, en este caso, de la Ciudad de México.

En 2018, se generaron 13,073 toneladas al día de residuos sólidos urbanos en la Ciudad de México según la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA). Entre los residuos que se depositan diariamente en la Ciudad de México, los plásticos representan el 11% (ANIPAC, 2018), incluyendo juguetes plásticos.

En la Ciudad de México existen planes de manejo y programas para el manejo de residuos especiales, entre ellos aceite de cocina, pilas usadas, residuos electrónicos (dispositivos móviles, cables y aparatos electrónicos), lodos residuales, residuos automotrices, PET-HPDE, Tetrapack, envolturas, plásticos (botellas de PET principalmente), árboles de navidad, pero no existe una idea clara ni programas específicos que abarquen todos los plásticos generados a partir de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos utilizados por niños, niñas y jóvenes, tales como muñecas de plástico, y los llamados “superhéroes”, y que después de terminar su vida útil llegan al sistema de limpia de la Ciudad de México, donde en el mejor de los casos van a algún reciclaje, aunque no de manera formal, ya que no están identificados como un problema, ni se han colocado en la mira de los planes y programas de la Ciudad, lo que conlleva que su destino final sean los rellenos sanitarios o los sitios no formales de depósito de residuos (GOCM, 2016).

Éstas son tan sólo algunas de las razones por las que el manejo de los juguetes de plásticos (sin dispositivos electrónicos) al final de vida deben ocupar un lugar clave en la agenda ambiental de la Ciudad y su comunidad para diseñar y aplicar estrategias eficientes con la ayuda de productores, distribuidores de juguetes plásticos (sin dispositivos electrónicos), el sistema de limpia municipal y los habitantes de la Ciudad de México (GOCM, 2016).

Por otro lado, la población no siempre cuenta con información fidedigna y confiable sobre los problemas ambientales y sus soluciones, muchas de ellas deben iniciar dentro de las mismas casas-habitación y actividades diarias, por lo que existen posibles emisiones y descargas de sustancias tóxicas al medio ambiente que pueden evitarse con la segregación y gestión adecuada (GOCM, 2016).

---

En el caso particular de la Ciudad de México, es posible que cuente con una gran cantidad de juguetes plásticos (sin dispositivos electrónicos) a final de vida que pueden ser manejados por vías alternas con la ayuda de productores, distribuidores y el mismo sistema de limpia municipal para así disminuir las posibles cargas ambientales. Por lo que se propone “Desarrollar una estrategia para la concientización en el manejo sustentable de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos en desuso tomando en cuenta un diagnóstico sobre la problemática actual y sus posibles impactos al cambio climático y al ambiente en la Ciudad de México”, donde también se realizará un “Análisis de Ciclo de Vida” de los efectos al cambio climático y al ambiente debidas a los flujos finales de juguetes y su repercusión, evaluando lo que ocurriría si estos flujos finales cambian de destino y así, encontrando un mejor manejo, además proponiendo, junto con sociedad, investigadores expertos, gobierno, productores y distribuidores; un plan de manejo alternativo que ayude a disminuir los problemas ambientales derivados de la gestión actual (GOCM, 2016).

## 1.2 Objetivo general

Proponer un Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos para la Ciudad de México, considerando la NOM-161-SEMARNAT-2011, los resultados del laboratorio y los estudios en campo.

## 1.3 Objetivos específicos

- Realizar un diagnóstico sobre el manejo de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, consultando documentos técnicos, legislación internacional, nacional, y de la Ciudad de México; en formato impreso y electrónico.
- Investigar el destino de los juguetes plásticos en la Ciudad de México mediante la aplicación de encuestas a autoridades capitalinas, recicladores, consumidores y expertos, considerando su relación con el manejo de residuos sólidos urbanos.
- Determinar la degradación de los juguetes plásticos sin dispositivo electrónico para la Ciudad de México, a través de tratamientos fisicoquímicos y biológicos.

## 1.4 Alcances y limitaciones

- En el plan se considerarán únicamente muñecos y muñecas de plástico sin dispositivos electrónicos que representan seres humanos.
- Así mismo, se realizará el estudio para los siguientes muñecos con sus respectivas características: 1) luchador de plástico (PEHD): 10 cm de alto, 7.5 cm de largo, 0.02 kg de peso, colores: varios; 2)

---

superhéroe de plástico (SAN): 30 cm de alto, 10.7 de largo, 0.15 kg de peso, colores: varios; 3) muñeca Barbie (ABS y PVC/PVAc) : 30 cm de alto, 16.5 cm de largo, 0.12 kg de peso, colores: varios; y 4) muñeco bebe (PVC): 30 cm de alto, 14 cm de largo, 0.5 kg de peso, colores: varios.

- Para este trabajo se consideran como limitaciones para el tiempo de vida / degradación de los juguetes plásticos: tamaño, densidad, dureza, cantidad de piezas, materia orgánica.
- Para el proceso fisicoquímico se tiene entre otras limitaciones el tiempo de envejecimiento en la cámara de intemperismo acelerado de acuerdo con la norma ASTM G 151 y ASTM G 154, simulando un periodo de 3 años. Para el proceso biológico, el tiempo de exposición de los juguetes plásticos en el relleno sanitario fue de 10 meses, por otro lado, los juguetes en los lisímetros estuvieron por un periodo de 12 meses.
- Con el fin de obtener una mejor evaluación de los resultados, los tratamientos para los juguetes que se introdujeron en la cámara de intemperismo acelerado y en un relleno sanitario se basaron en diseños estadísticos de experimentos.

### 1.5 Hipótesis

Las condiciones anaerobias de un relleno sanitario pueden descomponer a largo plazo los plásticos con los que se elaboran los juguetes.

Los plásticos con los que se fabrican los juguetes pueden ser alterados por los parámetros de temperatura, radiación y humedad, controladas y simuladas en la cámara de intemperismo acelerado.

## Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Los plásticos

El plástico es un producto no natural que se obtiene en la industria a través de reacciones químicas. El nombre científico correcto de este compuesto es el de polímero o macromolécula y cuando se le adicionan ciertas sustancias (aditivos, cargas, etc.) que modifican sus propiedades y puede ser comercializado, se denomina plásticos. Las propiedades finales del material son muy diferentes según sea la naturaleza del producto de partida y el procedimiento seguido en su obtención. Por esta razón debe hablarse de plásticos por la diversidad existente de los mismos (Gómez y Gil, 1998). En la tabla 2.1 se presentan la familia de plásticos que existen.

**Tabla 2.1** Principales familias de los plásticos.

| Polímero        | Familia  |
|-----------------|--|
| <b>Plástico</b> | Polietileno<br>Polipropileno<br>Poliestireno<br>Cloruro de Polivinilo (PVC)<br>Politetrafluoroetileno (Teflón)<br>ABS (Lustran)<br>Poliamidas (Nylon)<br>Acrílicos (Pexiglas, Perpex, Lucite)<br>Acetatos<br>Acetatos de celulosa<br>Policarbonatos<br>Poliésteres<br>Fenólicos (Bakelita)<br>Fenólicos laminados (Fórmica)<br>Urea-melamina<br>Uretanos (Espumas)<br>Epóxicos (Araldite)<br>Siliconas |

*Fuente: Posada, 1994.*

#### 2.1.1 Clasificación de plásticos

Cedrón, Landa y Robles (2011) mencionan que los plásticos pueden ser clasificados según muchos parámetros conforme la composición de sus polímeros. A continuación se explican las principales clases de plásticos que existen, según ciertas condiciones. (Posada, 2012)

##### 2.1.1.1 Según su origen

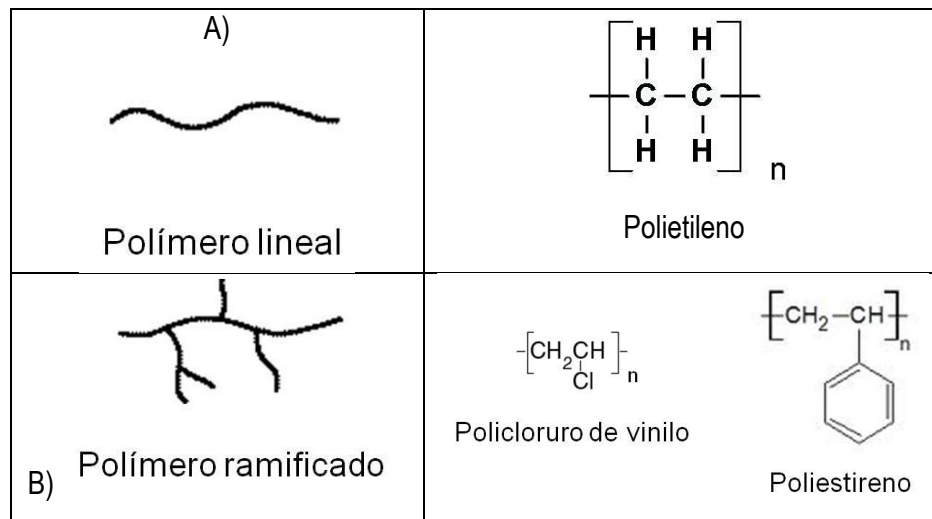
Pueden existir tres tipos de polímeros: naturales, semisintéticos y sintéticos. Los primeros existen en la naturaleza como tales, por ejemplo las biomoléculas y el caucho. Los segundos han sido obtenidos mediante la transformación



de un polímero natural, como el caucho vulcanizado. Los últimos son obtenidos industrialmente, haciendo reaccionar al monómero correspondiente.

### 2.1.1.2 Según su estructura

Un polímero puede clasificarse en lineal o ramificado dependiendo de su estructura. Por ejemplo, el polietileno, componente de las bolsas de plástico, es un polímero lineal (Ver Figura 2.1 inciso A). En este caso, los monómeros se enlazan entre sí formando una cadena carbonada continua. Los polímeros ramificados contienen grupos voluminosos fuera de la cadena principal (Ver Figura 2.1 inciso B).



**Figura 2.1** A) Polímero lineal y B) polímero ramificado con su respectivo ejemplo  
 Fuente: Elaboración propia con fórmulas estructurales de Cedrón et al., 2011.

### 2.1.1.3 Según la unión de sus monómeros

Cuando un polímero se forma por la unión de un único monómero, se denomina homopolímero, como se presenta en la figura 2.2.



**Figura 2.2** Estructura de un homopolímero constituido de un mismo monómero  
 Fuente: Cedrón et al., 2011.

Si se tiene dos tipos de monómeros diferentes, el polímero se llama copolímero. Dependiendo del orden en que se distribuyan los dos monómeros en la estructura, se puede tener un copolímero alternado, en bloque o al azar. En un copolímero alternado, los monómeros se repiten uno a continuación del otro. En un copolímero en

bloque, los monómeros de un mismo tipo están agrupados en una zona de la molécula, al igual que el otro tipo de monómeros. Por último, en un copolímero al azar, no existe ningún orden en la repetición de monómeros, como se presenta en la figura 2.3.



**Figura 2.3** Tipos de estructuras de copolímeros  
 Fuente: Cedrón et al., 2011.

#### 2.1.1.4 Según su comportamiento térmico

Los materiales polímeros se agrupan en dos grandes familias según sea su comportamiento con la temperatura. Así se clasifican en termoplásticos y en termofijos o termoestables. Un polímero termoplástico es aquel que se reblandece llegando a fluir cuando se somete a un calentamiento y vuelve a ser sólido y rígido cuando baja la temperatura. Este comportamiento permite que el plástico sea moldeado un número indefinido de veces. Por el contrario un polímero termoestable es aquel que no reblandece ni fluye por mucho que se eleve la temperatura, llega a descomponerse antes que a fluir. No pueden ser los plásticos termoestables moldeados repetidas veces por esta razón (Gómez y Gil, 1998).

Gómez y Gil (1998) describen que el comportamiento frente a la temperatura así como frente a otros agentes físicos, es consecuencia de la estructura que presentan las cadenas poliméricas entre sí. En los plásticos termoplásticos, las cadenas macromoleculares se encuentran desordenadas, enrolladas sobre sí mismas pero independientes unas de otras. Solamente las mantienen unidas fuerzas electrostáticas débiles tipo Van der Waals. En los polímeros termoestables o termofijos, las cadenas macromoleculares se encuentran unidas unas a otras tridimensionalmente por fuertes enlaces covalentes, denominándose nudos los puntos comunes a varias cadenas.

En la tabla 2.2 se presentan algunas propiedades generales de los termoplásticos.

**Tabla 2.2** Propiedades generales de los termoplásticos.

| Material                                | Densidad (g/cm <sup>3</sup> ) | Resistencia a la tracción (kgf/cm <sup>2</sup> ) | Fuerza de impacto Izod (J/m) | Fuerza dieléctrica (V/m)                  | Temperatura máxima de uso (°C) |
|---|-------------------------------|--|------------------------------|---|--------------------------------|
| <b>Polietileno</b>                      |                               |  |                              |   |                                |
| <b>Baja densidad</b>                    | 0.92-0.93                     | 63.28 – 175.8                                    |                              | 1.8x10 <sup>7</sup>                       | 82-100                         |
| <b>Alta densidad</b>                    | 0.95-0.96                     | 175.8 – 386.7                                    | 21.35 – 747.30               | 1.8x10 <sup>7</sup>                       | 80-120                         |
| <b>PVC rígido, clorado</b>              | 1.49-1.58                     | 527.3 – 632.8                                    | 53.37 – 298.92               |   | 110                            |
| <b>Polipropileno, propósito general</b> | 0.90-0.91                     | 337.5 – 386.7                                    | 21.35 – 117.43               | 2.5x10 <sup>7</sup>                       | 107-150                        |
| <b>Estireno acrilonitrilo (SAN)</b>     | 1.08                          | 703.1 – 843.7                                    | 21.35 – 26.68                | 6.9x10 <sup>7</sup>                       | 60-114                         |
| <b>ABS, propósito general</b>           | 1.05-1.07                     | 414.8  | 320.27                       | 1.5x10 <sup>7</sup>                       | 71-93                          |
| <b>Acrílico, propósito general</b>      | 1.11-1.19                     | 773.4  | 122.77                       | 1.7x10 <sup>7</sup> – 1.9x10 <sup>7</sup> | 54-110                         |
| <b>Acetato de celulosa</b>              | 1.2-1.3                       | 210.9 – 562.5                                    | 58.71 – 362.97               | 0.9x10 <sup>7</sup> – 2.3x10 <sup>7</sup> | 60-104                         |
| <b>Politetrafluoroetileno</b>           | 2.1-2.3                       | 70.31 – 281.2                                    | 133.44 – 213.51              | 1.5x10 <sup>7</sup> – 1.9x10 <sup>7</sup> | 288                            |

Fuente: modificado de Herrera, 2014.

## 2.1.2 Degradación de plásticos

A pesar de sus múltiples propiedades, los plásticos presentan degradación, que se refiere al cambio en las propiedades físicas causadas por las reacciones que escinden sus enlaces. De acuerdo con el modo de iniciación, puede ser degradación térmica, mecánica, química, fotoquímica, química radiante y biológica (Posada, 2012).

### 2.1.2.1 Degradación térmica

Posada (2012) menciona que la degradación térmica ocurre cuando el polímero, a temperaturas elevadas, empieza a experimentar cambios químicos sin la concurrencia de otras sustancias químicas. La resistencia del enlace químico limita la energía vibracional que las moléculas pueden tener antes de romperse. Como la energía vibracional aumenta con el calor, la energía relativas de enlace C-F > C-H > C-Cl explican cuantitativamente la estabilidad térmica. El resultado es la rápida reducción de la longitud media de la cadena y los cambios correspondientes en las propiedades del polímero (Véase tabla 2.3).

**Tabla 2.3** Degradación térmica de polímeros

| Polímero                               | Unidad monomérica   | Porcentaje de monómero en productos volátiles | Temperatura pico (°C) | Tasa de volatilización K350 (%/min) |
|--|---|---|-----------------------|-------------------------------------|
| <b>Politetrafluoroetileno (Teflón)</b> | $\begin{array}{c} \text{F} & & \text{F} \\   & &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   & &   \\ \text{F} & & \text{F} \end{array}$          | 100   | 509                   | $5.2 \times 10^{-6}$                |
| <b>Polietileno</b>                     | $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\   & &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   & &   \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$          | Despreciable                                  | 414                   | 0.004                               |
| <b>Polimetilmetilacrilato (lucita)</b> | $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{CH}_3 \\   & &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   & &   \\ \text{H} & & \text{COOCH}_3 \end{array}$ | 100   | 327                   | 5.2                                 |
| <b>Cloruro de polivinilo (PVC)</b>     | $\begin{array}{c} \text{H} & & \text{Cl} \\   & &   \\ \text{C} & = & \text{C} \\   & &   \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$         | Despreciable                                  | 260                   | 170                                 |

Fuente: Posada, 2012.

En general la descomposición puede ocurrir de muchas maneras. El material se puede fragilizar como resultado de la pérdida de los plastificantes; puede perder grupos laterales, se puede entrecruzar; especialmente bajo el influjo del oxígeno, o se puede reorganizar en estructuras menos estables que la original. Los vapores producidos por la degradación térmica de los plásticos son a veces desagradables, y en algunos casos, peligrosos; particularmente el cloruro de polivinilideno y el neopreno que pueden emitir pequeñas cantidades del gas tóxico fosgeno,  $\text{COCl}_2$ .

#### 2.1.2.2 Degradación por radiaciones

Las radiaciones alteran las sustancias orgánicas de distintas maneras. En el caso de los polímeros las que más comúnmente las afectan son las radiaciones de alta energía, la luz visible y ultravioleta.

- A) Radiación de alta energía. Las radiaciones de energía elevada producen cambios químicos en las sustancias orgánicas. Estos cambios incluyen: 1) Formación de enlaces químicos entre moléculas diferentes, 2) Escisión (división de enlaces químicos) irreversible dando como resultado la fragmentación de la molécula, 3) La formación y 4) Desaparición de grupos no saturados. En el caso de los polímeros, el proceso 1 da como resultado el entrecruzamiento intermolecular, mientras que el 2 la escisión irreversible, lleva a la degradación. Se puede determinar la producción química de la radiación mediante funciones G, que denotan el número de moléculas o átomos producidos o descompuestos por 100 eV de energía absorbida. G(s) designa el número de enlaces rotos en la cadena principal y G(x) las uniones intermoleculares nuevas que se forman. En la tabla 2.4 se presentan los valores de G(s) y G(x).

**Tabla 2.4** Producción escisiones de la cadena principal y entrecruzamiento intermolecular de varios polímeros, irradiados por radiación de baja Transferencia de Energía Lineal (TEL) a temperatura ambiente, en el vacío o en presencia de gas inerte.

| Polímero                        | G(s)      | G(x)  | Polímero dominante |
|---------------------------------|-----------|-------|--------------------|
| <b>Polietileno</b>              | 1.5 – 5.0 | 2.0   | Entrecruzamiento   |
| <b>Poliisobutano</b>            | 0.02      | <0.05 | Escisión           |
| <b>Poliestireno</b>             | 0.25      | 0.03  | Entrecruzamiento   |
| <b>Polimetilmetacrilato</b>     | 1.2 – 1.6 |       | Escisión           |
| <b>Politetrafluoroetileno</b>   | 0.1 – 0.2 |       | Escisión           |
| <b>Polifenilvinilcetona</b>     | 0.35      |       | Escisión           |
| <b>Polidimetilsiloxano</b>      | 0.07      | 2.3   | Entrecruzamiento   |
| <b>Poli(buteno – 1 sulfona)</b> | 12.2      |       | Escisión           |
| <b>Celulosa</b>                 | 3.3 – 6.8 |       | Escisión           |

Fuente: Posada, 2012.

B) Fotodegradación. La degradación inducida por la luz en los polímeros está relacionada con los cambios producidos por la irradiación con luz visible o ultravioleta. Uno de los prerrequisitos para que ocurra fotorreacción es la absorción de luz. Los enlaces saturados como C-C, C-H, O-H, C-Cl, etc., absorben luz de longitudes de onda inferiores a 200 nm. Los grupos carbonilos y los enlaces dobles C=C tienen máximos de absorción en las longitudes de onda entre 200 y 300 nm. Esto implica que solo un pequeño número de polímeros son capaces de absorber radiación solar, cuyo intervalo espectral está limitado a unos 300 nm. Otro prerrequisito para la reacción es la energía del fotón. Las energías de disociación de los enlaces van de 100 kcal/mol (C-C) hasta 40 kcal/mol (N-O) mientras que para un fotón cuya longitud de onda sea de 200 nm la energía es de 143 kcal/mol. Así que la escisión de los enlaces químicos es energéticamente posible, en principio. La degradación generada en estos casos puede ser oxidante o en ausencia de oxígeno, el porcentaje de escisiones de la cadena principal es bajo y se debe sobre todo a la presencia de los grupos cromofóricos, especialmente del tipo carbonilo.

### 2.1.2.3 Degradación mecánica

La degradación inducida mecánicamente tiene que ver con los efectos macroscópicos que llevan a la fractura y la deformación producidas por el influjo de fuerzas, así como los cambios químicos inducidos por los esfuerzos mecánicos. Efectos mecánicos especiales sobre polímeros son los inducidos por el ultrasonido y las temperaturas criogénicas. En la presencia de un fluido el ultrasonido produce cavitación y ondas de choque, ambos mecanismos son altamente perjudiciales para los polímeros. De otro lado, hace tiempo que se ha observado que el congelamiento produce escisión de la cadena principal de los polímeros. Esto es porque la densidad cambia

durante las transiciones de enfriamiento y esto induce deformaciones suficientes para causar la ruptura de los enlaces.

#### 2.1.2.4 Degradación química

Se refiere, en sentido estricto, exclusivamente a los procesos que son inducidos por el influjo de reactivos químicos (ácidos, bases, solventes, gases reactivos, etc.) que entren en contacto con los plásticos. En la degradación de polímeros, la hidrólisis ( $YZ = H_2O = HO - H$ ) ha recibido mucha atención. En general los materiales insolubles son atacados lentamente por el agua, en esos casos la reacción está restringida a la superficie y la habilidad del polímero para absorber agua, juega un papel importante. En la absorción de agua, ocurre una hinchazón, que en el caso de las resinas epóxicas llega a un cierto porcentaje en la saturación. El agua absorbida casi nunca se distribuye uniformemente y por esta razón, hay una distribución de tensiones internas asociadas con el atrapamiento de agua. Generalmente el mecanismo que prevalece en medios neutros o ácidos difiere del que se da en medios ácidos. En la tabla 2.5 se indica la estabilidad de los principales polímeros frente a los agentes solvolíticos (ruptura de enlaces C-X).

**Tabla 2.5** Estabilidad de polímeros seleccionados frente a los agentes solvolíticos

| Polímero                           | Medios ácidos | Medios alcalinos |
|------------------------------------|---------------|------------------|
| Polietileno                        | +             | +                |
| Polipropileno                      | +             | +                |
| Poli-1-buteno                      | +             | +                |
| Poliisobuteno                      | +             | +                |
| Poliestireno                       | +             | +                |
| Politetrafluoroetileno             | +             | +                |
| Politrifluorocloroetileno          | +             | +                |
| Polivinilfluoruro                  | +             | +                |
| Polivinilcloruro (sin plastificar) | +             | +                |
| Polivinilcloruro (plastificado)    | -             | -                |
| Polimetilmetacrilato               | -             | -                |
| Poliacrilonitrilo                  | -             | -                |
| Polioximetileno                    | -             | -                |
| Polisulfonas                       | -             | -                |
| Poliamidas                         | -             | -                |
| Policarbonatos                     | -             | -                |
| Poliuretanos                       | -             | -                |
| Fenolformaldehidos (resinas)       | +             | -                |
| Caucho natural                     | +             | +                |
| Caucho butilo                      | +             | +                |
| Poliésteres insaturados            | +             | -                |

Fuente: Posada, 2012.

Los sistemas macromoleculares constituidos por redes espaciales son insolubles pero pueden hincharse. Esto ocurre con los polímeros termoestables, donde el grado de hinchamiento depende no solamente de la extensión de la interacción entre el solvente y el polímero, sino también de la densidad de los entrecruzamientos.

La mayoría de los polímeros lineales (termoplásticos) son solubles en varios solventes como se presenta en la tabla 2.6, donde I significa insatisfactoria, L significa limitada y S significa satisfactoria.

**Tabla 2.6** Resistencia de los polímeros típicos a los solventes, a temperatura ambiente, basada en ensayos de inmersión

| Polímero               | Solvente |         |                         |         |                         |
|------------------------|----------|---------|-------------------------|---------|-------------------------|
|                        | Acetona  | Metanol | Hidrocarburos saturados | Benceno | Tetracloruro de carbono |
| <b>Poliétileno</b>     | L        | S       | I                       | I       | I                       |
| <b>Poliestireno</b>    | I        | S       | S                       | S       | S                       |
| <b>Nylon 6</b>         | S        | S       | S                       | S       | S                       |
| <b>PVC (sin plast)</b> | I        | S       | S                       | I       | I                       |
| <b>Teflón</b>          | S        | S       | S                       | S       | S                       |
| <b>Epóxicos</b>        | I        | S       | S                       | S       | L                       |
| <b>Poliéster(ins)</b>  | L        | S       | S                       | S       | S                       |
| <b>Siliconas</b>       | I        | S       | I                       | I       | I                       |

Fuente: Posada, 2012

En la intemperie son muy importantes las reacciones con el oxígeno molecular, aunque a temperatura ambiente la mayoría de los polímeros son muy estables en este sentido. Esto porque la tasa de producción de radicales, iniciadores de la reacción, es pequeña. Para que ocurra reacción con el oxígeno debe de haber algún mecanismo que inicie la producción de radicales libres, como la luz ultravioleta, la radiación gama, las tensiones mecánicas, o la acción de electricidad.

La oxidación de los polímeros generalmente muestra un periodo de incubación, el cual es importante en la reacción subsiguiente, porque a partir de entonces, la oxidación ocurre de forma auto catalítica puesto que la mayoría de los productos son más reactivos que los polímeros iniciales. La oxidación también causa, el deterioro de las propiedades físicas, pues al avanzar el proceso, se observa la disminución del peso molecular y la decoloración. En ausencia o deficiencia de oxígeno, puede ocurrir entrecruzamiento, lo cual invariablemente aumenta la rigidez, la resistencia a la fluencia lenta y la fragilidad. Más aún, los polímeros oxidados tienen menor resistencia mecánica y capacidad de aislamiento, pero mayor constante dieléctrica y electroconductividad que los no oxidados.

---

#### 2.1.2.4 Biodegradación

La mayoría de los plásticos son inmunes al ataque de microorganismos, hongos y levaduras aunque se modifiquen las condiciones ambientales de uso como la temperatura, el grado de humedad, la concentración de oxígeno, etc. Se ha comprobado que aquellos plásticos que han sufrido primeramente una fotooxidación, son vulnerables a ciertos microorganismos y a las enzimas generadas por éstos (Gómez y Gil, 1998). Para facilitar la biodegradación, suelen incorporarse al material polímeros naturales como el almidón o celulosa ya que al degradarse primeramente, dejan huecos y porosidades en el plástico que favorecen el desmoronamiento y degradación de aquellos. Estos polímeros naturales se degradan por reacciones de hidrólisis seguidas de oxidación posterior.

Hay polímeros convencionales, como el polietileno, que han tenido un compuesto metálico (por ejemplo, manganeso) para actuar como un catalizador, o pro-oxidante, para incrementar el rango de oxidación inicial y la fragmentación del material en trozos más pequeños. Algunas veces se refieren a ellos como oxodegradables u oxodegradables, su descomposición es inducida por la radiación UV o la exposición al calor en condiciones aerobias (oxidación de las cadenas largas del polímero). Sin embargo, una comisión revisora de Reino Unido publicó en 2010 que los plásticos oxodegradables no proporcionan un impacto ambiental menor comparado con los plásticos convencionales. La solución recomendada para tratar al final de uso de los plásticos oxodegradables es la incineración o relleno sanitario, la primera opción debido a su alto contenido energético y la segunda cuando existe fase de oxigenación en el relleno. Los plásticos que contienen pro-oxidantes no son recomendados para el reciclaje ya que tienen el potencial de comprometer la utilidad de los plásticos reciclados (UNEP, 2015; Thomas, Clarke, Mclauchlin y Patrick, 2010; ANIQ, 2018).

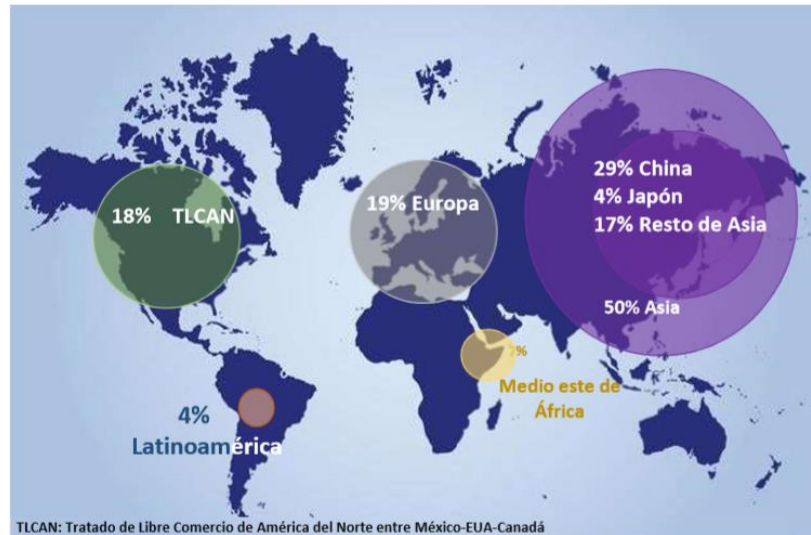
## 2.2 Producción de plásticos en México y a nivel mundial

Los plásticos tienen características generales como flexibilidad, dureza, resistencia, maleabilidad, y pueden ser excelentes barreras físicas o eléctricas y tienen facilidad para su fabricación, lo que los convierte en materiales versátiles para su producción en masa. Estos materiales pueden sustituir a los metales, la madera y otros materiales en amplitud de usos y aplicaciones. Los productos de plásticos o también conocidos como material polimérico abrieron una nueva era en la historia industrial y del diseño de productos de consumo a nivel mundial desde que los polímeros sintéticos se introdujeron por primera vez en la producción a escala industrial en la década de 1940 (Al-Salem, Lettieri y Baeyens, 2009).

Desde entonces el consumo anual mundial de plásticos se ha incrementado, para la década de 1950 fue de 5 millones de toneladas, sin embargo esta cifra se ha elevado exponencialmente, al punto de que, en 2016, se utilizaron 67 veces más esos volúmenes, llegando a 335 millones de toneladas. La región asiática produce cerca



del 50% de los materiales plásticos, donde China con 29% de la producción (ver figura 2.4), seguida del bloque comercial de la Unión Europea con 19% y el consorcio de países del TLCAN con 18% (PEAPM, 2017).



**Figura 2.4** Producción de materiales plásticos a nivel mundial.

Fuente: PEAPM, 2017.

La industria de los plásticos de EE. UU., reportó 940,000 empleos y cerca de \$427,3 mil millones de dólares en envíos durante 2014. Mientras que para la Unión Europea significó una balanza comercial positiva de cerca de 18 billones de euros para el mismo período, con una demanda interna de 47.8 billones de toneladas de plásticos y 1.4 millones de empleos (PEAPM, 2015).

La industria petroquímica convierte las materias primas de petróleo y gas natural en monómeros y bloques de construcción como etileno, propileno, aromáticos y metanol, que luego se procesan en polímeros, solventes y resinas. En la cadena de etileno existe la producción de productos intermedios y finales, como pañales, juguetes y neumáticos. Las columnas de destilación utilizan grandes cantidades de calor para la separación del producto y otros procesos a alta temperatura, como el craqueo a vapor. La electricidad se usa para ciertos procesos de conversión, como la producción de cloro, y también para bombas y procesos auxiliares (IEA, 2007). La producción de plástico requiere cuatro pasos básicos: la adquisición de materia prima, la síntesis de un polímero básico, la combinación del polímero en una fracción utilizable y, por último, el moldeado o conformación del plástico (Ahumada, Viasus y Torres, 2006).

Hopewell y colaboradores (2009) mencionan que el ocho por ciento del petróleo y el gas global se utiliza para la producción de plásticos, el 4% como materia prima y aproximadamente 4% como energía para la fabricación y transporte. Según el Portal Estadístico Industrial, en la actualidad, los plásticos se utilizan en una amplia variedad de productos y han desplazado a otros materiales, como la madera, el metal y el vidrio (ver figura 2.5).



**Figura 2.5** Porcentaje de demanda y usos de materiales plásticos.

Fuente: PEAPM, 2017.

En México, de acuerdo al INEGI (2017), el valor de producción por la fabricación de productos plásticos, para el año 2015, fue de 292 mil millones de pesos, de los cuales 26.3% correspondió a la generación de valor agregado bruto, y el porcentaje restante perteneció al total de los insumos provenientes de otras ramas necesarias para la fabricación de productos de plástico. El valor de la producción de la industria del plástico ocupó el noveno lugar de las 86 ramas de actividad que conforman las industrias manufactureras, contribuyendo con 2.8% del total; asimismo, en materia de empleo alrededor de cuatro de cada 100 puestos de trabajo en las manufacturas se ocuparon en esta industria, más de dos terceras partes fueron puestos de trabajo remunerado. Hubo 179 mil 400 puestos de trabajo remunerados requeridos en la fabricación de productos de plástico, 58.3% corresponde a la

---

categoría de obreros, 10.5% a empleados y 31.2 % del total son puestos de trabajo no dependientes de la razón social subcontratados por empresas que prestan servicios de personal a las compañías dedicadas a la producción de plásticos en sus diferentes modalidades.

En México, los principales fabricantes de resinas plásticas e insumos para la industria del plástico son PEMEX, Braskem/IDESIA, Mexichem y Alpek, este sector se encuentra localizado principalmente en Tampico, Tamaulipas, y Coatzacoalcos, Veracruz. El Directorio Estadístico Nacional de Unidades (DENUE) del INEGI, refiere que en 2016 el número de establecimientos de todos los tamaños en todo el país, dedicados a la fabricación de productos de plástico es un total de 5031. Los principales productos de industriales incluyen manufacturas de bolsas y películas, seguidas de piezas industriales y botellas moldeadas por inyección.

La industria transformadora de plástico del país está conformada por 3 mil empresas transformadoras, las que se dividen de la siguiente forma: Inyección 2000 empresas, lo que representa el 38%; Extrucción 600 empresas, lo que representa el 32%; Soplado 300 empresas, lo que representa el 16%; Rotomoldeo 100 empresas, lo que representa el 1%; y el resto corresponde a otros procesos. El procesamiento de plástico en México sigue siendo dependiente de las importaciones, en 2016 las importaciones de resinas sumaron 3.9 millones de toneladas, lo que representa el 40% (INEGI, 2015).

### **2.3 Producción de juguetes plásticos en México y en el ámbito internacional**

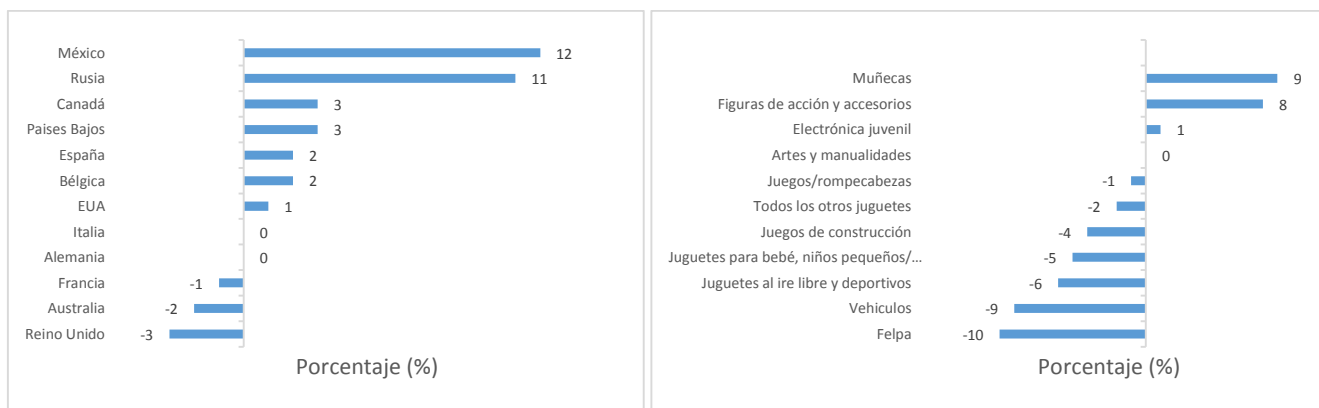
Con la introducción del plástico en la fabricación de los juguetes se produce una auténtica revolución en el Siglo XX, además debido a la conciencia y preocupación por el trato de la higiene y el uso de materiales asépticos, hace que aún más el plástico cobre mayor importancia.

Por la década de 1930, los juguetes de soldaditos de plomo y las muñecas vestidas a la moda que marcan las tendencias de aquellos años. En 1958, la empresa LEGO patenta su sistema de acoplamiento de pernos y bloques y produce juguetes de acetato de celulosa, más tarde polímero de acrilonitrilo-butadieno-estireno. En 1959 la muñeca Barbie es presentada por Mattel en la Feria Internacional Americana del Juguete (BPF, 2019).

La mayoría de las empresas fabricantes de juguetes tienen como información confidencial el tipo de plástico y los aditivos con los que fabrican sus productos. En el caso de la muñeca Barbie, varias fuentes mencionan que está hecha de diferentes materiales plásticos utilizando diversos procesos de manufactura. Los brazos y piernas, que inicialmente se hacían con PVC (cloruro de polivinilo), hoy día se hacen con EVA (copolímero de etilvinil acetato, por sus siglas en inglés) por moldeo rotacional. Su torso se elabora con una mezcla de ABS (acrilonitrilo butadieno estireno, por sus siglas en inglés) y SAN (estireno acrilonitrilo, por sus siglas en inglés) por moldeo por inyección.

La cabeza está hecha con PVC rígido. Las uniones para mover piernas y brazos están hechas con polipropileno (PP, por sus siglas en inglés), y su cabellera se elabora con filamentos de PVDC (cloruro de polivinilideno, por sus siglas en inglés) (Todoenpolímeros, 2018; Bagsik, 2013; CODA, 2016).

La mayoría de los juguetes plásticos están hechos de polietileno de alta y baja densidad. Para entender la magnitud del problema, sobre los juguetes plásticos a nivel mundial, que eventualmente se convierten en residuos plásticos, que deben ser manejados adecuadamente para evitar impactos ambientales, la agencia de información de mercados de juguetes a nivel mundial “NPD Group” (Grupo Diario Nacional de Compras, por sus siglas en inglés) reportó que las ventas globales de la industria del juguete creció en un 1% en 2017 para los 12 países analizados. A la par con el rendimiento colectivo mundial, las ventas de juguetes en los Estados Unidos, el mercado de juguetes más grande del mundo, crecieron un 1% con \$20.7 mil millones de dólares en 2017. Parcialmente impulsado por la inflación, México y Rusia crecieron más rápido, con un crecimiento del 12% y 11%, respectivamente (ver Figura 2.6). El Reino Unido, Francia y Australia experimentaron bajas, mientras que las ventas se mantuvieron estables en Alemania e Italia (NPD, 2018).



**Figura 2.6** Rendimiento de ventas del mercado de juguetes en 2017 por país. / Rendimiento de ventas por categoría de juguetes en 2018.

Fuente: NPD, 2018

El grupo NPD (2018) publicó que los juguetes, de felpa y muñecas fueron las categorías de más rápido crecimiento tanto a nivel mundial como en los EE. UU. A nivel mundial, todos los demás juguetes aumentaron sus ventas en un 14 %, que comenzaron a crecer desde Semana Santa y alcanzaron su punto máximo de junio.

En 2018, experimentaron un crecimiento respectivo las muñecas (9%), las figuras de acción (8%), y la electrónica juvenil (1%), mientras que las ventas de artes y manualidades se mantuvieron estables. De las supercategorías restantes rastreadas por NPD, los muñecos de felpa y los vehículos experimentaron los mayores descensos.

---

Revisando las cinco mejores marcas de juguetes más vendidos en 2018, las muñecas “L.O.L. ¡Sorpresa!” fue la marca más con mayores ventas en general, ocupando la primera posición en seis de los 13 mercados mundiales, seguida por Barbie, Marvel Universe, Nerf y Star Wars. (NPD, 2019).

El plástico se convirtió en México en un símbolo de la modernidad en la época de los cincuentas en la que todo parecía perdurar poco o transformarse rápidamente. Este material desplazó a todos los demás en las estanterías de juguetes. Era más barato que la madera, el metal, el celuloide o el acero y, sin bordes cortantes, los juguetes de plástico parecían más seguros para los niños, además de que eran lavables. Ahora la palabra plástico vendía por sí misma. Se anunciaban “divertidas cunitas musicales con dos muñecos, todo de plástico”, tractores de plástico, “con ruido del motor al caminar”, carros controles, camiones de volteo, motos con sidecar, coches ambulancias de la cruz roja, tanques de guerra y hasta juegos de té todo “en fino plástico”, “completamente en plástico”, “con resistente plástico” (Sosenki, 2012).

En 1986, el 100% de los juguetes que se vendían en México eran de producción nacional, seis años después la situación cambió totalmente, 90% del mercado correspondía a productos importados. A partir de 1996 la situación comienza a equilibrarse, actualmente la participación de los productos nacionales abarca el 30% del mercado (Martínez, 2005).

De acuerdo a Martínez (2005), en 1991 existían 315 empresas dedicadas a la fabricación de juguetes de acuerdo con los datos del IMSS las cuales se concentraban principalmente en micro, pequeñas empresas. El mayor número de empresas de fabricación de juguetes se localizaba en el Distrito Federal (48.9%), Estado de México (13%), en Jalisco (19.2%), en Baja California (6.7%) y en Nuevo León (4.4%). En los años finales de la década de los 90 a la Asociación Mexicana de la industria del Jugete pertenecían 292 empresas, 84% de las cuales eran nacionales y dominaban de manera evidentiísima la facturación dentro del mercado. En 2004 existían un total de 80 empresas en el país, de las cuales 10 eran extranjeras y responsables del 80% de la facturación nacional.

Los juguetes populares mexicanos más representativos son los luchadores de plástico de la lucha libre, en la década de los sesenta los muñecos que fabricaban tenían un tamaño de 14 centímetros aproximadamente, además de que la marca del molde quedaba en la parte trasera del muñeco, los muñecos podían ser fabricados en dos poses, la primera y que ha sobrevivido hasta nuestros días, es la de la mano izquierda levantada y la derecha abajo, esta posición del muñeco se debe a la pose que realizó “El Santo” para la revista Box y Lucha entre la década de los cincuenta y sesenta, la otra pose era con los dos brazos levantados, esta pose corresponde al luchador “Blue Demon” la cual poco a poco ha ido desapareciendo (Madrigal, 2013).

---

Como menciona Madrigal (2013), el luchador de plástico actual tiene un tamaño de 8.5 centímetros aproximadamente, con la clásica pose de "El Santo", algunos todavía conservan la capa hecha de bolsa de plástico, y mantiene la marca del molde en la parte superior de la cabeza, a pesar de que aún se fabrican, cada vez hay menos establecimientos donde se vende este juguete.

El material con el que se reproducen es polietileno reciclado de cubetas, autopartes como manijas o tableros, e incluso de otros juguetes destrozados que caen en la basura. Sin embargo el polietileno tiene que hervir a 400 grados antes de ser inyectado. La máquina hace un ligero sonido parecido al de una olla exprés, posteriormente abre los moldes y de ellos emanan cuatro figuras. A su vez estas caen a una tina de agua fría con el propósito de que el plástico se endurezca lo más pronto posible, se enfríe, y las piezas no se queden adheridas (las ficheras, 2013).

Una gran importante empresa de la industria del juguete en México fue la juguetera mexicana Lili Ledy, la empresa inicia sus ventas a mediados de 1950 en la colonia Cuauhtémoc en la Ciudad de México, y cerró en enero de 1985. Lili Ledy contaba con dos líneas de juguetes: Lili, dedicada a las niñas, y Ledy, para los niños. Sus principales productos fueron la muñeca de plástico Bárbara y Señorita Lili (MUJAM, 2018).

La industria mexicana de juguetes cerró 2017 con ventas por cerca de dos mil 800 millones de dólares, cantidad que representa 6 por ciento más que al cierre del año anterior. Sólo dos terceras partes del total del mercado interno, es decir 64 por ciento, corresponden a las ventas generadas desde el 10 de diciembre de 2017 y hasta el 9 de enero de 2018, cuando se celebran las fiestas decembrina y Día de Reyes Magos. Aunque la pelota es el juguete más vendido, al ser el más antiguo, los artículos de mayor demanda son los de perfil tecnológico -robots, celulares, tabletas electrónicas, consolas de videojuegos, drones- ganan terreno cada vez más y "son el nuevo bebé de la industria del juguete". De manera paulatina se han consolidado los electrónicos porque crecen a tasas del 11 y 12 por ciento respecto al juguete tradicional, el cual avanza al ritmo de entre 4.0 y 4.5 por ciento. Aunque el mercado de los juguetes en México está segmentado de acuerdo a las edades de los niños (REFORMA, 2018).

El INEGI (2020) reportó que las empresas medianas y grandes concentran 89.6% de la producción de la industria del juguete y 71% del empleo. El índice de la producción de la fabricación de juguetes mostró un desempeño decreciente en los últimos años, al pasar 95.3 en 2016 a 78.5 en 2018. De los insumos que utiliza la industria del juguete para su producción 46.7% son de origen nacional y 53.3% son importados. La Industria del juguete en 2018 exportó 1 058 millones de dólares e importó 1 731 millones de dólares. Las empresas de la industria del juguete en México exportan más del 77% de su producción.



---

En 2018, la mayor parte de las exportaciones de la Industria del juguete se destinan a los Estados Unidos de América (88.9%), seguido por República Checa (2.1%) y China (1.1%). Las importaciones fueron principalmente de China, las cuales representaron 80.2% del total en 2018, seguida de los Estados Unidos de América (6.6%) y Vietnam (1.7%) (INEGI, 2020).

Miguel Ángel Martín González, presidente de la AMIJU, explicó que los juguetes más solicitados por los niños, de entre cero y tres años de edad, son peluches, sonajas y musicales con luces y colores. Los pequeños que están en la segunda infancia, de tres a siete años de edad, prefieren las princesas y los superhéroes que son los protagonistas de las películas. Mientras que los de mayor edad piden en sus cartas juegos muy sofisticados, como electrónicos, juegos de mesa, interactivos y de ensamble, tan solo en el periodo de año nuevo 2018 (Reyes Magos en México), las ganancias derivadas de la venta de juguetes llegó, en el sector formal a 2 mil 400 millones de dólares. Ismael Mata Campo, director de Desarrollo de Cliente de NPD Group, reveló que lo que más se vende son los carros chiquitos (Hot Wheels) y las muñecas clásicas de la industria (Barbie). A últimas fechas están escalando en el gusto de los niños otras minimuñecas y las figuras de acción de tamaños pequeños. De igual manera los sets de muñecos coleccionables y un fenómeno que se conoce como *On boxing* donde los juguetes están empaquetados. (REFORMA, 2018).

En México hay 33.4 millones de personas entre 0 y 14 años. El gasto promedio por hogar en esparcimiento, que incluye juguetes, ronda los \$1,639 pesos. El 60% de la venta de juguetes, cuya principal temporada es en diciembre (70%), seguida del Día del Niño (5%), se registra en centros comerciales, mientras que el 40% restante se lleva a cabo en tianguis y eventos que se llevan a cabo por la temporada decembrina, principalmente. Donde el 65% de los juguetes que se venden en México son importados (El empresario, 2016).

De acuerdo con El empresario (2016), los 6 estados con más jugueterías son Puebla (611), Hidalgo (146), Michoacán (530), Jalisco (950), Estado de México (1,198) y la Ciudad de México (1,960), de éste último, las 4 alcaldías con mayor cantidad de jugueterías son Cuauhtémoc (540), Venustiano Carranza (492), Gustavo A. Madero (153) e Iztapalapa (146).

## **2.4 Generación de residuos sólidos urbanos**

### **2.4.1 América Latina y el Caribe**

El Plan de Acción adoptado en 1992 por todos los países del mundo en Río de Janeiro, conocido como Agenda 21, consideró el adecuado manejo de los residuos sólidos como un elemento central para mejorar la calidad de vida de los habitantes de las ciudades y preservar el medio ambiente, es decir, para la sostenibilidad urbana (ONU-Hábitat, 2012).

En América Latina y el Caribe, se generan a diario 436 mil toneladas de residuos sólidos urbanos (0.93 kilogramos per cápita), casi un 60% más que en 1995. Los residuos generados en América Latina y el Caribe son predominantemente orgánicos (56%), pero se detecta una creciente presencia de papel, vidrio, plásticos y otros materiales reciclables o reutilizables (Vázquez, y otros, 2016). En países iberoamericanos la proporción de plástico en los residuos sólidos urbanos oscila entre el 4.2 y el 17.7% (ver tabla 2.7), con mayor generación reportado para Costa Rica y Venezuela.

**Tabla 2.7** Composición de los residuos sólidos municipales generados en países y ciudades seleccionados (porcentaje)

| País/Ciudad        | Cartón y papel | Metal | Vidrio | Textiles | Plásticos | Orgánicos putrecibles | Otros inerte |
|--------------------|----------------|-------|--------|----------|-----------|-----------------------|--------------|
| <b>Barbados</b>    | 20.0           | ...   | ...    | ...      | 9.0       | 59.0                  | 12.0         |
| <b>Belice</b>      | 5.0            | 5.0   | 5.0    | ...      | 5.0       | 60.0                  | 20.0         |
| <b>Costa Rica</b>  | 20.7           | 2.1   | 2.3    | 4.1      | 17.7      | 49.8                  | 3.3          |
| <b>Ecuador</b>     | 9.6            | 0.7   | 3.7    | ...      | 4.5       | 71.4                  | ...          |
| <b>Guatemala</b>   | 13.9           | 1.8   | 3.2    | 0.9      | 8.1       | 63.3                  | 8.8          |
| <b>Perú</b>        | 7.5            | 2.3   | 3.4    | 1.5      | 4.3       | 54.5                  | 25.9         |
| <b>México Cdmx</b> | 20.9           | 3.1   | 7.6    | 4.5      | 8.4       | 44.0                  | 11.5         |
| <b>Caracas</b>     | 22.3           | 2.9   | 4.5    | 4.1      | 11.7      | 41.3                  | 11.2         |
| <b>Asunción</b>    | 10.2           | 1.3   | 3.5    | 1.2      | 4.2       | 58.2                  | 19.9         |

Fuente: ONU-Hábitat, 2012.

En América Latina, los residuos sólidos urbanos (RSU) generados por el 54% de la población tienen como destino final los rellenos sanitarios, vertederos controlados o vertederos a cielo abierto, siendo que el 18% de la población envía sus residuos a rellenos controlados y el 25% de la población dispone sus residuos en vertederos a cielo abierto (ONU-Hábitat, 2012)

#### 2.4.2 México

En México, según la cifra más reciente publicada en 2020, la generación de RSU alcanzó la cantidad de 120,128 toneladas diarias, lo que representa un aumento del 117% con respecto a 2012 y 127% con respecto a 2004 (SEMARNAT, 2020). La cantidad de RSU que es enviada a disposición final, el 60.54% es dispuesta en rellenos sanitarios o sitios controlados, el 15.93% en vertederos a cielo abierto y el 2.07% restante se desconoce dónde se deposita (SEMARNAT-INECC, 2012).

México está migrando hacia una composición con una menor predominancia de residuos orgánicos: en la década de los años 50, el porcentaje de residuos orgánicos oscilaba entre 65 y 70% de su volumen, mientras que en 2020 esta cifra se redujo a 46.42%. En 2004, el 4.4% de los residuos sólidos generados en el país era plástico, actualmente representa el 10.3%, tales como el plástico rígido, poliestireno expandido, hule y poliuretano. (ver tabla 2.8).

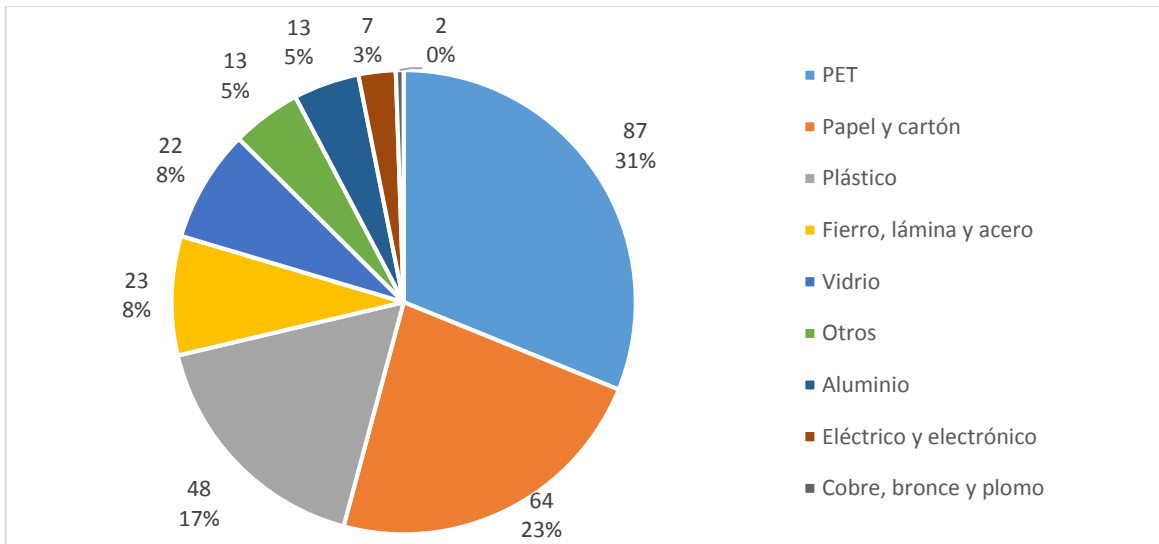


**Tabla 2.8** Composición de Residuos Sólidos Urbanos en México 2012 y 2020.

| Categoría  | Subproductos                                      | Porcentaje 2012 (%) | Porcentaje 2020 (%) |
|--|---|---------------------|---------------------|
| <b>Susceptibles de aprovechamiento</b><br>39.57% (2012)<br>31.55% (2020) | Cartón  | 6.54                | 4.55                |
|  | Papel   | 6.20                | 5.07                |
|  | Material ferroso                                  | 2.09                | 0.88                |
|  | Material no ferroso                               | 0.60                | 0.57                |
|  | Plástico rígido y de película                     | 7.22                | 7.66                |
|  | Envase de cartón encerado                         | 1.50                | 1.51                |
|  | Fibras sintéticas                                 | 0.90                | 0.34                |
|  | Poliestireno expandido                            | 1.65                | 1.55                |
|  | Hule  | 1.21                | 0.54                |
|  | Lata  | 2.28                | 0.98                |
|  | Vidrio de color                                   | 2.55                | 1.60                |
|  | Vidrio transparente                               | 4.03                | 3.13                |
|  | Poliuretano                                       | 2.80                | 0.55                |
|  | <b>Orgánicos</b><br>37.97%(2012)<br>46.42% (2020) | Cuero               | 0.51                |
| Fibra dura vegetal   |   | 0.67                | 0.73                |
| Residuos alimenticios  |   | 25.57               | 33.07               |
| Hueso  |   | 0.59                | 0.52                |
| Residuos de jardinería   |   | 9.38                | 10.84               |
| Madera   |   | 1.25                | 0.79                |
| <b>Otros</b><br>22.46% (2012)<br>22.03% (2020)                           | Residuo fino                                      | 3.76                | 2.25                |
|  | Pañal desechable                                  | 6.52                | 6.75                |
|  | Algodón   | 0.70                | 0.15                |
|  | Trapo   | 3.57                | 2.82                |
|  | Loza y cerámica                                   | 0.55                | 0.46                |
|  | Material de construcción                          | 1.46                | 0.70                |
| Varios   | 5.90  | 8.90                |                     |
| Total  |   | 100.00              | 100                 |

Fuente: SEMARNAT-INECC, 2012; SEMARNAT, 2020.

El volumen de materiales reciclados en México es reducido: en 2020 es de 7.44% del volumen de los residuos generados, en 2012 alcanzó alrededor del 9.6% y en 2006 sólo era entre el 8 y 12%. Esta cifra resulta baja cuando se compara con lo reportado para los países que forman parte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), que en promedio reciclaron en ese mismo año alrededor del 24% de sus residuos, con algunos países con porcentajes cercanos o mayores al 50%, como en el caso de Corea del Sur y Alemania (SEMARNAT, 2016; SEMARNAT, 2020). Si se considera el volumen reciclado de cada tipo de RSU con respecto a su volumen producido, los sólidos que más se reciclaron en 2020 fueron el PET (31%), el papel y cartón (23%). De los plásticos sólo se recicla alrededor del 17% como se ve en la figura 2.7.



**Figura 2.7** Composición de los RSU recolectados valorizables (ton/d)

Fuente: SEMARNAT, 2020.

Hasta 2020, el incremento del plástico considerado como valorizable generado en México ha aumentado un 342.13% respecto a las 3,616 toneladas diarias de residuos plásticos generados en 2004 (SEMARNAT, 2020)

En 1997, a nivel nacional la disposición final en rellenos sanitarios y sitios controlados era cerca del 41% del volumen de RSU generado, mientras que en 2012 se dispuso aproximadamente el 74% de los residuos. El porcentaje restante de los residuos generados en el país, el 21% se depositó en sitios no controlados y el 5% restante fue reciclado. (SEMARNAT, 2016).

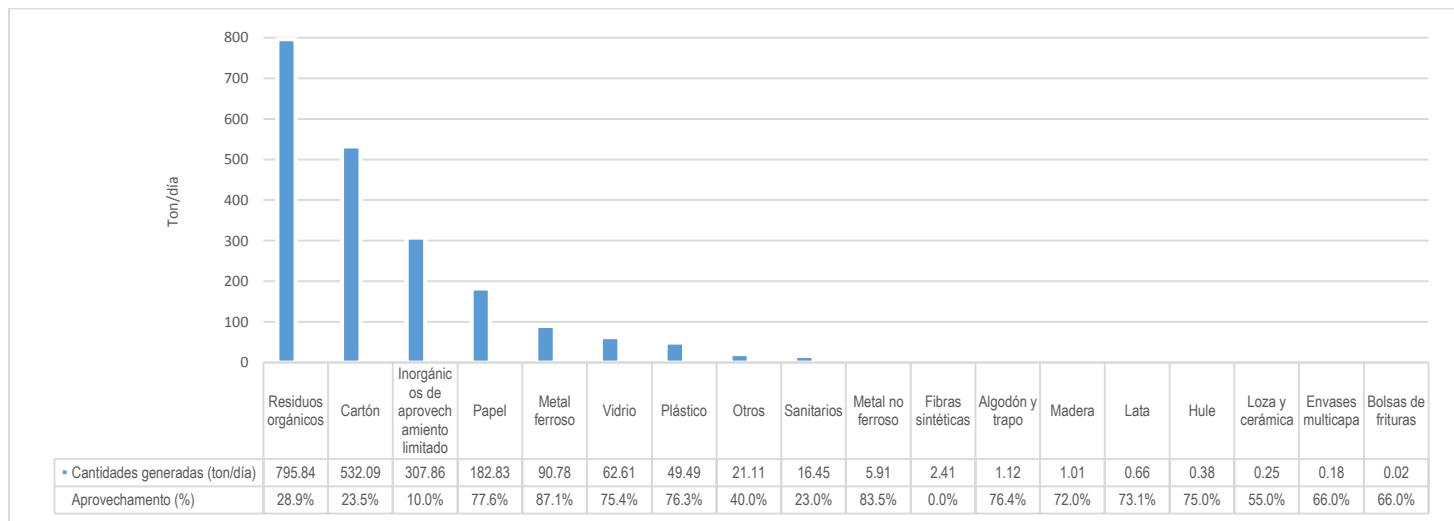
### 2.4.3 Ciudad de México

La Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México (SEDEMA), registró en 2018 la generación de 13,073 ton/día de residuos sólidos, donde la generación per cápita osciló entre 0.88 y 2.49 kilogramos cada día; Las alcaldías con mayor generación de residuos fueron Iztapalapa, Gustavo A. Madero y Cuauhtémoc, con el 17%, 13% y 10%, respectivamente; mientras que Cuajimalpa de Morelos, La Magdalena Contreras y Milpa Alta, aportaron sólo el 4%.

La SEDEMA reportó en 2019, que el 48% de los residuos sólidos urbanos son domiciliarios, comprendiendo casas, departamentos y unidades habitacionales; el 26% de los residuos proviene de Comercios, como mercados y establecimientos mercantiles; el 14% de la generación de residuos se encuentra en los Servicios, tales como centros de espectáculos y recreación, restaurantes y bares, servicios públicos, hoteles, oficinas públicas y centros educativos; el 5% de los residuos generados proviene de diversas actividades como residuos de manejo especial y los generados en áreas verdes., que básicamente se conforman de residuos orgánicos; mientras que el 4% se

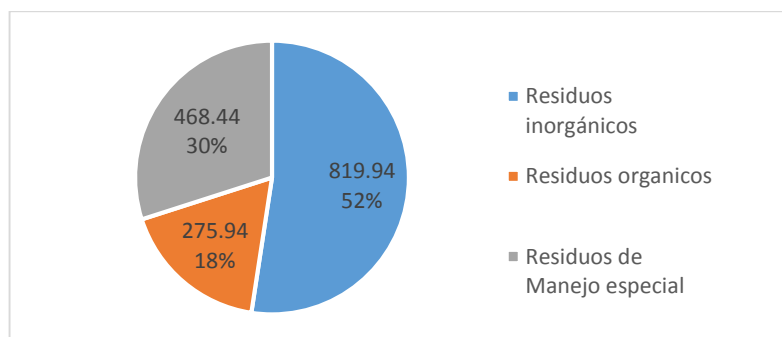
generan en la Central de Abasto de la Ciudad de México (CEDA); y por último, un 3% viene de sitios Controlados, como unidades médicas, laboratorios, veterinarias, terminales terrestres, de transporte aéreo y centros de readaptación social. Dichas cifras, consideran también los residuos de manejo especial.

De acuerdo con la SEDEMA en 2018, de las 2,071 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos reportados en los Planes de Manejo autorizados se aprovechan 711.75 toneladas, es decir un 34.4% de los residuos sólidos generados, siendo la mayor generación residuos orgánicos y el menor bolsas de frituras como se presenta en la Figura 2.8.



**Figura 2.8** Cantidades generadas y porcentajes de residuos inorgánicos con potencial de aprovechamiento.  
Fuente: elaboración propia con datos de SEDEMA, 2018.

Durante el año 2018 conforme lo registrado por la SEDEMA, se ingresaron 229 planes de manejo. En 2018, mediante los planes de manejo, se reportaron 1,564.31 toneladas diarias de residuos en la Ciudad de México, las cantidades generadas diarias y sus respectivos porcentajes se presentan en la Figura 2.9.



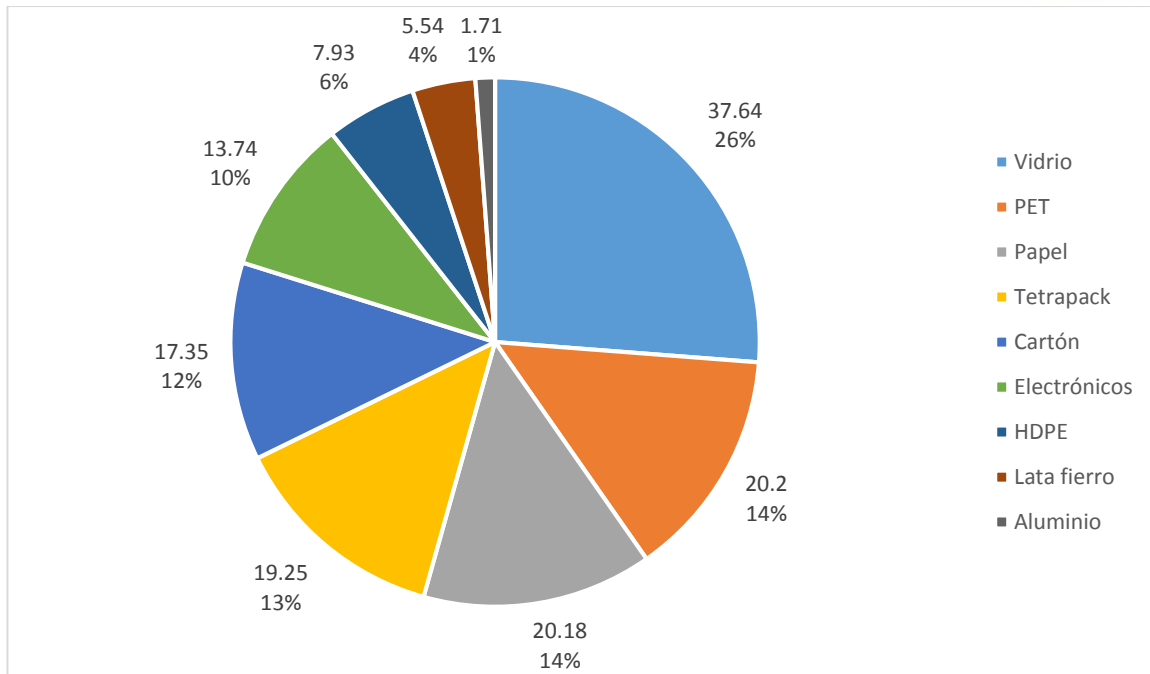
**Figura 2.9** Toneladas y porcentaje de generación diaria de residuos de planes de manejo.  
Fuente: elaboración propia con datos de SEDEMA, 2018.

---

Derivado de la prestación del servicio público de limpia por sus actividades y su volumen de generación, las alcaldías son consideradas como grandes generadores, por lo tanto tienen la obligación de presentar ante la SEDEMA su plan de manejo de residuos como parte del cumplimiento de las regulaciones en materia ambiental. En 2018, las alcaldías Cuajimalpa de Morelos e Iztacalco tienen autorizados sus planes de manejo.

La SEDEMA reportó en 2018, que existen planes de manejo especial para ciertos residuos de la Ciudad de México que consistieron en: 1) Los residuos de aceites vegetales usados de cocina se reportó el reciclaje de 12,982 L/d. El aceite recuperado fue enviado a plantas de tratamiento, donde se recicló o reutilizó para la elaboración de biodiesel, jabón o alimento para animales; 2) El programa “ponte pila con tu Ciudad”, se acopiaron 81.39 toneladas de pilas usadas; 3) El acopio de residuos tecnológicos se generaron 10 ton/d de residuos recuperados, de los cuales se aprovechó el 81%; 4) Lodos residuales, derivado de los procesos y tecnologías utilizadas para el tratamiento de aguas residuales de la Ciudad de México, se generan lodos con alto contenido de nutrientes y materia orgánica que son susceptibles de reaprovechamiento. Reportándose 78.98 ton/d de lodos con 39% de aprovechamiento, 5) Residuos automotrices, que consisten en partes de automóviles cuya vida útil ha concluido o que por su estado se vuelven obsoletas. Al estar constituidos principalmente por metales, estos residuos son susceptibles de ser valorizados y reincorporados a procesos productivos. Estos residuos son tratados como de manejo especial, y deben regularse a través de Planes de Manejo que aseguren su correcta gestión. En el 2018 se reportaron 0.6 ton/d de este tipo de residuos, que fueron enviadas a reciclaje para su reincorporación como materia prima de otros productos.

La SEDEMA de la Ciudad de México, a través de diversos programas y campañas de educación ambiental, fomenta la reducción de la generación de residuos y la separación de los mismos, haciendo énfasis en su aprovechamiento a través del reúso y reciclaje, como el “Mercado del trueque”, su propósito es fomentar en la población la separación de los residuos para su aprovechamiento, así como promover el consumo local a través del intercambio de productos agrícolas de la ciudad por residuos. Con resultados de 143.54 toneladas de residuos acopiados (ver figura 2.10). Los residuos con mayor acopio fueron vidrio, PET y papel, los cuales han ocupado de manera histórica los tres primeros lugares en acopio desde 2012. Los residuos que fueron recolectados, separados y acopiados durante el Mercado del Trueque son enviados a reciclaje, es decir que se aprovecha y valoriza en una planta con las condiciones y permisos adecuados.



**Figura 2.10** Toneladas y porcentaje de acopio de residuos especiales en el programa de “Mercado de trueque”.  
 Fuente: elaboración propia con datos de SEDEMA, 2018.

Con base en la SEDEMA, para realizar la recolección de los residuos sólidos, en 2018 la Ciudad de México cuenta con un parque vehicular de 2,652 unidades. La alcaldía con mayor número de vehículos fue Gustavo A. Madero, con 304 unidades, seguida de Cuauhtémoc con 302; mientras que Tláhuac y Milpa Alta cuentan con 61 y 58 respectivamente. El 24% de los vehículos son de doble compartimiento, lo que facilita la recolección de los residuos orgánicos e inorgánicos, sin necesidad de alternar días.

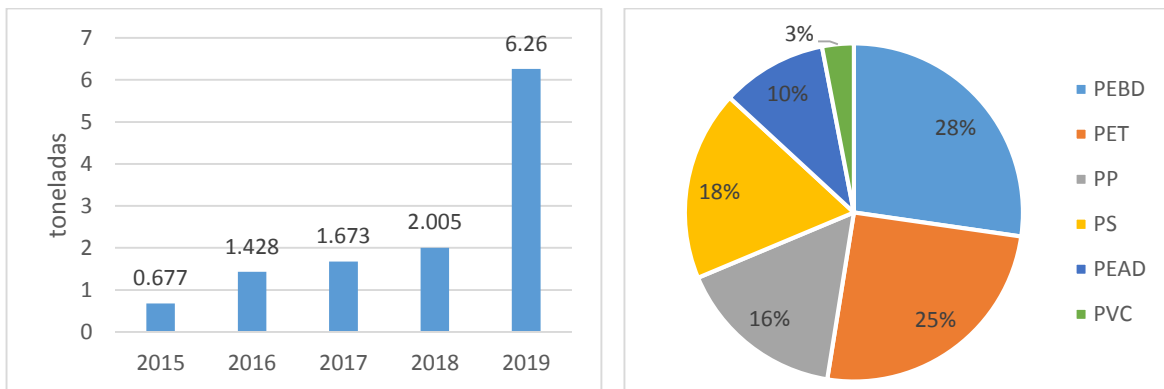
La ciudad cuenta con 12 estaciones de transferencia, 2 plantas de selección, 2 plantas compactadoras, 8 plantas de composta y 5 sitios de disposición final para la gestión integral de los residuos, proceso que contempla desde su generación hasta su disposición final (SEDEMA, 2019).

La SEDEMA en 2018, reportó en las plantas de selección se ingresaron diariamente 3,801 toneladas de residuos, con una recuperación de 184 toneladas de residuos reciclables, representado solo el 4.8% de residuos los sólidos ingresados al día y un 1.4% con respecto a los residuos sólidos generados cada día.

Los sitios de disposición final de la Ciudad de México son 5: Milagro, Cañada, Chicoloapam, Cuautitlán y Cuatla; los cuales reciben en total 8,107 toneladas diarias de residuos sólidos, lo que representa el 62% de los residuos generados en la Ciudad de México. El porcentaje de aprovechamiento de los residuos sólidos generados en 2012 era del 52%, a partir del cierre del sitio de disposición final Bordo Poniente, pero la falta de seguimiento de dichas estrategias se refleja una disminución al 38% en 2018 (SEDEMA, 2019).

La SEDEMA reportó en 2019 que de continuar con la tendencia al aumento en la generación de residuos sólidos de la ciudad, se espera que en el 2024 la ciudad genere entre 13,432 y 13,526 toneladas de residuos al día. Considerando que el manejo y aprovechamiento continúe equivalente, los distintos sitios de disposición final recibirán un total entre 8,155 y 8,269 toneladas al día.

La Asociación Nacional de la Industria Química (ANIQ) y la Comisión de la Industria del Plástico, Responsabilidad y Desarrollo Sustentable (CIPRES) iniciaron en 2015 el Programa de Acopio de Residuos Plásticos PLASTIanguis para intercambiar residuos plásticos por algún producto de despensa para concientizar a la sociedad a generar menos residuos e incorporarlos en la cadena de valor. Los plásticos acopiados son de botellas de plástico (PET), botellas de yogurt (PEAD), bolsas de súper (PEBD), tuberías (PVC), envolturas de snacks (PP) y embalaje de productos de uso único (PS). En la Figura 2.11 se presentan las toneladas recolectadas y los porcentajes obtenidos de cada tipo de plástico en 2018.



**Figura 2.11** Cantidad de plásticos acopiados en Programa PLASTIanguis 2015-2019 / Porcentaje de plásticos recolectados en PLASTIanguis 2018.

Fuente: ANIQ, 2018

## 2.5 Los residuos plásticos y su repercusión en la salud humana y ambiente

Los plásticos tradicionalmente se basan en el petróleo, por tanto, no son degradables. No degradable actualmente se define como "la falta de capacidad del material para descomponerse o mineralizarse a velocidades medibles" (Leslie, 2015). Esta definición, permite cierto grado de interpretación de lo que es o no una "velocidad medible", lo que plantea desafíos para una clasificación general de los tipos de plástico, que además se ve afectada por los grupos de interés que son beneficiados por la industria del plástico o se ven afectados. Además, no existe un procedimiento internacional para medir la velocidad de degradación del plástico o "velocidad medible"; esto causa confusión con respecto a los tipos de plástico que perduran con el tiempo o mejor dicho son persistentes, e incluso

la misma clasificación: degradable, biodegradable, oxodegradable y compostable (Environment and Communications References Committe, 2016).

El plástico se dispone con frecuencia como un residuo o un posible contaminante, aun cuando en todo el planeta, se utilizan de manera masiva y extensiva en la vida diaria contemporánea. Las bolsas de plástico y los recipientes de plástico para alimentos son a corto o largo plazo residuos, esto mismo ocurre con prácticamente todos los bienes de consumo donde se utiliza plástico para su conformación, que, en el mejor de los casos, se reciclan o mezclan con los residuos sólidos en los sistemas de limpia municipal o simplemente se arrojan en espacios cercanos a poblaciones humanas. Los residuos plásticos marinos son residuos artificiales que se liberan intencional o accidentalmente en lagos, mares, océanos o cuerpos de agua. La contaminación de los cuerpos de agua es causada cada vez más por partículas plásticas, incluidos perlas o micro-perlas de cosméticos y productos de degradación de los residuos plásticos diversos, que se depositan de manera inadecuada y que terminan en ambientes acuáticos. La contaminación del agua por partículas plásticas también se conoce como lágrimas de sirenas (Padmini, Chaitanya y Madhavi, 2014).

Una gran cantidad de residuos plásticos se han acumulado en el entorno natural y acuático, procedentes de vertederos de residuos sólidos municipales y por ende, procedentes de las zonas densamente pobladas de seres humanos que tienden a consumir materiales plásticos de forma excesiva y que han aumentado con el paso del tiempo (ver tabla 2.9), lo que conduce a una amplia corriente de residuos, entre ellos muchos materiales plásticos. Principalmente debido a la vida corta de uso de muchos productos de plásticos, estimándose que aproximadamente el 40% de los plásticos tienen una vida útil de menos de 1 mes (Achilias, Roupakias, Megalokonomos, Lappas y Antonakou, 2007).

**Tabla 2.9** Composición de la fracción de plásticos por tipo de polímero dentro de los RSU (%).

| Área                   | Año  | PEHD    | PELD    | PP     | PET     | PS      | Otros |
|------------------------|------|---------|---------|--------|---------|---------|-------|
| <b>Oeste de Europa</b> | 1998 | 17.80   | 22.70   | 19.60  | 8.10    | 11.90   | 20.10 |
| <b>Europa</b>          | 2005 | 15 – 20 | 38 – 43 | 5 – 10 | 7 – 12  | 12 – 17 | N/A   |
| <b>UE 27+2</b>         | 2010 | 14      | 27.90   | 17.50  | 11.90   | 7.60    | 21.20 |
| <b>Europa</b>          | 2017 | 15 – 20 | 38 - 43 | 5 - 10 | 12 - 17 | 12 -17  | N/A   |

*Fuente: Dahlbo, Poliakova, Mylläri, Sahimaa y Anderson, 2018.*

Estas grandes cantidades de residuos crean serios problemas de manejo y contención ambiental. Según la Agencia de Protección al Ambiente (USEPA), tan solo en Estados Unidos, el total de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) que se generó en 2014 fue de 258.5 millones de toneladas. Donde los materiales orgánicos tales como papel y cartón, recortes de jardín y alimentos continuaron siendo el componente más grande de los RSU. El papel y el cartón representaron más del 26%, y los recortes de jardín y los alimentos representaron otro 28.2 %. Mientras



---

que los plásticos representaron alrededor del 13 % (de los cuales el 75.5% quedó confinado en rellenos sanitarios); caucho, cuero y textiles representaron más 9%; y los metales componen otro 9%. Seguidos de la Madera con más del 6% y el vidrio con 4%. Otros residuos diversos constituyeron aproximadamente el tres por ciento de los RSU generados en 2014.

En suma, los plásticos son un problema que no ha podido resolverse ni siquiera en los países industrializados, donde las tasas más altas de materiales plásticos no son reciclados y se han convertido en un problema ambiental global con énfasis en áreas acuáticas, donde las comunidades marinas son vulnerables; con reportes de daños desde la década de 1970 (Carpenter y Smith, 1972). Sin embargo, recientemente se ha identificado que las afecciones provocadas por la contaminación generadas a partir de plásticos y microplásticos en ambientes marinos y agua dulce es un problema global, que en consecuencia, se ha convertido en una importante preocupación ambiental para gobiernos, científicos, organizaciones no gubernamentales y público en general a nivel mundial (Andrady, 2011; Eriksen et al., 2013; Eerkes-Medrano, Thompson, y Aldridge, 2015; Pettipas, Bernier, y Walker, 2016; Löhr, et al., 2017; Raubenheimer y McIlgorm, 2018).

Las especies marinas atrapadas entre residuos plásticos suelen presentar asfixia, laceraciones, infecciones, reducción en el éxito reproductivo y mortalidad (Cho, 2009; Waluda y Staniland, 2013; UNEP - NOAA, 2012; Li, Tse, y Fok, 2016). Los residuos plásticos como vasos de poliestireno expandido, bolsas de plástico y tapas de bolígrafos son una corriente interminable de arena plástica arrastrada por desagües pluviales urbanos hasta arroyos, ríos y, finalmente, hacia el océano donde pueden acumularse en gran cantidad en superficies del mar y alcanzan playas, cavernas marinas, estuarios y manglares (Nor & Obbard, 2014; Naidoo, Glassom, & Smit, 2015). Como consecuencia, los plásticos representan una proporción considerable (50-80%) de los residuos costeros. Los micro plásticos, inicialmente flotantes, pueden contaminar la vida marina y los sedimentos causando su acumulación dentro del lecho marino (Geyer, Jambeck, y Law, 2017).

Es importante mencionar que la disposición inadecuada y el uso de plásticos es una preocupación global debido a los impactos negativos asociados tanto en el cambio climático, como en la contaminación del agua subterránea causada por la acumulación de plásticos en rellenos sanitarios/vertederos, lo que lleva a mayores riesgos debidos a la lixiviación de compuestos orgánicos (retardantes de flama) y metales pesados inmersos en los plásticos, provocando una afectación a corto o largo plazo de la salud de todas las formas de vida, tanto terrestres como acuáticas.

En los países industrializados, una gran parte de los residuos de plástico se utiliza para la recuperación de energía. En Europa, más residuos de plásticos se destinan a la recuperación de energía (39,5%) que los residuos que se



---

recuperan para reciclaje (29,7%). Sin embargo, la combustión incontrolada de residuos plásticos y, en particular, de aquellos que contienen halógenos como PVC, politetrafluoroetileno / teflón, metales pesados, retardantes de llama bromados, etc., pueden provocar emisiones de sustancias peligrosas, gases ácidos y contaminación por contaminantes orgánicos persistentes involuntarios (COP's) como las dioxinas (UNEP, 2015).

Los retardantes de flama, como los PBDEs, son compuestos orgánicos que se adicionan en los plásticos para evitar su combustión rápida, los polibromodifenil éteres (PBDEs) comúnmente utilizados en tabletas electrónicas y plásticos (Tang et al., 2014; Net, Sempéré, Delmont, Paluselli y Ouddane, 2015; Espinosa, Esteban y Cuesta, 2016), son compuestos que han creado una gran preocupación a nivel mundial debido a su persistencia, bioacumulación/bioamplificación y toxicidad (toxicidad del desarrollo neurológico, hepático, reproductivo e inmune y alteración endocrina efectos), además de su presencia en distintas matrices ambientales en el planeta (Naert, Piette, Bruneel, y Van Peteghem, 2006; Kodavanti et al., 2010; Usenko, Abel, Kudela, Janise y Bruce, 2015; Wu, Cao, Li, Lian y Zhao, 2015). La adición física de estos retardantes de flama material plástico provoca que sean susceptibles de liberarse al aire ambiente durante el proceso de pirolisis y luego ingresan a suelos y agua mediante deposición seca y húmeda, éste es un riesgo real que puede presentarse por la quema de residuos sólidos en vertederos o sitios de acumulación de residuos sólidos plásticos (Tuppurainen, Asikainen, Ruokojärvi y Ruuskanen, 2003; Weber y Kuch, 2003; Ebert y Bahadir, 2003; Li, Li, y Deng, 2014; Xiong, An, Zhang, y Li, 2015; Matsukami, et al., 2017), aunque los PBDEs también pueden liberarse de los residuos plásticos en el momento que son expuestos a temperaturas altas o combustiones, dentro de las casas habitación, en los procesos de reciclaje y/o procesos de acondicionamiento, entre otras actividades (Campo, Lorenzo, Cammeraat, Picó y Andreu, 2017; Pivnenko, Granby, Eriksson y Astrup, 2017), donde los seres humanos están más expuestos a ellos a través de la ingestión diaria, la inhalación y por vías dérmicas (Wang et al., 2017).

Los plásticos basados en carbono son termodinámicamente metaestables y se degradarán con el tiempo. Los metales pesados están firmemente unidos a plástico, pero la degradación podría acelerar la migración de los metales pesados a otros sitios. Después del uso útil de los plásticos se convierten en residuos y terminaba principalmente en vertederos o reciclados térmicamente (Trinkel, Kieberger, Bürgler, Rechberger y Fellner, 2015). Bajo la presión política y de los consumidores, la economía y el trayecto de los plásticos deben convertirse en una economía circular. Los plásticos de aplicaciones duraderas, como automóviles, productos electrónicos, juguetes, muebles y cajas, hacen que el reciclaje sea más difícil. La presencia de plásticos y metales pesados en arena marina, así como la ingestión del plástico por parte de las aves marinas y otros organismos se conoce y monitorea, pero el fenómeno de la ingestión de plásticos y la presencia de mayores niveles de metales pesados en la biota marina está muy extendido. Nuevas investigaciones demuestran que los plásticos cargados con metales pesados

---

se encuentran en el ambiente y cuando son ingeridos por la vida silvestre pueden presentar riesgos de toxicidad adicionales (Turner, 2016; Baztan, Jorgensen, Pahl, Thompson y Vanderlinden, 2017; Tang et al., 2015).

En muchos países en desarrollo, el reciclaje de plásticos a menudo no está controlado por un marco regulatorio apropiado, y la protección del medio ambiente se aplica de forma deficiente, lo que resulta en una contaminación considerable del ambiente en las áreas donde se recicla el plástico (Minter, 2013). El reciclaje no controlado también puede resultar en la transferencia de sustancias potencialmente nocivas en plásticos para usos sensibles, como juguetes para niños y materiales en contacto con alimentos (Chen, y otros, 2009). Los compuestos halogenados emitidos en la combustión de residuos de plástico también pueden causar corrosión en los incineradores y otras instalaciones térmicas. El cloro y el bromo pueden acumularse en el sistema del horno eléctrico y limitar su capacidad de recuperación térmica del plástico (Jacquinot, Hjelmar y Vehlow, 2000).

En 2007, la empresa Mattel retiró del mercado 11 modelos de juguetes hechos en China, debido a las excesivas cantidades de plomo en sus pinturas, en relación con el retiro de sus productos anunciados. En total se retiraron del mercado 522 mil juguetes en Estados Unidos, y 322 mil en todo el mundo. Los productos fueron despachados entre el 3 de agosto de 2006 y el 31 de julio de 2007, Mattel dijo que las muñecas Barbie no estaban incluidas (La Jornada, 2007).

El 8 de marzo de 2012, la PROFECO publicó la alerta Número 05/2012 donde identificó que el contenido de plomo en la pintura de las rodilleras de los juguetes de luchadores de plástico de la marca "SÚPER LUCHA MANÍA", rebasó los límites permitidos en la Norma Oficial Mexicana NOM-015/1-SCFI/SSA-1994, por lo que si los niños se llevan a la boca estos juguetes, pueden ingerir el plomo, el cual es tóxico y puede causar afectaciones negativas a la salud (PROFECO, 2012). Sin embargo, no se realizó ninguna falta administrativa ni multa debido a que el producto no cuenta con dirección de fabricación de la empresa.

---

## Capítulo 3. MARCO JURÍDICO

### 3.1 Legislación internacional

#### 3.1.1 Convenio de Basilea

El 11 de mayo de 2019, en la Conferencia de las Partes (COP) de los Convenios de Basilea, Rotterdam y Estocolmo, los gobiernos modificaron el Convenio de Basilea, que regula los movimientos transfronterizos de los residuos peligrosos y su eliminación, para incluir los residuos plásticos en un marco legalmente vinculante que hará que el comercio mundial de estos materiales sea más transparente y esté mejor regulado, al tiempo que garantiza una gestión más segura para la salud humana y el medio ambiente (UNEP, 2019). Así, los envíos de residuos mezclados o plásticos no peligrosos que no están en buenas condiciones o “limpios” para el reciclaje se agregarán a la lista de sustancias que requieren el consentimiento previo de los importadores.

#### 3.1.2 Acuerdo Global de la Nueva Economía del Plástico

El Acuerdo Global de la Nueva Economía del Plástico está liderado por la Fundación Ellen MacArthur, en colaboración con la ONU Medio Ambiente, presentado en la Conferencia Our Ocean en Bali el pasado 29 de octubre del 2018. En este Acuerdo se unieron a más de 450 organizaciones detrás de una visión común y un ambicioso conjunto de objetivos para abordar los residuos plásticos y la contaminación en su origen, para 2025 (ANIPAC, 2018).

En México, el 5 de diciembre de 2019 el Senado de la República anunció el “Acuerdo Nacional para la Nueva Economía del Plástico en México” impulsado por diferentes grupos parlamentarios, empresas, organismos empresariales y asociaciones civiles.

Este acuerdo tiene como compromiso lograr las siguientes metas para 2025:

- Tener una tasa de acopio del 70% del PET
- Una tasa de acopio de 30% en promedio de todos los plásticos
- Que los nuevos plásticos a producir tengan un 20% de material reciclado

Y las siguientes metas para 2030:

- Todos los empaques y envases reutilizables, reciclables compostables o aprovechables al 100%
- Una tasa de acopio de PET del 80%
- 45% en promedio de todos los plásticos
- que los nuevos plásticos tengan un 30% de contenido reciclado

---

### 3.1.3 Economía circular de plásticos en Europa

El 16 de enero de 2018, la Comisión Europea publicó un comunicado que presenta una estrategia para los plásticos en una economía circular. La estrategia identifica desafíos clave, incluidos los bajos índices de reutilización y reciclaje de residuos plásticos, las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas con la producción de plásticos y la incineración, y la presencia de residuos plásticos (incluidos los microplásticos) en los océanos. La Comisión describe su 'visión para la nueva economía de los plásticos en Europa', donde, entre otras cosas, todos los envases de plástico deberían diseñarse para ser reciclables o reutilizables para 2030. Para avanzar hacia esta visión, la estrategia presenta una amplia gama de medidas centradas en cuatro áreas: (1) mejorar la economía y la calidad del reciclaje de plásticos; (2) frenar la basura de residuos plásticos; (3) impulsar la inversión y la innovación en la cadena de valor de los plásticos; y (4) aprovechamiento de la acción global (European Commission, 2018).

### 3.1.4 Guías Ambientales para el Sector Plástico de Colombia

Colombia cuenta con “Guías Ambientales para el Sector Plástico” como resultado del acuerdo suscrito entre el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y ACOPLASTICOS, publicado en Julio de 2004. La Guía de procesos básicos de transformación de la industria plástica, provee información y directrices técnicas para el manejo y procesamiento de los polímeros, identifica sus principales impactos ambientales y define actividades de manejo precisas, asegurando que todos los procesos que conforman el ciclo de producción del plástico, se desarrollen de una forma ambientalmente sostenible (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

A su vez, la guía ambiental para el manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos, principalmente de pos-consumo, se constituye en herramienta básica para orientar la actividad de todos los actores que intervienen en la gestión de estos residuos, aportando a su vez a la consolidación de una estrategia para el aprovechamiento y valoración de los mismos y el fortalecimiento de las cadenas de reciclaje (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

Las autoridades ambientales regionales y locales, las instituciones académicas y todas aquellas empresas, entidades, organizaciones y personas que directa o indirectamente están vinculadas con el tema del plástico, pueden contar desde ahora con un importante insumo de consulta que oriente su gestión y permita la incorporación de la variable ambiental en sus procesos, para que de esta forma se materialicen acciones concretas en beneficio de la promoción de sus actividades, el aumento en la productividad y competitividad del sector y la protección del medio ambiente y la salud humana (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2004).

### 3.1.5 Normatividad en juguetes

En el ámbito internacional, existen varias normas que han establecido los límites máximos permisibles de concentración de 8 metales pesados de los sustratos de los juguetes (antimonio, arsénico, plomo, bario, cadmio, cromo, mercurios y selenio) así como 6 ftalatos (dibutilftalato, butilbencilftalato, di(2-etilhexil) ftalato, dinooctilftalato, diisonoilftalato, y diisodecilftalato)(ver tabla 3.1).

**Tabla 3.1** Normatividad internacional en juguetes.

| País  | Clave de la Norma        | Nombre de la norma   | Establece límites máximos para |            |                            |
|---|--------------------------|--|--------------------------------|------------|----------------------------|
|   |                          |  | 8 Metales                      | 6 Ftalatos | Nitrosaminas y nitrosables |
| <b>Norma internacional</b>                                      | ISO 8124                 | Seguridad en los juguetes  | Sí                             | Sí         | No                         |
| <b>Argentina</b>  | IRAM-NM 300              | Seguridad en los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Australia</b>  | AS/NZS ISO 8124          | Seguridad en los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Brasil</b>   | NBR 11786                | Seguridad en los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Canadá</b>   | SOR/2011-17              | Regulaciones de juguetes   | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Chile</b>  | NCh 3251                 | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>China</b>  | GB 6675<br>GB/T 22048*   | Estándar de Seguridad de juguetes  | Si                             | Si*        | No                         |
| <b>Colombia</b>   | Resolución 3388 de 2008  | Reglamento técnico sobre los requisitos sanitarios de los juguetes                         | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Taipei China</b>   | CNS 4797<br>CNS 15138-1* | Seguridad de juguetes  | Sí                             | Si*        | No                         |
| <b>Consejo de Cooperación para los Estados Árabes del Golfo</b> | BD 07070502              | Juguetes de niños  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Estados Unidos de América</b>                                | ASTM F963<br>ASTM F1313* | Especificación estándar de seguridad para el consumidor sobre la seguridad de los juguetes | Sí                             | No         | Si*                        |
| <b>India</b>  | IS-9873                  | Seguridad de juguetes  | Sí                             | Sí         | No                         |
| <b>Indonesia</b>  | SIN 8124                 | Seguridad de juguetes  | Sí                             | Sí         | No                         |
| <b>Japón</b>  | JFSL                     | Ley de Sanidad Alimentaria de Japón  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Malasia</b>  | MS ISO 8124              | Seguridad de juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Perú</b>   | NTP 324.001              | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Reino Unido</b>  | PDCEN/TR15371            | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Rusia</b>  | GOST ISO 8124            | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Suráfrica</b>  | SANS 50071               | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | No         | No                         |
| <b>Unión Europea</b>  | EN-71                    | Seguridad de los juguetes  | Sí                             | Sí         | Sí                         |

*Fuente: modificado de ICTI, 2017.*

Otros países como Francia, Alemania, Hong Kong, Italia, Singapur, España y Suecia, cuentan con normas basadas en la ISO 8124 y la EN-71.

---

## 3.2 Legislación en México

### 3.2.1 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4 establece como garantía individual el derecho de toda persona a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. En su artículo 25, señala que corresponde al Estado la rectoría del desarrollo nacional para garantizar que éste sea integral y sustentable, que fortalezca la Soberanía de la Nación y su régimen democrático (SEMARNAT, 2017).

### 3.2.2 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Medio Ambiente

En la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), publicada en 1988, se establece la distribución de competencias y coordinación entre los tres órdenes de Gobierno: Federal, Estatal y Municipal, los cuales sus atribuciones en materia de preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección al ambiente (SEMARNAT, 2017).

En su artículo 7 establece que correspondiendo a los Estados la regulación de los sistemas de recolección, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos y de conformidad con el artículo 8 de la misma Ley, a los Municipios les corresponde la aplicación de las disposiciones jurídicas relativas a la prevención y control de los efectos sobre el ambiente ocasionados por la generación, transporte, almacenamiento, manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos e industriales que no estén considerados como peligrosos (SEMARNAT, 2017).

El Plan de Manejo permitirá que el los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos considerados como residuos puedan tener un aprovechamiento de sus materiales y no lleguen a sitios de disposición final.

### 3.2.3 Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de octubre de 2003, es la regulación que garantiza el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciando el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial (SEMARNAT, 2017).

El artículo 26 de la LGPGIR, establece que las entidades federativas y los municipios, en el ámbito de sus respectivas competencias y en coordinación con la Federación, deberán elaborar e instrumentar los programas locales para la prevención y gestión integral de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, de conformidad con la LGPGIR, con el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos y demás disposiciones aplicables (SEMARNAT, 2017).

---

### 3.2.4 Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos

Publicado el 30 de Noviembre de 2006 en el Diario Oficial de la Federación, establece en su artículo 16 las modalidades de los planes de manejo de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial (DOF, 2006).

I. Atendiendo a los sujetos que intervienen en ellos, podrán ser:

- a) Privados, los instrumentados por los particulares que conforme a la Ley se encuentran obligados a la elaboración, formulación e implementación de un plan de manejo de residuos, o
- b) Mixtos, los que instrumenten los señalados en el inciso anterior con la participación de las autoridades en el ámbito de sus competencias.

II. Considerando la posibilidad de asociación de los sujetos obligados a su formulación y ejecución, podrán ser:

- a) Individuales, aquéllos en los cuales sólo un sujeto obligado establece en un único plan, el manejo integral que dará a uno, varios o todos los residuos que genere, o
- b) Colectivos, aquéllos que determinan el manejo integral que se dará a uno o más residuos específicos y el cual puede elaborarse o aplicarse por varios sujetos obligados.

III. Conforme a su ámbito de aplicación, podrán ser:

- a) Nacionales, cuando se apliquen en todo el territorio nacional;
- b) Regionales, cuando se apliquen en el territorio de dos o más estados o el Distrito Federal, o de dos o más municipios de un mismo estado o de distintos estados, y
- c) Locales, cuando su aplicación sea en un solo estado, municipio o el Distrito Federal.

Conforme estas modalidades se elaborará el Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

### 3.2.5 Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011

Publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de febrero de 2011, establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo (DOF, 2011).

El apartado 6 de esta Norma establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial, debe cumplir con el criterio del 6.3 donde el residuo sea incluido en el Diagnostico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos de uno o más Entidades Federativas, o en un estudio Técnico-Económico.

El apartado 7 de esta Norma establece los criterios para determinar los Residuos de Manejo Especial sujetos a Plan de Manejo, los cuales deberán estar incluidos dentro del listado. Para que un nuevo Residuo de Manejo



---

Especial se pueda incluir en el mencionado Listado, deberá cumplir con el criterio señalado en el inciso 7.1 y con alguno de los criterios señalados en los incisos 7.2 ó 7.3.

El inciso 7.1 establece que con base en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos, o en un Estudio Técnico-Económico, se demuestre que se cuenta con la infraestructura necesaria para manejar el residuo, y que por sus características y cantidad generada, se requiera facilitar su gestión o mejorar su manejo en todo el país.

El inciso 7.2 indica que el residuo se trate de un residuo de alto volumen de generación, lo que implica que el residuo generado represente al menos el 10% del total de los Residuos de Manejo Especial, incluidos en el Diagnóstico Básico Estatal para la Gestión Integral de Residuos; únicamente para efectos del cálculo anterior no se considerarán los residuos de la construcción; y que sea generado por un número reducido de generadores, esto es, que el 80% del mismo, sea generado por el 20% o menos, de los generadores.

El inciso 7.3 menciona que el residuo como tal o los materiales que lo componen tengan un alto valor económico para el generador o para un tercero, es decir, que genere un beneficio en su manejo integral, a través de la reducción de costos para el generador o que sea rentable para el generador o para el tercero, con base en las posibilidades técnicas y económicas del residuo para:

- a) Su aprovechamiento mediante su reutilización, reciclado o recuperación de materiales secundarios o de energía;
- b) Su valorización o co-procesamiento a través de su venta o traslado a un tercero, o
- c) La recuperación de sus componentes, compuestos o sustancias.

El apartado 9 señala los elementos para la formulación de los planes de Manejo, los cuales deben ser:

#### 9.1 Elementos generales

##### 9.1.1 Información general

##### 9.1.2 Diagnóstico del residuo

##### 9.1.3 Formas de manejo integral propuestos para el residuo;

##### 9.1.4 Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo;

##### 9.1.5 Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional;

##### 9.1.6 Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo;



- 9.1.7 De ser aplicable, especificar los participantes del plan y su actividad;
- 9.1.8 De ser aplicable indicar los mecanismos de difusión y comunicación a la sociedad en general.
- 9.2 Elementos adicionales, los cuales atenderán a una o más de las modalidades establecidas en el artículo 16 del Reglamento.
  - 9.2.1 Privados
  - 9.2.2 Mixtos
  - 9.2.3 Individuales
  - 9.2.4 Colectivos

Con base en esta estructura se desarrollará el Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, a pesar que el residuo no está considerado como residuos de manejo especial, se considera que al terminar su vida útil son considerados residuos, y tiene una generación mayor de 10 toneladas al año.

### 3.2.6 Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011

En México se cuenta la Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011, que establece los límites de biodisponibilidad de metales pesados del área de salud ambiental para juguetes y artículos escolares (DOF, 2012).

**Tabla 3.2** Límites máximos permisibles de metales pesados en juguetes.

| Elemento soluble  |  | Antimonio | Arsénico | Bario | Cadmio | Cromo | Plomo | Mercurio | Selenio |
|---|--|-----------|----------|-------|--------|-------|-------|----------|---------|
| <b>Concentración máxima del elemento en mg/kg a partir del material analizado</b> | Cualquier material del juguetes o artículo escolar, excepto:                   |           |          |       |        |       |       |          |         |
|   | - Pasta de modelar<br>- Pintura para dedos                                     | 60        | 25       | 1000  | 75     | 60    | 90    | 60       | 500     |
|   | Artículos escolares para preescolares, pasta para modelar y pintura para dedos | 60        | 25       | 250   | 50     | 25    | 90    | 25       | 500     |






*Fuente: DOF, 2012.*

### 3.2.7 Norma Mexicana NMX-E-232-CNCP-2011



Establece y describe los símbolos de identificación que deben tener los productos fabricados de plástico, en cuanto al tipo de material se refiere, con la finalidad de facilitar su selección, separación, acopio, recolección, reciclado y/o reaprovechamiento. El símbolo se compone por tres flechas que forman un triángulo, con un número en el centro y abreviatura en la base.

En la tabla 3.2 se presentan los símbolos y algunas características de los plásticos reciclables.

**Tabla 3.3** Tipos de plástico reciclable y sus características

| Tipo de plástico   | Usos comunes  | Facilidad de reciclaje del 1 fácil al 4 muy difícil | Uso después del reciclado  | Porcentaje de residuos plásticos en el planeta | Sustancias tóxicas   |
|--|---|---|--|--|--|
| <b>PET Polietileno tereftalato</b><br>                  | Botellas de bebidas (refrescos, agua), otros envases (comidas, cremas, productos farmacéuticos, etc.)   | 1 Fácil   | Nuevas botellas, textiles para prendas de vestir, alfombras, moquetas, lanas,  | 11%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimonio</li> <li>• Formaldehído</li> <li>• Acetaldehído</li> <li>• Ftalato</li> <li>• Bisfenol A</li> <li>• Compuestos trihalometanos</li> </ul>                      |
| <b>PEAD (o HDPE) Polietileno de alta densidad</b><br>   | En numerosos envases no transparentes como botellas de leche, detergentes, de comida, aceite para motores. Es más resistente que el PET.  | 1 Fácil   | Nuevo envases, cajas, macetas, contenedores de basura, juguetes, tubos, piezas de mobiliario urbano y de jardín de botellas de detergente. | 14%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimonio</li> <li>• Bromo</li> <li>• Nonifenol</li> </ul>  |
| <b>PVC Policloruro de Vinilo</b><br>                  | Tarjetas de crédito, tuberías y otros materiales de construcción, revestimiento de cables, pieles sintéticas o algunos marcos de puertas y ventanas.                                  | 4 Muy difícil                                       | Suelas para calzado, reglas, otros artículos para el hogar o muebles para exteriores o tubos para riesgo.                                  | 5%   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Nonilfenol</li> </ul>   |
| <b>PEBD (o LDPE) Polietileno de Baja Densidad</b><br> | Film adhesivo, bolsas de la compra, plástico de burbujas, botellas flexibles, bolsas de suero, ampollitas flexibles o aislantes de cableado.  | 2 Factible  | Pueden convertirse en el mismo producto de origen y en otros usos como muebles, macetas, tubos o membranas aislantes, etc.                 | 20%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ftalato</li> <li>• Aldehídos</li> <li>• Cetonas</li> <li>• Ácidos carboxílicos</li> </ul>   |
| <b>PP Polipropileno</b><br>                           | Tapones de botellas, popotes, tupperwares, neveras portátiles, piezas de automóviles, fibras de algunos tejidos: alfombras, lonas, incluso pañales o material médico (como jeringas). | 2 Factible  | Contenedores para transporte, equipos de jardinería, sillas de plástico, textiles, escobas, cubos de fregar o raspadores de hielo.         | 19%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ftalato</li> <li>• Aldehídos</li> <li>• Cetonas</li> <li>• Ácidos carboxílicos</li> <li>• Fenol</li> <li>• Sustancias tóxicas estimulantes de la esclerosis.</li> </ul> |

**Tabla 3.3** Continuación

| Tipo de plástico   | Usos comunes   | Facilidad de reciclaje del 1 fácil al 4 muy difícil                     | Uso después del reciclado  | Porcentaje de residuos plásticos en el planeta | Sustancias tóxicas  |
|--|--|---|--|--|---|
| <b>PS Poliestireno</b><br>                    | Materiales térmicos como vasos para bebidas calientes. Envases de yougures, cubiertos de plástico, hueveras, rellenos para embalaje, bandejas de comida o aislantes. Piezas de electrodomésticos y juguetes. | 3 Difícil   | Aislamiento térmico, artículos de oficina, perchas, macetas o cubos de basura. | 6%   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimonio</li> <li>• Bromo</li> <li>• Estireno</li> <li>• Etilbenceno</li> <li>• Tolueno</li> <li>• Benceno</li> </ul> |
| <b>OTROS mezclas de varios plásticos</b><br> | Artículos electrónicos, electrodomésticos, piezas industriales, artículos médicos, garrafas de fuentes de agua o colchones.  | 4 Muy difícil al conocer con certeza los tipos de resina que contienen. | Fibras de Nailón (poliamidas-PA), discos compactos o piezas de coches.         | 24%  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Antimonio</li> <li>• Bromo</li> <li>• Bisfenol</li> </ul>  |

Fuente: DKV, 2019

### 3.3 Legislación en la Ciudad de México

#### 3.3.1 Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal

La Ley publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 13 de enero de 2000, es el instrumento legal que contiene aspectos relacionados con el manejo de los residuos, con el objetivo de conducir y evaluar la política ambiental en la Ciudad de México, así como los instrumentos y procedimientos para su protección, vigilancia y aplicación, dentro de los que se considera la gestión integral de los residuos, a fin de conservar y restaurar el equilibrio ecológico, así como prevenir los daños al ambiente, de manera que la obtención de beneficios económicos y las actividades sociales se generen en un esquema de desarrollo sustentable, lo anterior a través de la participación de la sociedad en el desarrollo y la gestión ambiental (GOCM, 2016).

El artículo 171 establece las facultades de la Secretaría del Medio Ambiente en materia de residuos sólidos, entre las que destacan, la emisión de normas ambientales con el objeto de establecer los requisitos, condiciones o límites permisibles en la operación, recolección, transporte, almacenamiento, reciclaje, tratamiento, industrialización o

---

disposición final de residuos sólidos, así como en el manejo de residuos sólidos que presenten riesgo para el ser humano, para el equilibrio ecológico o para el ambiente (GODF, 2000).

### **3.3.2 Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal**

La Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal publicada en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el 22 de abril de 2003, establece en su artículo 3 fracción XXI que el Plan de Manejo es el Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno (GOCD, 2016).

El artículo 23 Fracción I establece que las personas físicas o morales responsables de la producción, recolección, manejo, tratamiento, reciclaje, reutilización, distribución o comercialización de bienes que, una vez terminada su vida útil, originen residuos sólidos en alto volumen, de manejo especial o que produzcan desequilibrios significativos al medio ambiente, cumplirán con instrumentar planes de manejo de los residuos sólidos en sus procesos de producción, prestación de servicios o en la utilización de envases y embalajes, así como su fabricación o diseño, comercialización o utilización que contribuyan a la minimización de los residuos sólidos y promuevan la reducción de la generación en la fuente, su valorización o disposición final, que ocasionen el menor impacto ambiental posible (GODF, 2003).

Con el motivo de reducir la generación de plásticos en la Ciudad de México, el 1 de enero de 2020 entró en vigor la reforma a la Ley de Residuos Sólidos que prohíben la comercialización, distribución y entrega de bolsas de plástico desechable como lo establece el artículo 25 fracción IX BIS. A partir de 2021 entrará en vigor la prohibición de la comercialización, distribución y entrega de tenedores, cuchillos, cucharas, palitos mezcladores, platos, popotes o pajitas, bastoncillos para hisopos de algodón, globos y varillas para globos, vasos y sus tapas, charolas para transportar alimentos, aplicadores de tampones, fabricados total o parcialmente de plásticos, diseñados para su depositados en los residuos después de un solo uso (GOCD, 2019).

---

### 3.3.3 Reglamento de la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal

Publicado el 7 de octubre de 2008 en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, establece la elaboración de Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos (PGIRS) en su artículo 4, así mismo considera que El Programa para la Prestación de Servicio Público de Limpia será elaborado conforme el PGIRS y contendrá los criterios de manejo de residuos sólidos en cada una de sus instalaciones y El Programa de capacitación y adiestramiento de los generadores de los residuos sólidos de las colonias, fraccionamientos y unidades habitacionales establecidas en sus demarcaciones territoriales para la clasificación y separación de los residuos sólidos desde la fuente de origen (GOCM, 2016).

El artículo 28 establece que los residuos de manejo especial que se refiere el artículo de la Ley son:

- I. Envases y embalajes de materiales plásticos como tereftalato de polietileno (PET), polietileno de baja y alta densidad (PELD y PEHD), polipropileno (PP), policloruro de vinilo (PVC), policarbonato (PC) y poliestireno (PS);
- II. Envases multicapas, vidrio y metálicos;
- III. Tarimas y embalajes de madera;
- IV. Pañales desechables y toallas sanitarias;
- V. Llantas y/o neumáticos;
- VI. Grasas y aceites de origen animal y/o vegetal;
- VII. Los demás que establezcan en forma conjunta la Secretaría y la Secretaría de Obras y que se publiquen en la Gaceta Oficial del Distrito Federal (GODF, 2008).

### 3.3.4 Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México

En octubre de 2004 se publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal el primer Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para el Distrito Federal, hoy Ciudad de México, (PGIRS) 2004-2008, el principal logro fue constituirse como el primer documento en su tipo a nivel nacional.

El Programa de Gestión integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México es un instrumento rector que proporciona los lineamientos, acciones y metas para la gestión integral de los residuos sólidos en la Ciudad de México, así como para el manejo ambientalmente sustentable por parte de los diferentes sectores de la sociedad, además de los establecimientos industriales, comerciales y de servicios.

Este primer programa estableció la separación de los residuos en dos fracciones “orgánico” e “inorgánico” por parte de la población y se propuso alinear el esquema de prestación del servicio de limpia y manejo de residuos.

---

Asimismo, se inició con la creación de instrumentos administrativos para el desarrollo de planes de manejo para grandes generadores y generadores de residuos de manejo especial y se crearon los primeros planes de manejo de residuos colectivos como son el Plan de Manejo de Llantas Usadas y el Plan de Manejo de Cartuchos de Tinta y Tóner, entre otros (GOCM, 2016).

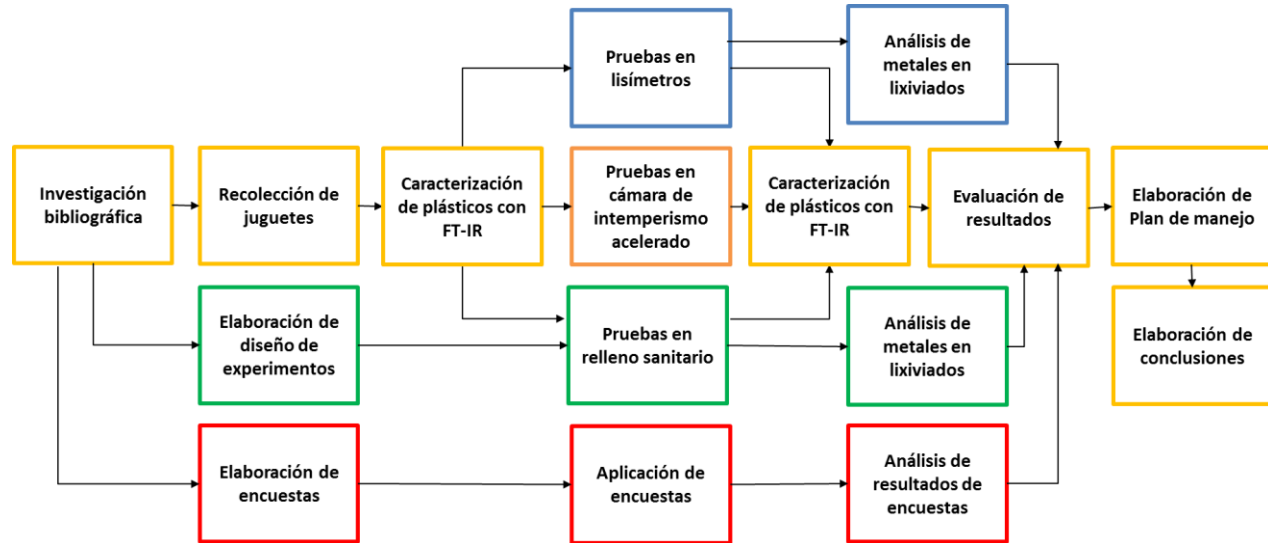
Los subprogramas del PGIRS 2016–2020, se desarrollaron partiendo de la premisa “la separación de los residuos desde la fuente”. Esta premisa, más la experiencia y lecciones aprendidas, con la que cuenta la Ciudad de México a más de 10 años de la primer emisión del Programa de Gestión Integral de los Residuos para el Distrito Federal, plantea un nuevo reto para las autoridades del Gobierno de la Ciudad y sus demarcaciones territoriales. El reto es lograr un concepto de vida sustentable, llamado “Basura Cero”, el cual establece reducir los residuos, revalorizando la mayor cantidad posible de materiales, implementando nuevas tecnologías en el tratamiento y aprovechamiento de los residuos, a fin de evitar el envío de residuos a disposición final (GOCM, 2016).

### **3.3.6 NADF-024-AMBT-2013**

El 8 de julio de 2015 el Gobierno de la Ciudad de México publicó en la Gaceta Oficial del Distrito Federal, la 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 de la Ciudad de México; esta norma contempla en uno de sus apartados a “los residuos peligrosos provenientes de fuentes distintas a los establecimientos comerciales, industriales o de servicios” (GODF, 2015).

## Capítulo 4. METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología que se utilizó para realizar la parte experimental y de laboratorio para el desarrollo de la tesis y cumplir los objetivos. En la Figura 4.1 se presenta el diagrama de flujo de la metodología.



**Figura 4.1** Diagrama de flujo de metodología general del trabajo de tesis

### 4.1 Caracterización de los juguetes

Los juguetes se recolectaron del Museo del Juguete Antiguo Mexicano así como de puestos de venta de juguetes plásticos en el centro de la Ciudad de México. Se realizaron las mediciones de alto, ancho, largo y peso de cada uno de los juguetes recolectados.

En la tabla 4.1 se presentan las técnicas que se emplearán en la determinación de los parámetros utilizados haciendo mención de las condiciones particulares que la técnica menciona.

**Tabla 4.1** Técnicas para determinar parámetros de la caracterización de juguetes plásticos

| Parámetro                    | Método analítico   | Técnica                                      |
|------------------------------|--------------------|--|
| <b>Variable de respuesta</b> |                    |  |
| <b>Tipo de plástico</b>      | ASTM E573-01(2013) | Espectrofotometría Infrarroja (FTIR) con ATR |

Posteriormente se caracterizaron los plásticos de los juguetes con un equipo por transmisión espectroscópica de infrarrojo por transformada de Fourier con accesorio Reflectancia Total Atenuada (FTIR-ATR, por sus siglas en inglés), en un rango espectral comprendido entre 400 a 4,000  $\text{cm}^{-1}$ , marca Perkin Elmer Modelo Spectrum Two. Al término de la pruebas en los lixiviados y las celdas del relleno sanitarios, las muestras de los juguetes tuvieron que







ser analizadas con el equipo marca Thermo Scientific Modelo Nicolet iS10 con un rango espectral de 550 a 4,000  $\text{cm}^{-1}$ , ambos equipos se aprecian en la Figura 4.2.



**Figura 4.2** Espectrofotómetro FTIR-ATR Spectrum Two / Espectrofotómetro FTIR-ATR Nicolet iS10

Así mismo, se clasificaron por tipo de plástico como se muestra en la tabla 4.2.

**Tabla 4.2** Clasificación de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos

| Clave            | Juguete A  | Juguete B  | Juguete C   | Juguete D  |
|------------------|--|--|---|--|
| Imagen           |  |  |  |  |
| Tipo de plástico | SAN  | PVC  | Extremidades y cabeza:<br>PVC con PVAc<br>Torso: ABS                                | PE   |

## 4.2 Pruebas en lisímetros

En primer lugar se realizó una prueba presuntiva con el objetivo de determinar factores que influyan en la generación de lixiviados para el experimento de la colocación de los juguetes en el relleno sanitario.

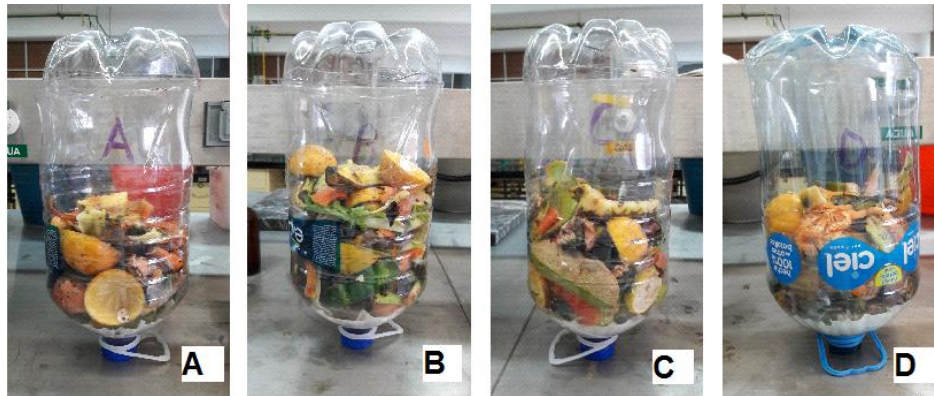
En la tabla 4.3 se presenta la asignación de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos en los lisímetros.

**Tabla 4.3** Asignación de juguetes en los lisímetros

| Juguete     | Tipo de plástico    | Lisímetro |
|-------------|---------------------|-----------|
| Superhéroe  | SAN                 | A         |
| Muñeco bebé | PVC                 | B         |
| Muñeca      | PVC con PVAc, y ABS | C         |
| Luchador    | PE                  | D         |

Se colocaron los juguetes con una mezcla de Fracción Orgánica de Residuos Sólidos Urbanos (FORSU) en botes de plástico de 10 litros (lisímetros) y, para evitar le generación de malos olores y vectores, se colocaron en el techo del edificio S de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, como muestra en las figuras 4.3. y 4.4.





**Figura 4.3** A) Lisímetro con juguete superhéroe, B) Lisímetro con juguete muñeco bebé, C) Lisímetro con juguete muñeca Barbie, D) Lisímetro con juguete luchador.



**Figura 4.4** Colocación de lisímetros

En la tabla 4.3 se especifican los pesos de los juguetes así como de la FORSU que se colocaron en cada lisímetro

**Tabla 4.4** Peso de juguetes y FORSU en lisímetros

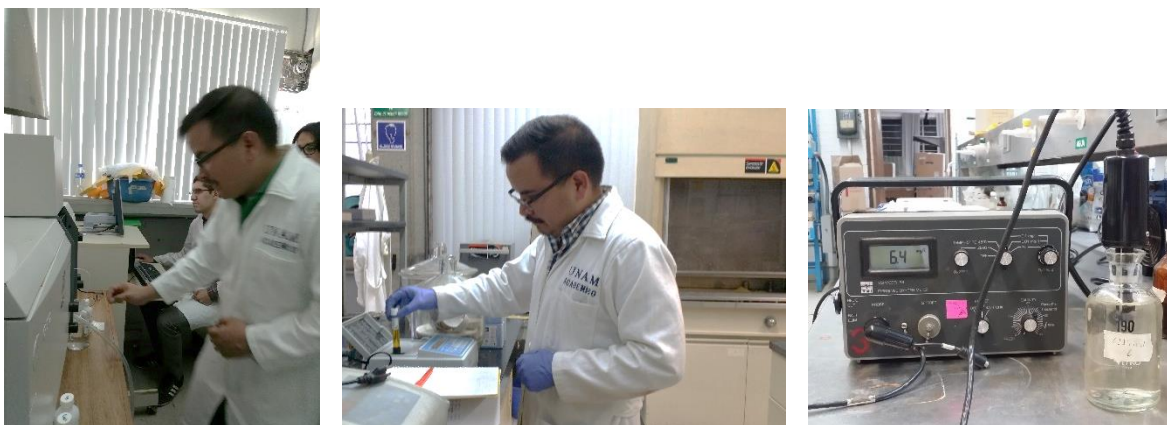
| Lisímetro | Cantidad de juguetes | Peso de Juguete (kg) | Peso de FORSU (kg) | Porcentaje peso del juguete (%) |
|-----------|----------------------|----------------------|--------------------|---------------------------------|
| A         | 1                    | 0.154                | 1.550              | 10                              |
| B         | 1                    | 0.370                | 3.757              | 10                              |
| C         | 1                    | 0.128                | 1.389              | 10                              |
| D         | 4                    | 0.094                | 1.052              | 10                              |

Las técnicas empleadas en la determinación de los parámetros utilizados haciendo mención de las condiciones particulares que la técnica menciona se presentan en la Tabla 4.5. Cabe destacar que las variables de respuesta son 3: a) la concentración de plomo en los lixiviados, b) el porcentaje de pérdida de peso de cada juguete y, c) la degradación del plástico con los espectros infrarrojos. Únicamente la concentración de plomo en lixiviados se realizará el análisis al finalizar los 12 meses, mientras que las otras dos variables se midieron al inicio y final de la prueba. Las variables secundarias serán el DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y Temperatura, las cuales se monitorearon cuando se cuente con el suficiente lixiviado.

**Tabla 4.5** Técnicas para determinar parámetros de las pruebas en lisímetros

| Parámetro                    | Método analítico             | Técnica                                      |
|------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Variable de respuesta</b> |                              |  |
| Degradación de plástico      | ASTM G154 y D4329            | Gravimetría. Diferencia de masas             |
| Degradación de plástico      | ASTM E573-01(2013)           | Espectrofotometría Infrarroja (FTIR) con ATR |
| Plomo en lixiviados          | NMX-AA-051-SCFI-2011         | Espectrofotometría de absorción atómica      |
| <b>Variables secundarias</b> |                              |  |
| DBO <sub>5</sub>             | NMX-AA-028-SCFI-2001         | Método electrométrico                        |
| DQO                          | APHA-AWWA-WEF 5220-D         | Equipo Hach colorimétrico                    |
| pH                           | Determinación de pH          | Equipo multiparamétrico                      |
| Temperatura                  | Determinación de temperatura | Equipo multiparamétrico                      |

El Espectrofotómetro de Absorción Atómica utilizado es marca GBC, modelo AVANTA, año 2000, con lámpara de cátodo hueco. Así mismo el equipo para determinar la DBO<sub>5</sub> es un medidor de oxígeno disuelto marca YSI, modelo 58. El equipo Hach colorimétrico es marca Hach modelo DR/2000 (ver figura 4.5). Estos equipos también se utilizarán para las pruebas en el relleno sanitario.



**Figura 4.5** Espectrofotómetro de AA GB Avanta / Espectrofotómetro Hach DR2000 / Medidor de Oxígeno disuelto YSI 58

### 4.3 Pruebas en la cámara de intemperismo acelerado

Para el diseño estadístico experimental se tomaron en cuenta los factores involucrados dentro de la experimentación, se definió la unidad experimental, el tratamiento y la cantidad de repeticiones, así como el modelo estadístico del experimento.

A 11 juguetes se les aplicó la prueba de intemperismo acelerado, realizada en la Unidad de Investigación y Asistencia Técnica de Materiales (UDIATEM) en el laboratorio de corrosión del departamento de mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM. La prueba está basada en la norma ASTM G151, ASTM G154 y ASTM D4329

para determinar el envejecimiento de especímenes plásticos mediante variaciones de humedad, temperatura y radiación UV.

En la cámara se simularon humedad, temperatura y radiación UV de la estación meteorológica más cercana al relleno sanitario CEMIRQ ubicado en el municipio de Colón, Querétaro, con un ciclo de 12 minutos equivalentes a un día, los ciclos se repitieron hasta completar 3 años de envejecimiento. En la figura 4.6 se muestra el equipo utilizado así como los juguetes de la prueba, éstos últimos se colocaron de manera aleatoria.



**Figura 4.6** A) Equipo utilizado para la prueba, B) Juguetes dentro de la cámara

Las técnicas realizadas en la determinación de los parámetros utilizados haciendo mención de las condiciones particulares que la técnica menciona se identifican en la tabla 4.6. Cabe destacar que la variable de respuesta son: a) el porcentaje de la diferencia de peso de los juguetes y, b) la degradación de plástico con respecto a sus espectros infrarrojos. Ambas variables de respuesta se realizaron al inicio y al final de la prueba.

**Tabla 4.6** Técnicas para determinar parámetros de la prueba en cámara de intemperismo acelerado

| Parámetro               | Método analítico   | Técnica                                      |
|-------------------------|--------------------|--|
| Degradación de plástico | ASTM G154 y D4329  | Gravimetría. Diferencia de masas             |
| Degradación de plástico | ASTM E573-01(2013) | Espectrofotometría Infrarroja (FTIR) con ATR |

#### 4.4 Pruebas en el relleno sanitario

Primero se solicitó el apoyo de la empresa Centro de Manejo Integral de Residuos Querétaro (CEMIRQ), la cual cuenta con un relleno sanitario ubicado en el municipio de Colón, para construir las 12 celdas impermeabilizadas que se requirieron colocar los juguetes plásticos con la FORSU proveniente del municipio de Querétaro.

Al mismo tiempo, se determinó el cálculo de la generación de lixiviados para 1 m<sup>3</sup> de residuos que se colocaron en cada celda.

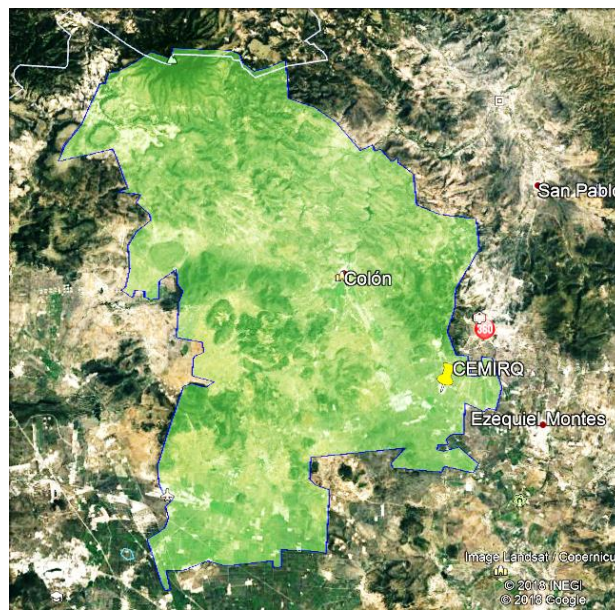


Enseguida se pesaron los juguetes y se colocaron con base en el tipo de polímero que lo constituye. Se seleccionó la fracción orgánica proveniente del municipio de Querétaro y se mezcló con los juguetes para rellenar las celdas.

#### 4.4.1 Localización del relleno sanitario

La investigación se realizó en el relleno sanitario del CEMIRQ, ubicado en el municipio de Colón, perteneciente al estado de Querétaro. Este municipio se encuentra a una altitud entre 1700 y 3400 m.s.n.m. y tiene un superficie de 807.24 km<sup>2</sup>, con una población de 62,667 habitantes (INEGI, 2015).

El relleno sanitario se encuentra ubicado en las coordenadas 20°41'42.87" N y 99°58'30.62" O, e inicio operaciones en julio de 2016, está operado por la empresa Centro de Manejo Integral de Residuos Querétaro (CEMIRQ), de acuerdo a la norma NOM-083-SEMARNAT-2003 que establece los criterios mexicanos para la construcción y operación de un relleno sanitario. En la Figura 4.7 se presenta la ubicación del CEMIRQ dentro del municipio de Colón del Estado de Querétaro.



**Figura 4.7** Ubicación del CEMIRQ

Este sitio de disposición final recibe un promedio de 600 ton/día, con una capacidad de compactación de 700 kg/m<sup>3</sup>. Los residuos utilizados para la investigación fueron provenientes del municipio de Querétaro.

#### 4.4.2 Parámetros climatológicos de la zona de estudio

Para determinar el volumen de lixiviados generados en cada celda, se investigaron los parámetros hidrometeorológicos históricos de la estación meteorológica 22034 Villa Bernal de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y el Servicio Meteorológico Nacional (SMN), debido a que se encuentra a 6 km de la zona de estudio, la más cercana.

Así mismo, se monitoreó mensualmente en el año 2019 los parámetros promedio de precipitación, temperatura y humedad, de la estación IEZEQUIE2 perteneciente a la red de estaciones hidrometeorológicas de la Comisión Estatal de Aguas del Estado de Querétaro, con las coordenadas Lat: 20.65 y Lon:-99.94 (ver Tabla 4.7).

**Tabla 4.7** *Parámetros promedio hidrometeorológicos de estación meteorológica IEZEQUIEL2*

| Parámetro          | 2019  |         |       |       |       |       |       |        |            |         |           |           | 2020  |
|--------------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
|                    | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo  | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero |
| Precipitación (mm) | 29.7  | 0.00    | 1.5   | 1.5   | 7.6   | 144.0 | 10.9  | 77.4   | 59.1       | 102.1   | 3.8       | 7.6       | 15.49 |
| Temperatura (°C)   | 13.05 | 16.11   | 17.38 | 19.27 | 21.72 | 19.83 | 18.77 | 19.5   | 18.05      | 17.61   | 16.05     | 13.11     | 13.27 |
| Humedad (%)        | 50    | 38      | 40    | 29    | 32    | 52    | 53    | 53     | 57         | 59      | 54        | 47        | 47    |

#### 4.4.3 Cálculo de la producción de lixiviados

Vázquez en 2001 utilizó las siguientes fórmulas para la determinación de la producción de lixiviados en el relleno sanitario de Salinas Victoria. En el Anexo A se presentan los resultados de todos los cálculos.

##### 4.1.3.1 Cálculo de la escorrentía

Para el cálculo de escorrentía en la zona del relleno se tomó el coeficiente de escurrimiento del 10%.

Escorrentía = Precipitación mensual (mm) x Porcentaje de escorrentía

##### 4.1.3.2 Cálculo de evapotranspiración potencial ajustada

Para el cálculo de la Evapotranspiración Potencial Ajustada se utilizó la fórmula de Thornthwaite como se presenta a continuación.

T = Temperatura media del aire en °C

i = índice de calor anual =  $(T / 5)^{1.514}$

a =  $675 \times 10^{-9} i^3 - 771 \times 10^{-7} i^2 + 1972 \times 10^{-5} i + 0.49239$

ET = Evapotranspiración potencial media =  $1.6 (10T / i)^a$

ETP = Evapotranspiración potencial ajustada = ET(K)

K = Factor que depende de la latitud del lugar y del mes del año.

##### 4.1.3.3 Cálculo de la evapotranspiración real

---

La evapotranspiración real se calculó a partir de la evapotranspiración potencial ajustada, haciendo un balance hidráulico con base en el método recomendado por Custodio en 1976, quien establece la Reserva de Agua Utilizable (RAU) de 108 mm, y en función al excedente o déficit de RAU se determina la evapotranspiración real.

#### 4.1.3.4 Cálculo de las tasas de infiltración potencial de agua a través de la cubierta del relleno sanitario.

Para calcular la infiltración potencial de agua a través de la cubierta del relleno, primero hay que calcular la capacidad de almacenamiento de agua en el material de cobertura y el déficit de humedad inicial en el mismo material.

Para una arcilla, que es el material de cobertura en el relleno sanitario, le corresponde una capacidad de campo de 35, el punto de marchitez permanente de 17 y el contenido de humedad del material de cobertura es el 50% de su capacidad de campo.

#### 4.1.3.5 Cálculo de la cantidad de agua que entra en el relleno sanitario

La infiltración potencial es igual al exceso de humedad menos el déficit de humedad inicial del material de cobertura, siendo el primero la resta de la precipitación menos la evapotranspiración real menos la escorrentía.

#### 4.1.3.6 Cálculo de la relación residuo / suelo

Se determinó la relación residuo/material de cobertura, en función del peso específico compactado inicial, para un volumen de 1 m<sup>3</sup>, con dimensiones de 1 m de ancho, 1 m de largo y 1 m de alto. El peso específico de los residuos compactados es de 750 kg/m<sup>3</sup>. El espesor de la cubierta es de 20 cm, por lo tanto la relación es de 4:1.

#### 4.1.3.7 Cálculo de producción de lixiviados

Se consideran los valores calculados anteriormente y se utiliza la fórmula:

- a) Factor de capacidad de campo

$$FC = 0.60 - (0.55) \left[ \frac{W}{4536 + W} \right]$$

Donde W es el peso medio de la celda

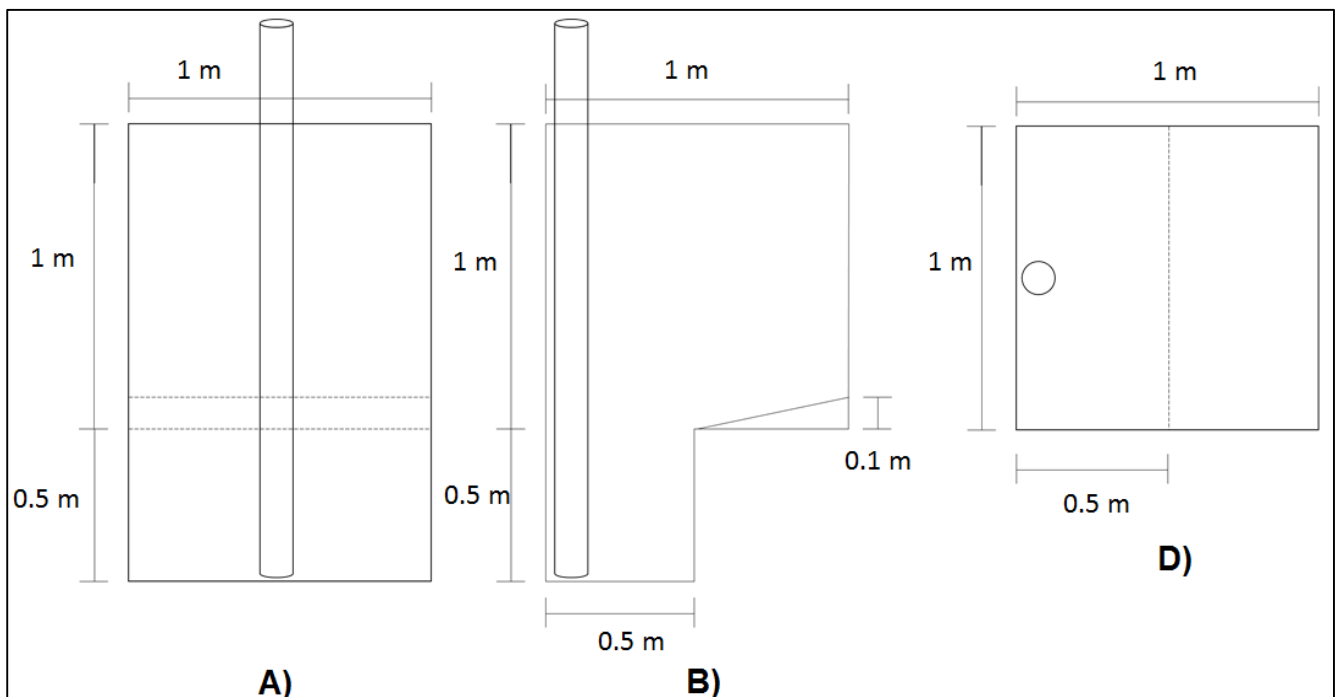
- b) Lixiviados producidos

Lixiviado producido = Peso real de los residuos – capacidad de campo de los residuos

#### 4.4.4 Construcción de celdas en el relleno sanitario

Se estableció construir 12 celdas con un volumen de  $1 \text{ m}^3$ , y con el dato de la producción de lixiviados anual por cada celda, se construyó en cada celda impermeabilizada con un canal de contención de los lixiviados con una capacidad de  $0.25 \text{ m}^3$ .

En la figura 4.8 se presenta las dimensiones del diseño de una celda, en la vista frontal se observa las dimensiones de la celda de 1 m por lado, en la parte inferior se aprecia el canal de contención de 0.5 m de alto y 1 m de largo. En la vista lateral se observa con mayor claridad el canal de contención de 0.5 m de alto y 0.5 m de ancho, en la parte superior también se cuenta con un declive para lograr que los lixiviados generados en la celda se depositen en el canal de contención.



**Figura 4.8** A) Vista frontal de la celda, B) vista lateral de la celda, C) Vista aérea de la celda

#### 4.4.5 Diseño de experimento de los juguetes en el relleno sanitario

Este estudio se realizó para comprobar que los lixiviados generados en un relleno sanitario pueden arrastrar los metales pesados que puedan contener los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

El experimento se montó conforme un diseño completamente al azar en el que se probaron cuatro tratamientos: testigo, PE, SAN, y PVC con PVAc y ABS. Estos cuatro tratamientos se colocaron en 12 celdas, donde se mantuvieron en un periodo de 10 meses para permitir la generación de lixiviados por medio del periodo de lluvias en el municipio de Colón del Estado de Querétaro.

El modelo estadístico correspondiente a este experimento es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu_i + \varepsilon_{ij} \quad i=1,2,3,4 \quad j=1,2,3$$

Donde

$Y_{ij}$  = variable de respuesta de la unidad  $j$ -ésima del  $i$ -ésimo tratamiento

$\mu_i$  = es la media del  $i$ -ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = es el error experimental de la unidad  $ij$

La hipótesis a probar es que no hay diferencia en las medias de la variable de respuesta en los 4 tratamientos.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

En la tabla 4.8 se muestra la aleatorización realizada con el programa R de los tratamientos en las celdas, donde la clave JA corresponde al tipo de plástico PVC con PVAc y ABS, la clave JB corresponde al tipo de plástico SAN, la clave JC corresponde al plástico PE y la clave T corresponde al Testigo. La construcción, el recubrimiento y la colocación de una lona para identificar la ubicación del experimento dentro del relleno sanitario se identifican en la figura 4.9.

**Tabla 4.8** Distribución de juguetes y testigos en celdas

|                        |                        |                         |                         |
|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>Celda 1</b><br>JA-3 | <b>Celda 2</b><br>T-1  | <b>Celda 3</b><br>T-2   | <b>Celda 4</b><br>JB-3  |
| <b>Celda 5</b><br>JB-1 | <b>Celda 6</b><br>JC-1 | <b>Celda 7</b><br>JA-1  | <b>Celda 8</b><br>JC-3  |
| <b>Celda 9</b><br>JC-2 | <b>Celda 10</b><br>T-3 | <b>Celda 11</b><br>JB-2 | <b>Celda 12</b><br>JA-2 |

Fuente. Elaboración propia.



**Figura 4.9** Construcción de celdas / Recubrimiento de celdas / Lona de identificación de proyecto



---

#### 4.1.4.1 Descripción de la unidad experimental

En el diseño de experimento, la unidad experimental es la celda del relleno sanitario.

El factor bajo estudio que tendrá es el tipo de plástico con 4 niveles con los tratamientos. El número de repeticiones fueron 3.

#### 4.1.4.2 Preparación de la unidad experimental

El CEMIRQ permitió un espacio en sus instalaciones donde cuentan con un relleno sanitario para construir 12 celdas de 1 metro cubico cada una, recubiertas con geomembranas impermeables de polietileno de alta densidad con 1.5 mm de grosor y 0.941 g/cm<sup>3</sup> de densidad. Con base en cada celda, se diseñó una canaleta de recolección de lixiviados. La FORSU de los residuos que ingresaron al relleno sanitario fue elegida para colocar aproximadamente 750 kg en cada celda.

#### 4.1.4.3 Parámetros de operación y calidad

La variable de respuesta que se determinó para medir el efecto de los tratamientos fue la cantidad de plomo que se encontró presente en los lixiviados. Así mismo, se consideran otras variables secundarias que se midieron mensualmente a partir del inicio de la temporada de lluvias, las cuales son DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y Temperatura.

#### 4.1.4.4 Duración del experimento de la colocación de los juguetes en el relleno sanitario

Una vez armadas las celdas se colocaron los juguetes con la FORSU, el inicio de lluvias empezó en el mes de julio y se comenzaron las determinaciones de los parámetros. A partir del día cero se tuvo un periodo de 10 meses.

#### 4.1.4.5 Técnicas para medir las variables de respuesta

Las técnicas que se emplearon en la determinación de los parámetros utilizados haciendo mención de las condiciones particulares que la técnica menciona, se presentan en la tabla 4.9. Cabe destacar que las variables de respuesta son: a) la concentración de plomo en los lixiviados; b) el porcentaje de pérdida de peso de los juguetes y, c) la degradación del plástico con los espectros infrarrojos. Únicamente se realizó el análisis al finalizar los 10 meses de colocación de los juguetes en el relleno sanitario, las variables secundarias serán el DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y Temperatura.

**Tabla 4.9** Técnicas para determinar parámetros en la prueba del relleno sanitario

| Parámetro                      | Método analítico             | Técnica                                      |
|--------------------------------|------------------------------|--|
| <b>Variable de respuesta</b>   |                              |  |
| <b>Tipo de plástico</b>        | ASTM E573-01(2013)           | Espectrofotometría Infrarroja (FTIR) con ATR |
| <b>Degradación de plástico</b> | ASTM G154 y D4329            | Gravimetría. Diferencia de masas             |
| <b>Degradación de plástico</b> | ASTM E573-01(2013)           | Espectrofotometría Infrarroja (FTIR) con ATR |
| <b>Plomo en lixiviados</b>     | NMX-AA-051-SCFI-2011         | Espectrofotometría de absorción atómica      |
| <b>Variables secundarias</b>   |                              |  |
| <b>DBO<sub>5</sub></b>         | NMX-AA-028-SCFI-2001         | Método electrométrico                        |
| <b>DQO</b>                     | APHA-AWWA-WEF 5220-D         | Equipo Hach colorimétrico                    |
| <b>pH</b>                      | Determinación de pH          | Equipo multiparamétrico                      |
| <b>Temperatura</b>             | Determinación de temperatura | Equipo multiparamétrico                      |

El equipo utilizado para la determinación de pH y temperatura de los lixiviados es un equipo multiparamétrico marca Oakton, modelo PC450 (véase figura 4.10).



**Figura 4.10** Equipo multiparamétrico Oakton PC450

Las muestras de lixiviados de las celdas para el análisis de DBO<sub>5</sub>, DQO y Plomo, fueron recolectadas y conservadas con ayuda de un frasco de 100 ml, como lo establece la NMX-AA-051-SCFI-2001 (metales pesados) y la NMX-AA-030/2-SCFI-2011 (DQO), como se muestra en la Figura 4.11.



**Figura 4.11** Toma y conservación de muestras de las celdas del relleno sanitario

#### 4.5 Elaboración y aplicación de encuestas

El INEGI (2015), establece que del total de 2,601,323 hogares en la Ciudad de México, el 85% (2,211,480 hogares) son familiares en la Ciudad de México, pero hay 1,218,995 hogares con población menor de 18 años, es decir hogares con niños y jóvenes menores de 18 años. Estos últimos son la población de interés para aplicar la encuesta y conocer el manejo que se le da a los juguetes una vez que terminan su vida útil.

Cochran (1980) presenta la siguiente fórmula para determinar el tamaño de muestra ( $n$ ) para una población de tamaño  $N$  muy grande.

$$n = \frac{z_{1-\alpha/2}^2 \times P(1 - P)}{\delta^2}$$

Donde:

$n$  = tamaño de la muestra

$Z_{1-\alpha/2}$  = 1.96, para el nivel de confianza del 95%

$P(1-P)$  = 0.25, varianza máxima cuando  $P$  es igual a 0.5

$\delta^2$  = Precisión

Quedando de la siguiente manera

$$n = \frac{(1.96)^2 \times P(1 - P)}{\delta^2} \approx \frac{2^2 (0.25)}{\delta^2} = \frac{1}{\delta^2}$$

Considerando una precisión de 5%, el número de encuesta a aplicar a los hogares con población menor de 18 años son 400. En el Anexo B se presentan las preguntas elaboradas a los encuestados.

## Capítulo 5. RESULTADOS Y SU DISCUSIÓN

### 5.1 Resultados de las pruebas de caracterización de tipos de plástico

Inicialmente se realizó el pesaje y medición de los juguetes, los resultados se encuentran en la tabla 5.1

**Tabla 5.1** Características físicas de los juguetes

| Juguete  | Peso (kg) | Alto (cm) | Largo (cm) | Ancho (cm) |
|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| <b>A</b> | 0.154     | 29        | 8.5        | 4          |
| <b>B</b> | 0.370     | 32        | 14         | 9          |
| <b>C</b> | 0.128     | 28.5      | 8          | 5          |
| <b>D</b> | 0.024     | 10        | 8.5        | 3          |

En la tabla 5.2 se presenta las muestras que se tomaron de los juguetes para realizar la caracterización del tipo de polímero que está constituido cada juguete.

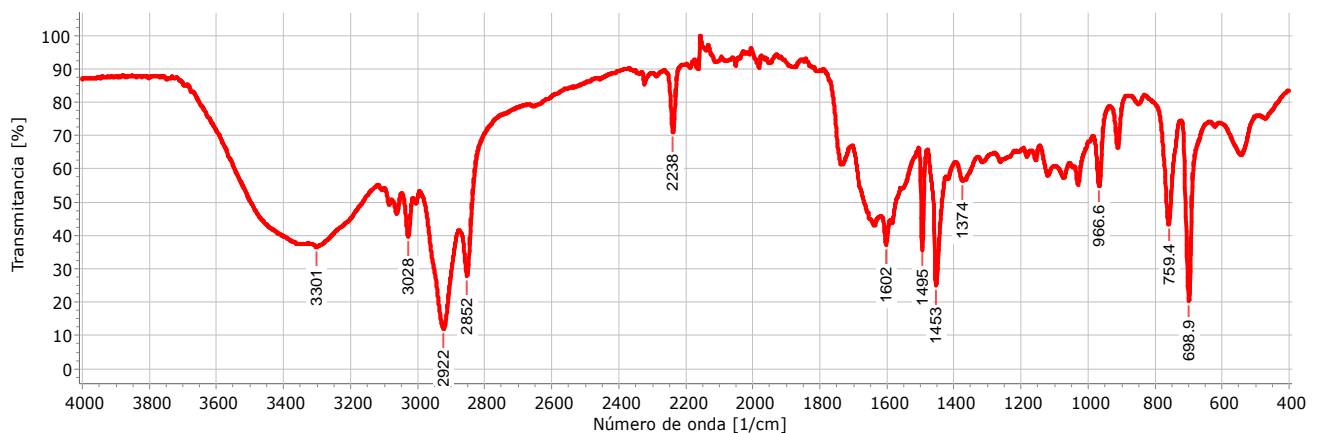
**Tabla 5.2** Muestras tomadas para caracterización de juguetes

| Juguete  | Cara | Pierna | Brazo | Torso |
|----------|------|--------|-------|-------|
| <b>A</b> |      |        |       | X     |
| <b>B</b> |      |        |       | X     |
| <b>C</b> | X    | X      | X     | X     |
| <b>D</b> |      |        |       | X     |

A continuación se presentan los espectros obtenidos de los juguetes analizados:

#### A) Superhéroe

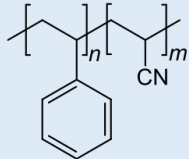
Las tablas de interpretación del espectro infrarrojo de Rojo (2015) y Jung, et al. (2017), permitieron la identificación de las bandas de absorción el espectro obtenido del juguete, se determinó que existe una mezcla de compuesto, pero su estructura principal es el Acrilonitrilo estireno (SAN), el espectro del juguete se muestra en la figura 5.1.



**Figura 5.1** Espectro infrarrojo del juguete A

Jung, y otros (2018) realizaron la identificación de las bandas de absorción del plástico SAN (ver tabla 5.3), las cuales coinciden con el espectro infrarrojo obtenido del análisis del plástico del juguete.

**Tabla 5.3** Principales grupos y sus vibraciones del plástico SAN en el espectro FTIR-ATR

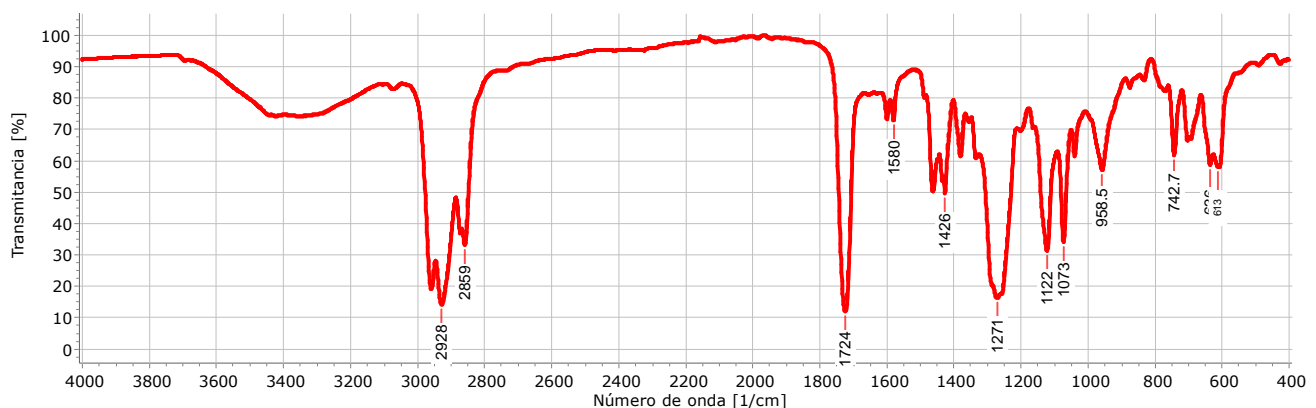
| Polímero (código reciclaje)       | Estructura Química  | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo                                      |
|-----------------------------------|---|--|--|
| <b>Acrilonitrilo estireno (7)</b> |  | 2922   | CH <sub>2</sub> estiramiento               |
|                                   |   | 2852   | CH <sub>2</sub> estiramiento               |
|                                   |   | 2238   | Nitrilo conjugado                          |
|                                   |   | 1602   | Anillo aromático estiramiento              |
|                                   |   | 1494   | Anillo aromático estiramiento              |
|                                   |   | 1453   | CH <sub>2</sub> torsión                    |
|                                   |   | 966  | CH <sub>2</sub> torsión                    |
|                                   |   | 759  | CH aromático fueran del plano, =CH torsión |
|                                   |   | 698  | CH aromático fuera del plano               |

*Fuente: Jung, y otros, 2018*

Las demás bandas de absorción son compuestos de aditivos y colorantes que requerirían más pruebas para su identificación y caracterización, sin embargo el propósito es identificar el tipo de polímero con que está elaborado el juguete.

#### B) Muñeco bebé

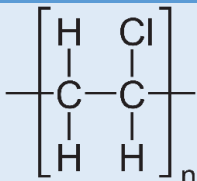
Rojo (2015) y Jung, et al. (2017) publicaron tablas de interpretación del espectro infrarrojo, las cuales permitieron la identificación de las bandas de absorción el espectro obtenido del juguete (ver figura 5.2), se identificó que existe una mezcla de compuestos, pero su estructura principal es el Policloruro de Vinilo (PVC).



**Figura 5.2** Espectro infrarrojo de juguete B

La identificación de las bandas de absorción del plástico PVC (ver tabla 5.4) se logró con la investigación de Jung, y otros (2018), las cuales coinciden con el espectro infrarrojo obtenido del análisis del plástico del juguete.

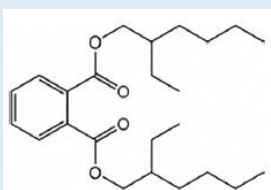
**Tabla 5.4** Principales grupos y sus vibraciones del PVC en el espectro FTIR-ATR

| Polímero (código reciclaje) | Estructura Química  | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo                        |
|-----------------------------|---|--|------------------------------|
| <b>PVC (3)</b>              |  | 2928   | CH <sub>2</sub> estiramiento |
|                             |   | 2859   | CH <sub>2</sub> estiramiento |
|                             |   | 1426   | CH <sub>2</sub> torsión      |
|                             |   | 1271   | CH <sub>2</sub> torsión      |
|                             |   | 610  | C-Cl estiramiento            |

Fuente: Jung, y otros, 2018

Cabe señalar que existen otras bandas intensas en el espectro del juguete, las cuales son características del plastificante Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP) (ver tabla 5.5).

**Tabla 5.5** Principales grupos y sus vibraciones del DEHP en el espectro FTIR-ATR

| Ftalato                              | Estructura Química   | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo   |
|--------------------------------------|--|--|---|
| <b>Di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)</b> |  | 3073   | C-H vibración del anillo aromático              |
|                                      |  | 2959   | C-H estiramiento                                |
|                                      |  | 2859   | CH <sub>2</sub> estiramiento                    |
|                                      |  | 1724   | C=O vibración                                   |
|                                      |  | 1600, 1580   | Estiramiento del cuadrante del anillo aromático |
|                                      |  | 1040   | C-C vibración                                   |
|                                      |  | 1122   | C-O vibración                                   |
|                                      |  | 741  | Anillo orto aromático vibración                 |
|                                      |  | 610  | C-Cl estiramiento                               |

Fuente: Higgins, 2013; Jegede, et al., 2019

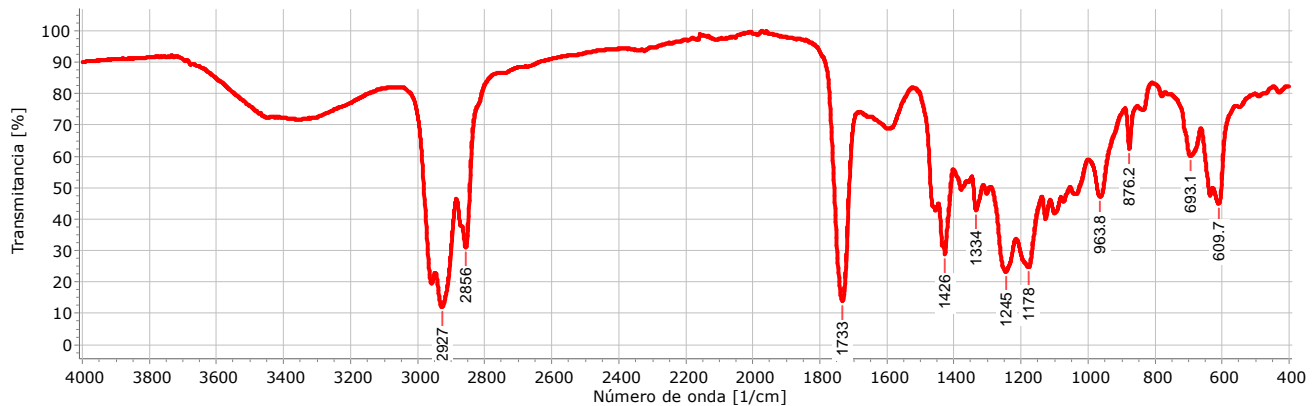
En México no existen restricciones con respecto a este tipo de plastificante, sin embargo cuatro plastificantes ortoftalatos de bajo peso molecular (DEHP, BBP, DBP y DIBP) han sido restringidos en la UE desde 2015. Por otro lado, todos estos cuatro plastificantes se restringieron aún más en diciembre de 2018 bajo REACH; la UE restringió la comercialización de juguetes y de artículos de cuidado infantil que contengan un 0,1% o más de DEHP, BBP o DBP (individualmente o en combinación), a partir del 7 de enero de 2019, y DIBP efectivo a partir del 7 de julio de 2020. A partir del 7 de julio de 2020, la restricción se extiende a cualquier artículo que contenga cualquiera de estos cuatro al 0,1% o más, con algunas excepciones, como para el uso industrial y agrícola.

En Estados Unidos de América la Ley de Mejora de Seguridad de Productos de Consumo (CPSIA, por sus siglas en inglés) prohíbe productos que contengan ciertos plastificantes de ftalatos en cantidades superiores al 0,1% en juguetes infantiles (definidos como “producto de consumo diseñado o destinado por el fabricante para un niño de 12 años o menos para ser utilizado por el niño cuando este juega”) y artículos de cuidado infantil (definidos como

“producto de consumo diseñado o destinado por el fabricante para facilitar el sueño, alimentación, entretenimiento u objetos de succión para niños menores de 3 años”.

### C) Muñeca

Con base en las tablas de interpretación del espectro infrarrojo de Rojo (2015) y Jung, et al. (2017), se identificaron las bandas de absorción el espectro obtenido de la cabeza del juguete (ver figura 5.3), donde existe una mezcla de compuestos, pero su estructura principal es el policloruro de vinilo (PVC) y acetato de polivinilo (PVAc).



**Figura 5.3** Espectro infrarrojo de rostro del juguete C

Jung, y otros (2018) realizaron la identificación de las bandas de absorción del plástico PVC y PVAc (ver tabla 5.6), las cuales coinciden con el espectro infrarrojo obtenido del análisis del plástico del juguete.

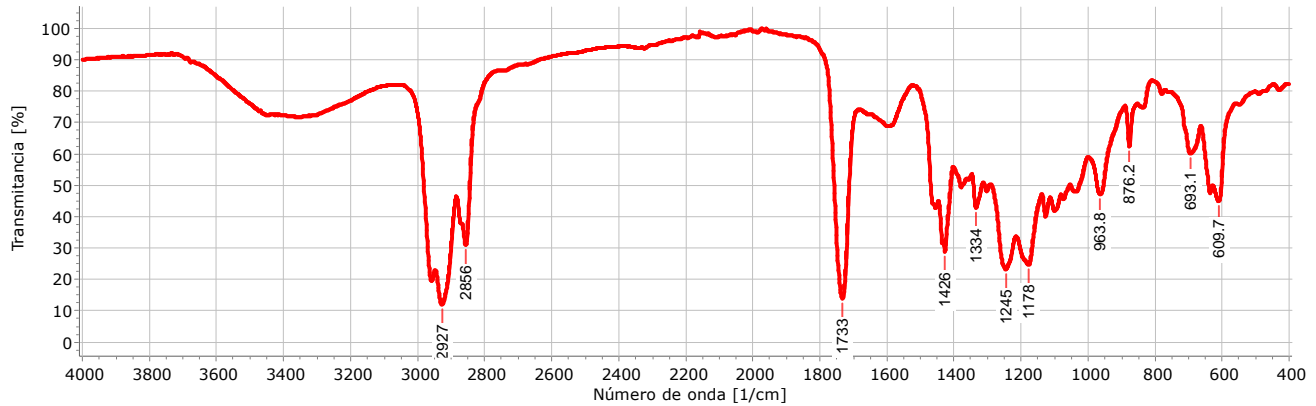
**Tabla 5.6** Principales grupos y sus vibraciones del PVC y PVAc en el espectro FTIR-ATR

| Polímero (código reciclaje) | Estructura Química   | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo  |
|-----------------------------|--|--|--|
| PVC (3)                     | $\left[ \begin{array}{c} \text{H} \quad \text{Cl} \\   \quad   \\ -\text{C}-\text{C}- \\   \quad   \\ \text{H} \quad \text{H} \end{array} \right]_n$ | 2928   | CH <sub>2</sub> estiramiento                         |
|                             |  | 2859   | CH <sub>2</sub> estiramiento                         |
|                             |  | 1426   | CH <sub>2</sub> torsión                              |
|                             |  | 1271   | CH <sub>2</sub> torsion                              |
|                             |  | 611  | C-Cl estiramiento                                    |
| PVAc (7)                    | $\begin{array}{c} \text{O} \\    \\ \text{H}_3\text{C}-\text{C}-\text{O} \\   \\ \text{---} \text{CH}_2-\text{CH}(\text{---}) \end{array}_n$         | 3627-3452  | OH vibración   |
|                             |  | 2959, 2859   | CH <sub>2</sub> vibración de estiramiento asimétrico |
|                             |  | 2928   | CH <sub>2</sub> vibración de estiramiento asimétrico |
|                             |  | 1733   | C=O estiramiento                                     |
|                             |  | 1434   | CH <sub>2</sub> vibración                            |
|                             |  | 1370   | CH <sub>3</sub> vibración                            |
|                             |  | 1127   | C-C-C y C-C-O vibración                              |
|                             |  | 963, 797   | r-CH <sub>3</sub> y r-CH <sub>2</sub> vibración      |
| 610                         | CH <sub>3</sub> COO  |  |  |

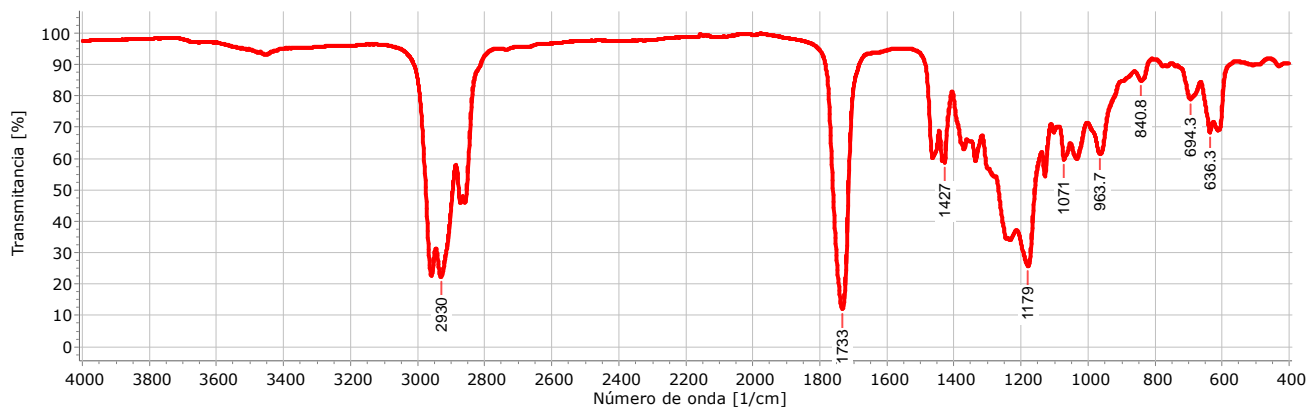
Fuente: Jung, et al., 2018; Abdelghany, et al., 2019



Los espectros infrarrojos de las piernas y los brazos del juguete C obtuvieron el mismo resultado que el rostro, mostrados en la figura 5.4 y 5.5, por lo tanto, las extremidades también están constituidos principalmente de PVC y PVAc.



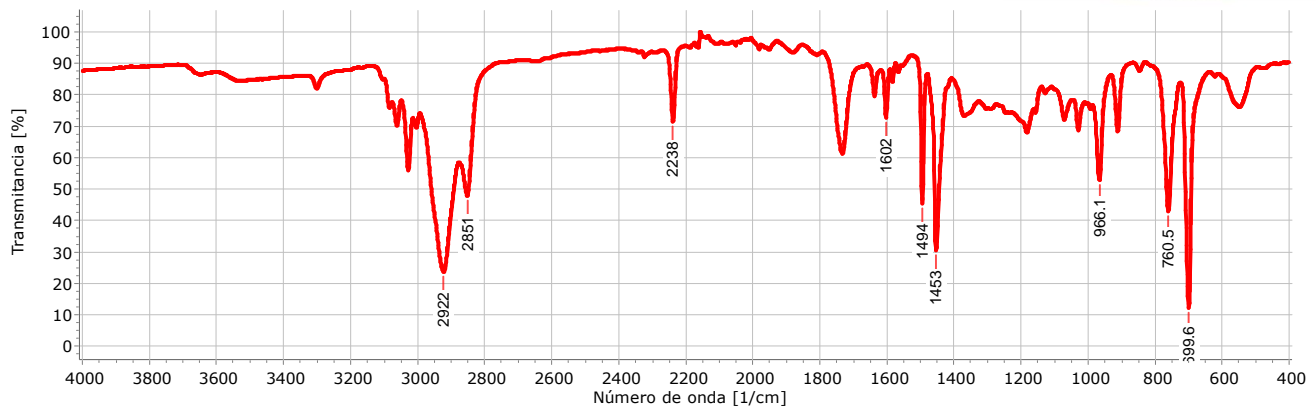
**Figura 5.4** Espectro infrarrojo del brazo del juguete C



**Figura 5.5** Espectro infrarrojo de la pierna del juguete C

La identificación de las bandas de absorción el espectro obtenido del torso del juguete (ver figura 5.6), se consiguió con las tablas de interpretación del espectro infrarrojo de Rojo (2015) y Jung, et al. (2017). La estructura principal es el Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS).





**Figura 5.6** Espectro infrarrojo del torso del juguete C

En la tabla 5.6 se presentan bandas de absorción características del ABS.

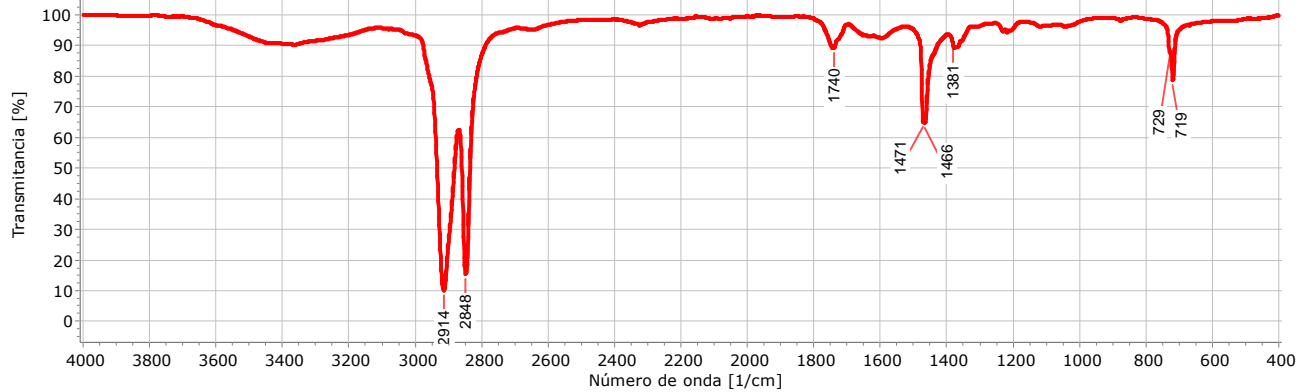
**Tabla 5.7** Principales grupos y sus vibraciones del ABS en el espectro FTIR-ATR

| Polímero (código reciclaje) | Estructura Química | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo                                     |
|-----------------------------|--------------------|--|---|
| ABS (7)                     |                    | 2922   | CH estiramiento                           |
|                             |                    | 2851   | CH estiramiento                           |
|                             |                    | 2238   | Nitrilo estiramiento                      |
|                             |                    | 1602   | Anillo aromático estiramiento             |
|                             |                    | 1494   | Anillo aromático estiramiento             |
|                             |                    | 1453   | CH <sub>2</sub> torsión                   |
|                             |                    | 966  | =CH torsión                               |
|                             |                    | 760  | CH aromático fuera del plano, torsión =CH |
|                             |                    | 699  | CH aromático fuera del plano              |

Fuente: (Jung, y otros, 2018)

d) Luchador

Las tablas de interpretación del espectro infrarrojo de Rojo (2015) y Jung, et al. (2017), permitieron la identificación de las bandas de absorción el espectro del juguete (véase figura 5.7), la estructura principal del plástico es el Polietileno (PE).



**Figura 5.7** Espectro infrarrojo del juguete D

El PE tiene bandas de absorción características (ver tabla 5.8) que han sido identificadas con ayuda de Jung, y otros (2018).

**Tabla 5.8** Principales grupos y sus vibraciones del PE en el espectro FTIR-ATR

| Polímero (código reciclaje) | Estructura Química | Banda de absorción (cm <sup>-1</sup> ) utilizado para identificación | Grupo                    |
|-----------------------------|--------------------|--|--------------------------|
| PE (4 o 2)                  |                    | 2914   | CH estiramiento          |
|                             |                    | 2848   | CH estiramiento          |
|                             |                    | 1471   | CH <sub>2</sub> torsión  |
|                             |                    | 1466   | CH <sub>2</sub> torsión  |
|                             |                    | 1381   | CH <sub>3</sub> torsión  |
|                             |                    | 729  | CH <sub>2</sub> sacudida |
|                             |                    | 718  | CH <sub>2</sub> sacudida |

Fuente: (Jung, y otros, 2018)

Con base en la caracterización de los plásticos que constituyen los juguetes analizados, se identifican sus propiedades y características para poder ser reciclados (véase tabla 5.9).

**Tabla 5.9** Características del plástico de los juguetes

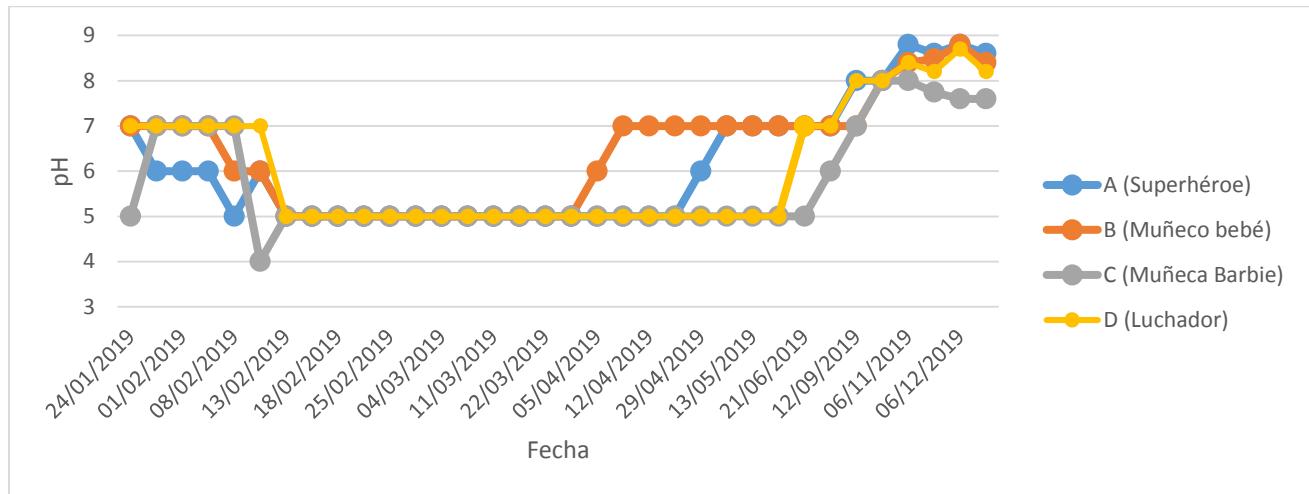
| Juguete                     | Tipo de plástico (número de reciclaje) | Comportamiento térmico | Temperatura máxima de uso (°C) | Temperatura mínima de uso (°C) | Densidad  | Porcentaje de absorción de agua (después de 24 horas) |
|-----------------------------|--|------------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|---|
| Superhéroe                  | SAN (7)                                | Termoplástico          | 60-114                         | -40                            | 1.08      | 0.2   |
| Bebé                        | PVC (3)                                | Termoplástico          | 110                            | -30                            | 1.49-1.58 | 0.07 – 0.2  |
| Muñeca cara, brazo y pierna | PVC/PVAc (7)                           | Termoplástico          | 110                            | -30                            | 1.49-1.58 | 0.07 – 0.2  |
| Muñeca torso                | ABS (7)                                | Termoplástico          | 71-93                          | -                              | 1.05-1.07 | 0.2   |
| Luchador                    | PE (2 / 4á)                            | Termoplástico          | 80-120                         | -50                            | 0.95-0.93 | <0.01   |

Fuente: Elaboración propia con datos de Mitsubishi, Burckle y Herrera.

## 5.2 Resultados de pruebas en lisímetros

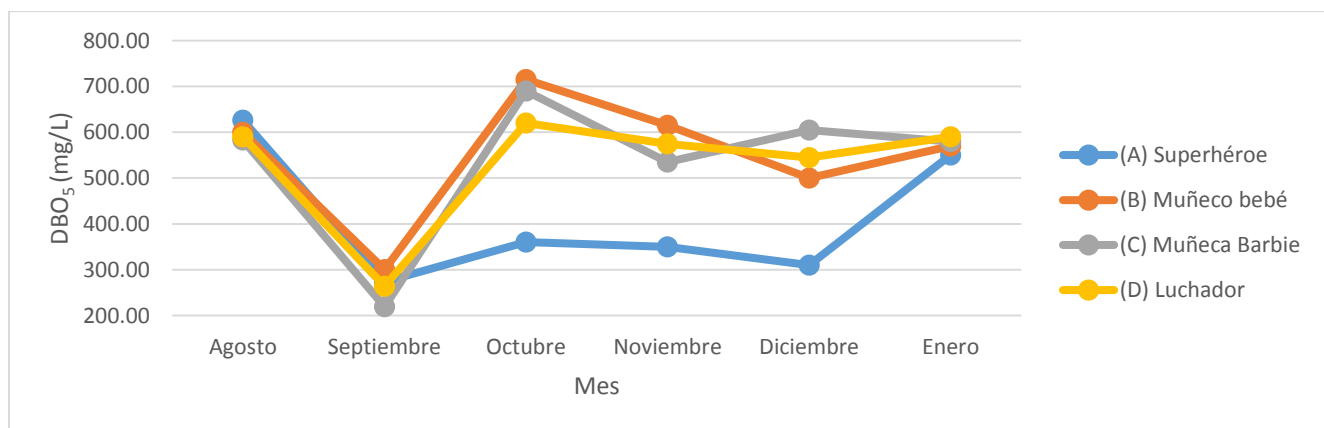
### 5.2.1 Concentración de plomo en lixiviados

Los primeros meses no se obtuvo una gran cantidad de lixiviados, únicamente se realizó la medición de pH, como se presenta en la figura 5.8.

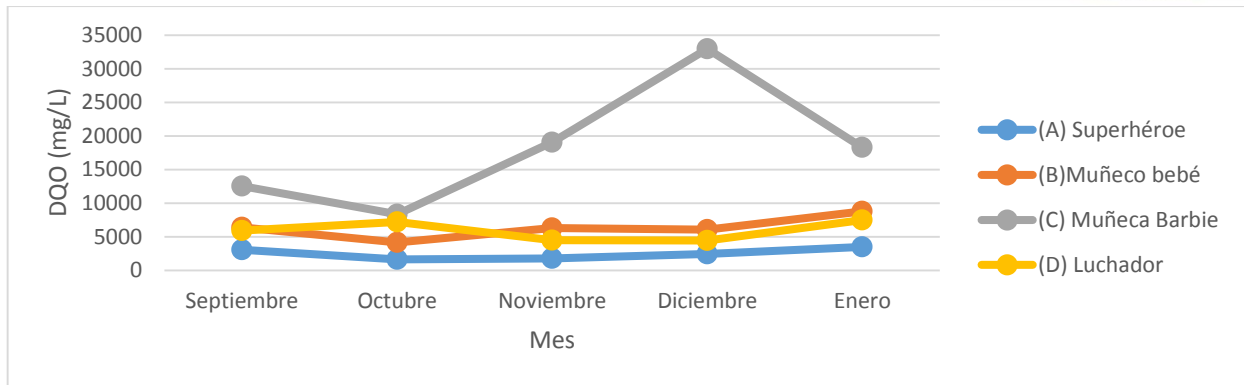


**Figura 5.8** Valores de pH de cada lisímetro por 12 meses

La lenta degradación de la materia orgánica dentro del lisímetro no generó lixiviado hasta el mes de agosto, a partir de entonces se realizó la medición mensual de DBO<sub>5</sub> y DQO, como se observa en las figuras 5.9 y 5.10 respectivamente.



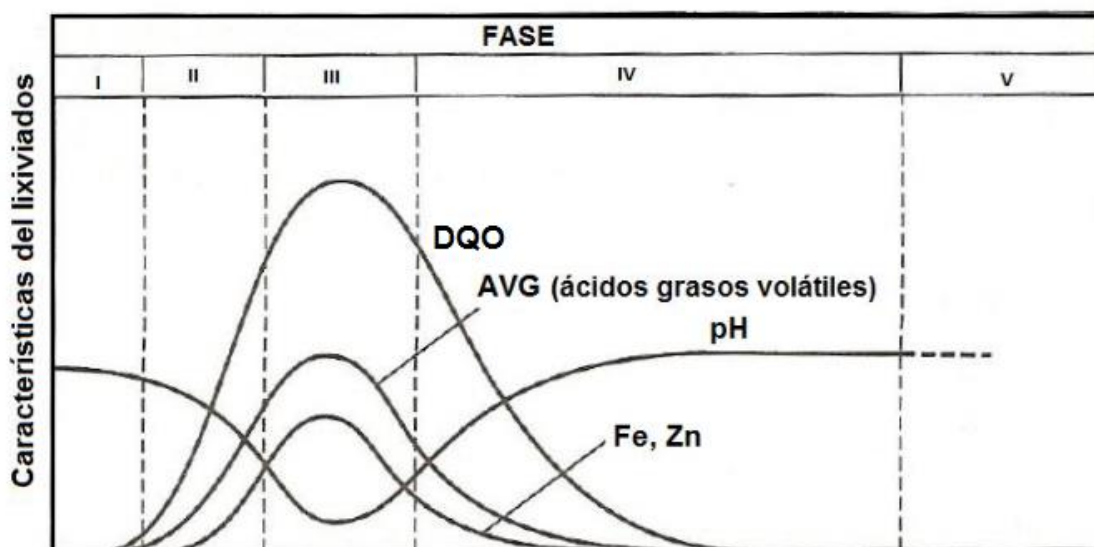
**Figura 5.9** Comportamiento de DBO<sub>5</sub> de lisímetros en los meses analizados



**Figura 5.10** Comportamiento de DQO de lisímetros en los meses analizados

La biodegradación de los residuos es un término que describe su conversión por procesos biológicos enzimáticos a moléculas inorgánicas simples (mineralización), el proceso es una digestión anaerobia en el que la materia orgánica, en ausencia de oxígeno y mediante la acción de un grupo de bacterias y microorganismos específicos, a través de cinco fases consecutivas, diversos complejos enzimáticos y demás condiciones de los parámetros fisicoquímicos, se descomponen mediante procesos de oxidación y reducción en productos gaseosos y biogás. Existen varios factores que afectan la actividad biológica en la descomposición de los residuos sólidos urbanos tales como bacterias, composición de los materiales, así como la humedad, temperatura, pH, oxígeno.

Los cambios en la composición de lixiviados en las fases de estabilización fueron reportados por Tchobanoglous, y Kreit (2002) (véase figura 5.11).



**Figura 5.11** Etapas en la formación de lixiviados

Fuente: Tchobanoglous y Kreith, 2002

Tchobanoglous (2002) presenta algunos parámetros típicos utilizados en la caracterización de los lixiviados generados en rellenos sanitarios nuevos y maduros (ver tabla 5.10).

**Tabla 5.10.** Valores de los parámetros típicos encontrados en lixiviados

| Constituyente  | Relleno sanitario nuevo (menos de 2 años) |               | Relleno sanitario maduro (mayor de 10 años) |
|--|---|---------------|---|
|  | Rango (mg/L)                              | Típico (mg/L) | (mg/L)                                      |
| DBO <sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxígeno de 5 días) | 2,000 – 30,000                            | 10,000        | 100 - 200                                   |
| COT (Carbono Orgánico Total)                               | 1,500 – 20,000                            | 6,000         | 80 – 160                                    |
| DQO (Demanda Química de Oxígeno)                           | 3,000 – 60,000                            | 18,000        | 100 – 500                                   |
| Sólidos Suspendidos Totales                                | 200 – 2,000                               | 500           | 100 - 400                                   |
| Nitrógeno orgánico   | 10 – 800                                  | 200           | 80 – 120                                    |
| Nitrógeno amoniacal  | 10 – 800                                  | 200           | 80 – 120                                    |
| Nitrato  | 5 – 40                                    | 25            | 5 -10                                       |
| Fosforo total  | 5 -100                                    | 30            | 5 -10                                       |
| Ortofosfato  | 4 – 80                                    | 20            | 4 – 8                                       |
| Alcalinidad como CaCO <sub>3</sub>                         | 1,000 – 10,000                            | 3,000         | 200 – 1,000                                 |
| pH   | 4.5 – 7.5                                 | 6             | 6.6 – 7.5                                   |
| Dureza total como CaCO <sub>3</sub>                        | 300 – 10,000                              | 3,500         | 200 – 500                                   |
| Calcio   | 200 – 3,000                               | 1,000         | 100 – 400                                   |
| Magnesio   | 50 – 1,500                                | 250           | 50 – 200                                    |
| Potasio  | 200 – 1,000                               | 300           | 50 – 400                                    |
| Sodio  | 200 – 2,500                               | 500           | 100 – 200                                   |
| Cloro  | 200 – 3,000                               | 500           | 100 – 400                                   |
| Sulfatos   | 50 – 1,000                                | 300           | 20 – 50                                     |
| Hierro total   | 50 – 1,200                                | 60            | 20 - 200                                    |

Fuente: Tchobanoglous y Kreith, 2002

Los parámetros medidos en el periodo experimental se comportan como los de un lixiviado joven, la DQO llegó dentro del rango con promedio de 10,000 mg/L, la DBO<sub>5</sub> se encontró por debajo del rango de un 2,000 y 30,000 mg/L, el pH descendió en un inicio con un valor neutro de 7 hasta 4 y al término alcanzó en promedio el 8.5, un poco por arriba de un lixiviado joven. Cabe señalar que los lisímetros se encontraban a la intemperie, por lo tanto la temperatura ambiente y la luz solar influyeron en los resultados.

Posteriormente, se realizó el análisis de la determinación de plomo en los lixiviados generados en los lisímetros con los juguetes, sin embargo el equipo utilizado cuenta con un rango de detección de 2 – 20 µg/mL. La tabla 5.12 muestra los resultados de las absorbancias de la concentración de plomo de los lixiviados por el tipo de juguete plástico.

**Tabla 5.11** Absorbancias de concentración de plomo en lixiviados de los lisímetros

| Lisímetro | Absorbancia de concentración de Plomo en lixiviados |
|-----------|---|
| <b>A</b>  | 0.009   |
| <b>B</b>  | 0.004   |
| <b>C</b>  | 0.004   |
| <b>D</b>  | 0.006   |

Por lo tanto, la generación de lixiviados en este tiempo no permite que el plomo que pudiera existir en los juguetes se libere en los lixiviados.

### 5.2.2 Degradación de plásticos

La degradación del plástico en los lisímetros se determinó con la diferencia de los pesos de cada juguete al inicio y final de la prueba (ver tabla 5.11)

En el Anexo C se presentan los resultados obtenidos en esta prueba.

**Tabla 5.12** Diferencia de pesos de los juguetes plásticos en la prueba con lisímetros

| Juguete  | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Diferencia (%) |
|----------|------------------|----------------|----------------|
| <b>A</b> | 154              | 168            | +9.09%         |
| <b>B</b> | 370              | 394            | +6.49%         |
| <b>C</b> | 128              | 136            | +6.25%         |
| <b>D</b> | 94               | 96             | +2.13%         |

El peso de los juguetes aumentó en promedio 5.99%, el superhéroe tuvo mayor ganancia de peso con el 9.09%, considerando las características de absorción de agua de los plásticos en la tabla 5.9, debido a que el SAN tiene una tasa de absorción del 0.2%, mientras que el luchador tiene una absorción de agua menor de 0.01%.

Los cambios en la coloración que presentaron los juguetes al inicio y al término de la prueba no fueron significativos, algunas parte solo cambiaron de tono (véase figura 5.12).



**Figura 5.12** Cambios en la coloración de los juguetes en la prueba dentro de los lisímetros

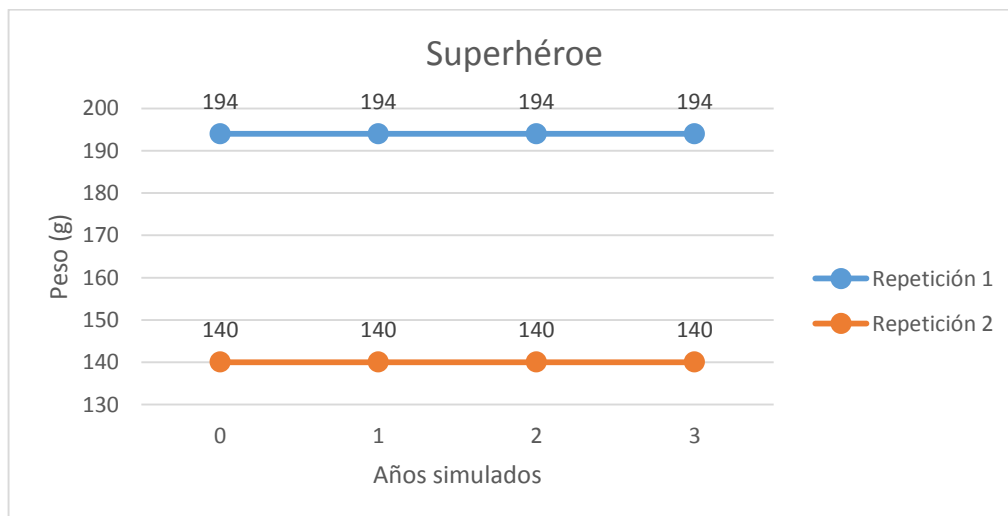
Existieron algunas partes de los juguetes que tuvieron un cambio de coloración, pero 2 de 4 luchadores que se encontraban en el lisímetro D cambiaron a un tono más oscuro la parte externa, debido a que al cortarlos el tono inicial que tenían se encontraba en el interior del juguete.

### 5.3 Resultados de pruebas de la cámara de intemperismo acelerado

#### 5.3.1 Degradación de plásticos

Los juguetes sometidos a las pruebas en la cámara de intemperismo acelerado, se midió su peso de cada uno de los juguetes al transcurrir cada año en la prueba hasta completar los 3 años.

La figura 5.13 muestra el comportamiento de la masa de los juguetes A en la prueba de intemperismo acelerado.

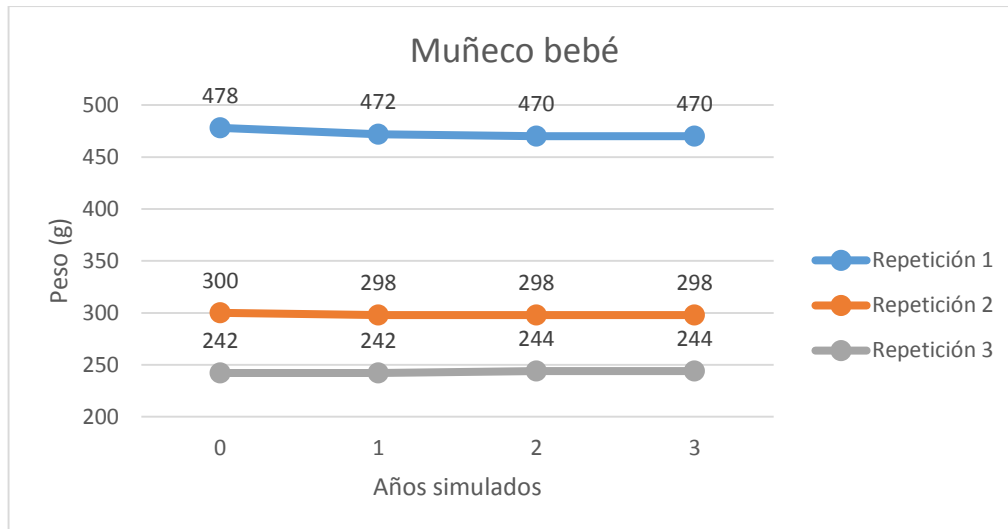


**Figura 5.13** Masa del juguete superhéroe en la prueba de intemperismo



Las dos repeticiones del juguete superhéroe mantuvieron su peso después de las condiciones a las que fueron sometidas en la simulación de tres años.

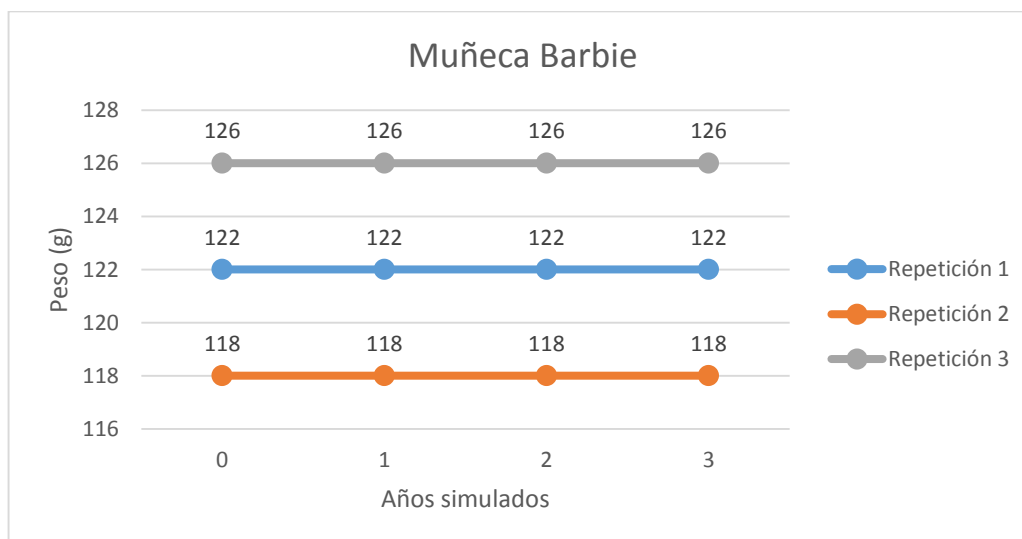
El comportamiento de la masa de los juguetes B en la prueba de intemperismo acelerado se observa en la figura 5.14.



**Figura 5.14** Masa del juguete muñeco bebé en la prueba de intemperismo

El peso de las repeticiones 1 y 2 disminuyó 1.67% y 0.66% respectivamente al final de la prueba. La repetición 3 aumentó el 0.82%, esto se pudo deber a que las dos primeras perdieron algunos aditivos del plástico, y el último pudo absorber agua provocando el aumento de su peso.

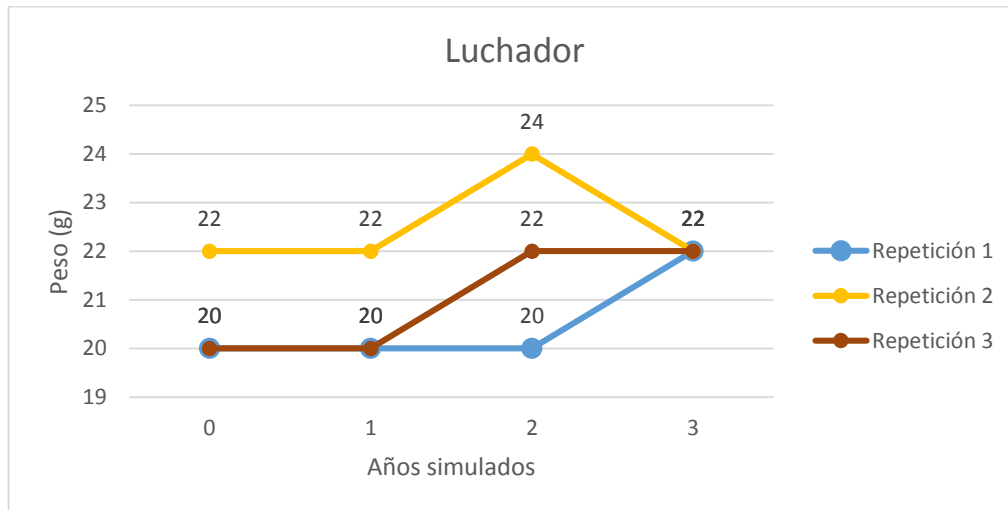
La figura 5.15 presenta el comportamiento de la masa de los juguetes C en la prueba de intemperismo acelerado.



**Figura 5.15** Masa del juguete muñeca Barbie en la prueba de intemperismo

Las tres repeticiones no presentaron ningún cambio en su peso en todo el periodo de prueba.

El comportamiento de la masa de los juguetes D en la prueba de intemperismo acelerado se muestra en la figura 5.16.



**Figura 5.16** Masa del juguete luchador en la prueba de intemperismo

Las repeticiones 2 y 3 aumentaron de peso el 10% al final de la prueba, sin embargo el luchador 1 mantuvo su peso al final de la prueba.

La variable de respuesta en este experimento es la diferencia de peso que existe al inicio y al final de la prueba.

Cabe mencionar que el diseño del experimento fue de 1 factor con cuatro niveles, desbalanceado, debido a que un tipo de juguete solo contó con dos repeticiones. Se hizo la tabla de análisis de varianza para determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de la variable de respuesta, pero no hubo homogeneidad de varianzas, por lo tanto se utilizó la prueba de Welch solo para aquellos juguetes que presentaron cambio de peso (muñeco bebé y luchadores). Esta prueba se debe utilizar si los datos muestran mucha heterocedasticidad (diferentes grupos tienen diferentes desviaciones estándar), la tabla de análisis de varianza unidireccional puede producir un p-value inexacto; la probabilidad de un falso positivo puede ser mucho mayor al 5% (McDonald, 2014).

Con ayuda del software R se obtuvo el análisis de varianza con la prueba Welch, como se muestra a continuación.

One-way analysis of means (not assuming equal variances)

data: dpeso and trat

F = 1.8, num df = 1.0000, denom df = 2.2099, p-value = 0.3009

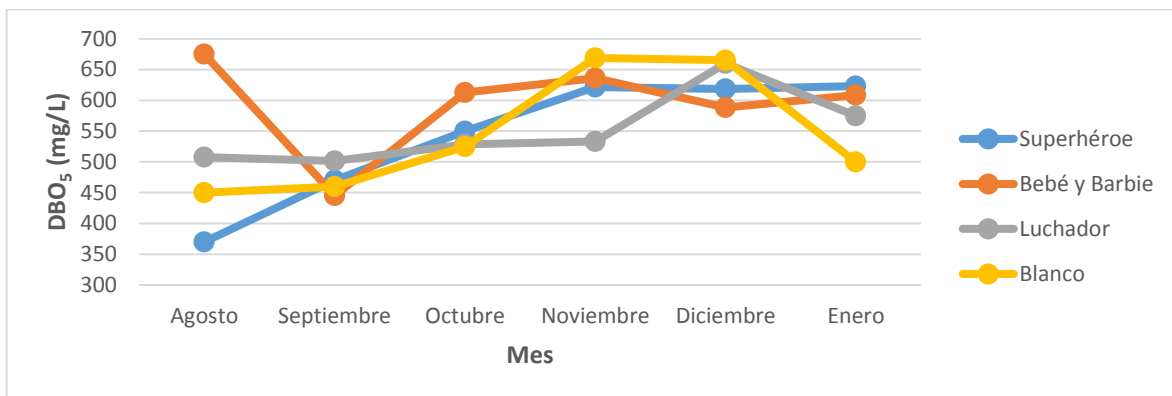
Los resultados demuestran que el plástico del juguete muñeco bebé (PVC) y del juguete luchador (PE) no hay homogeneidad en la varianza pese a los 3 años de simulación. En promedio son iguales los pesos, no hay diferencia en peso entre los tratamientos.

## 5.4 Resultados de las pruebas en el relleno sanitario

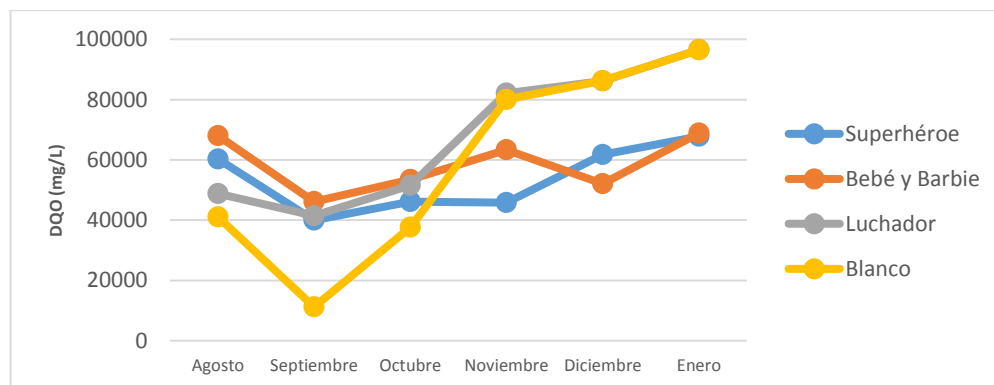
### 5.4.1 Concentración de plomo en lixiviados

A finales del mes de marzo se construyeron las 12 celdas para colocar los juguetes y el blanco con sus 3 repeticiones. Debido a que la temporada de lluvias comenzó a mediados de julio, la toma de muestras de los lixiviados en las celdas se comenzó en agosto para realizar los análisis de las variables secundarias para el monitoreo de la degradación anaerobia de cada celda.

En las gráficas 5.17 y 5.18 se presentan los resultados promedio de las 3 repeticiones de los juguetes y el blanco, obtenidos de DBO<sub>5</sub> y DQO de los lixiviados de las celdas hasta el mes de enero. En el Anexo D se adjuntan los resultados de las variables secundarias.



**Figura 5.17** Comportamiento del promedio de la DBO<sub>5</sub> de las celdas en los meses analizados

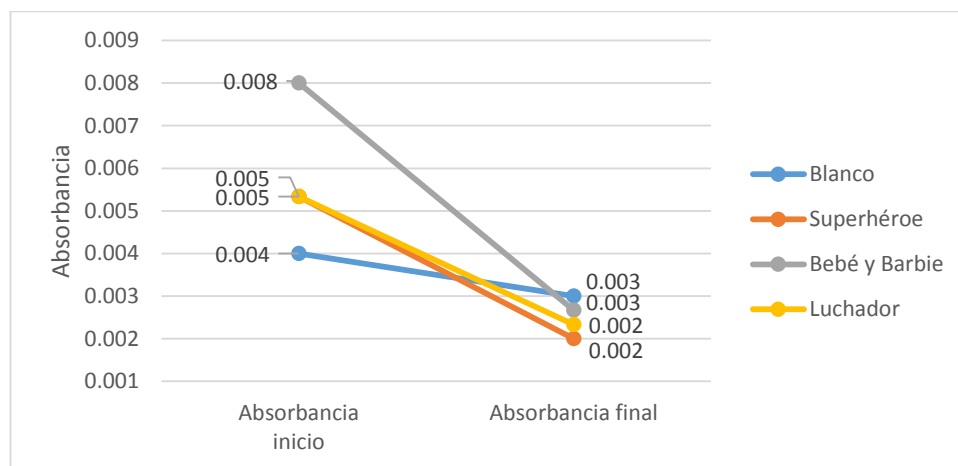


**Figura 5.18** Comportamiento del promedio de la DQO de las celdas en los meses analizados

La variable de respuesta en este experimento es la diferencia de concentración de plomo en los lixiviados que existe al inicio y al final de la prueba.

El resultado de los parámetros medidos del lixiviado en las celdas fue el de un lixiviado joven (Tchobanoglous & Kreith, 2002), la DQO rebasó el rango máximo de 80,000 mg/L, la DBO<sub>5</sub> se encontró por debajo del rango menor un 2,000mg/L, el pH aumentó de valor 6 hasta 8, un poco por arriba de rango máximo de 7.5. De esta manera, las celdas llegaron hasta una fase ácida (fase III) pero debido al corto tiempo, y a la variación de temporada de lluvia y seca puede regresar a la fase inicial.

Por otro lado, con el equipo de espectrofotometría de absorción atómica se realizó el análisis de la determinación de concentración de plomo en los lixiviados generados en las celdas con los juguetes al inicio y al final de la prueba, sin embargo, el equipo tiene un rango de detección de 2 – 20 µg/mL, obteniendo como resultado únicamente las absorbancias de las muestras, posiblemente porque no exista plomo los lixiviados o en su defecto tengan concentraciones fuera de este rango. En la figura 5.19 se muestran los promedios las repeticiones de las absorbancias de las celdas que contenían los juguetes y el blanco. En el Anexo E se adjuntan los resultados de las absorbancias.



**Figura 5.19** Promedio de absorbancia de la concentración de plomo en los lixiviados de las celdas

Se realizó la tabla de análisis de varianza de las diferencias de las absorbancias para determinar si existen diferencias significativas entre los promedios de esta variable, sin embargo las repeticiones 2 y 3 de las celdas consideradas como blanco no generaron lixiviados y solo se contó con una repetición, por tal razón el tratamiento blanco se quitó para este análisis. Se construyó la tabla de análisis de varianza con los tres tratamientos y dado que no hubo homogeneidad de varianzas se decidió realizar la prueba Welch.

Con ayuda del software R se obtuvo el análisis de varianza con la prueba Welch, como se muestra a continuación.

One-way analysis of means (not assuming equal variances)

data: dabsorbancia and trat

F = 0.20214, num df = 2.0000, denom df = 3.0864, p-value = 0.827

El valor obtenido de p-value de 0.827 con un nivel de significancia de 5% implica que no se rechaza la hipótesis nula, es decir no existe diferencia en promedio de los tratamientos con respecto a la diferencia de las absorbancias de los lixiviados de las celdas con juguetes.

### 5.4.2 Degradación de plásticos

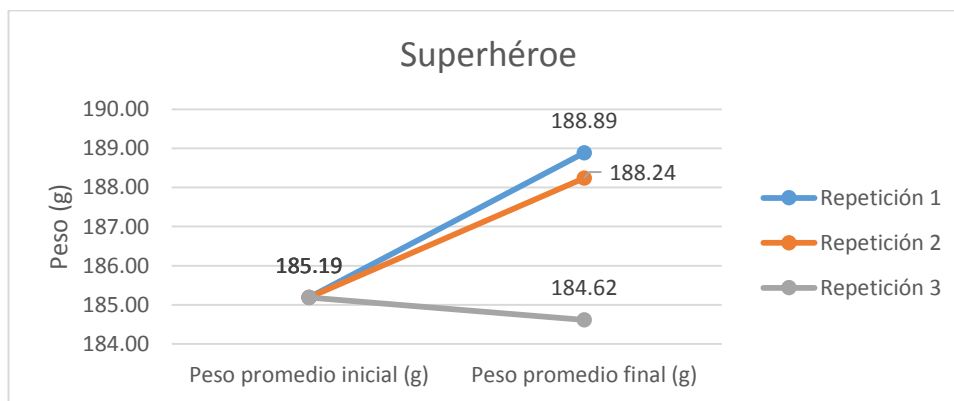
#### Comparación de diferencia de pesos

La variable de respuesta del diseño de experimento de los juguetes colocados en las celdas es la diferencia del peso de los juguetes al inicio y final de la prueba. Sin embargo, al sustraer los juguetes de las celdas no se lograron retirar todos los juguetes de cada celda, por lo tanto de los recuperados se obtuvo el peso y se comparó con el peso inicial que tenían esos juguetes.

A continuación se presenta la comparación de los pesos iniciales del promedio de cada muñeco con los pesos finales promedio, en el Anexo F se presentan los datos crudos.

#### A) Superhéroe

La figura 5.20 muestra la comparación de pesos promedio de las 3 repeticiones de juguete tipo superhéroe que se colocaron en las celdas.

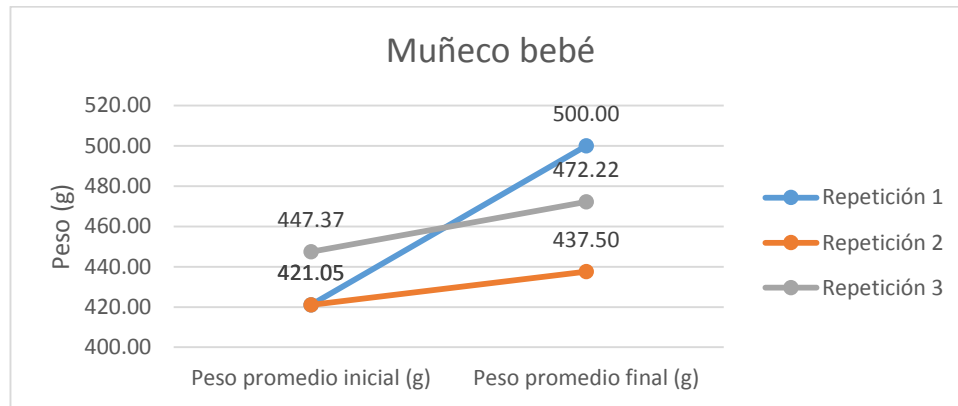


**Figura 5.20** Comparación de pesos promedio (27 observaciones) de las repeticiones del juguete A en las celdas

Las repeticiones 1 y 2 de los juguetes aumentaron su peso 2% y 1.6% respectivamente, pero la repetición 3 disminuyó 0.3%, en promedio el juguete A 2.5% incrementó su peso.

B) Muñeco bebé

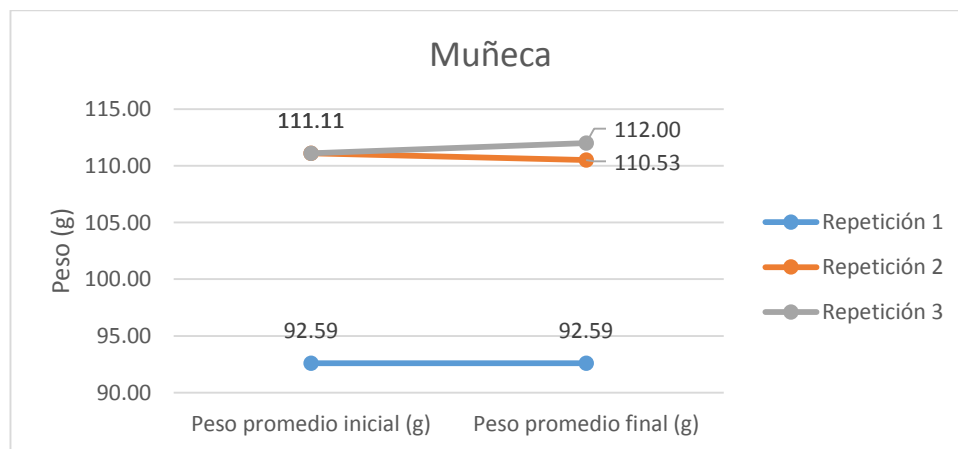
La Figura 5.21 presenta la comparación de pesos promedio de las 3 repeticiones del juguetes tipo muñeco bebé que fueron colocados en las celdas para determinar la degradación del tipo de plástico en el experimento.



**Figura 5.21** Comparación de pesos promedio (19 observaciones) de las repeticiones del juguete B en las celdas. Las repeticiones 1, 2 y 3 de los juguetes aumentaron su peso 18.8%, 3.9% y 5.6% respectivamente, en promedio 9.4% incrementó su peso.

C) Muñeca

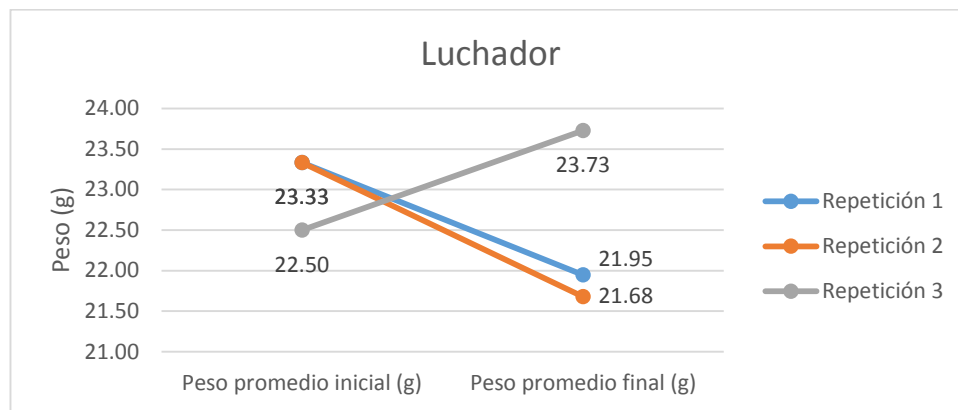
La figura 5.22 ilustra la comparación de pesos promedio de las 3 repeticiones del juguete tipo muñeca que fueron colocadas en las celdas en la prueba de degradación de los plásticos.



**Figura 5.22** Comparación de pesos promedio (27 observaciones) de las repeticiones de los juguetes C en celdas. La repetición 1 permaneció con el mismo peso al inicio y final de la prueba, mientras que la repetición 2 disminuyó su peso el 0.5% y la repetición 3 aumentó el 0.8%. En promedio el juguete aumento 0.1% en todas las celdas.

D) Luchador

La medición de la degradación del plástico PE en el juguete D fue realizado mediante la comparación de pesos promedio de las 3 repeticiones de los juguetes que se colocaron en las celdas (ver figura 5.23).



**Figura 5.23** Comparación de los pesos promedio (600 observaciones) de las repeticiones de juguete D en celdas. Las repeticiones 1 y 2 aumentaron su peso el 5.9% y 7.1% respectivamente, caso contrario con la réplica 3 que aumentó 5.3% su peso. En promedio disminuyeron su peso 2.5%.

La variable de respuesta en este experimento es la diferencia de los pesos al final y al inicio de la prueba.

Se realizó la tabla de análisis de varianza de las diferencias peso para determinar si existen diferencias significativas en los resultados, sin embargo se observa en los resultados que como no hubo homogeneidad en las varianzas, por tal razón se decidió realizar la prueba Welch.

Con la ayuda del software R, se presenta a continuación el análisis de varianza con la prueba Welch.

#### One-way analysis of means (not assuming equal variances)

```
data: dpeso and trat
```

```
F = 1.6065, num df = 3.0000, denom df = 4.0208, p-value = 0.3207
```

Con un p-value de 0.3207 y un nivel de significancia de 5% no se rechaza la hipótesis nula, es decir que no existe diferencia entre los tratamientos.

Cabe señalar que la mayoría de los juguetes colocados en las celdas tuvieron cambio de coloración del plástico al finalizar la prueba (véase figura 5.24).



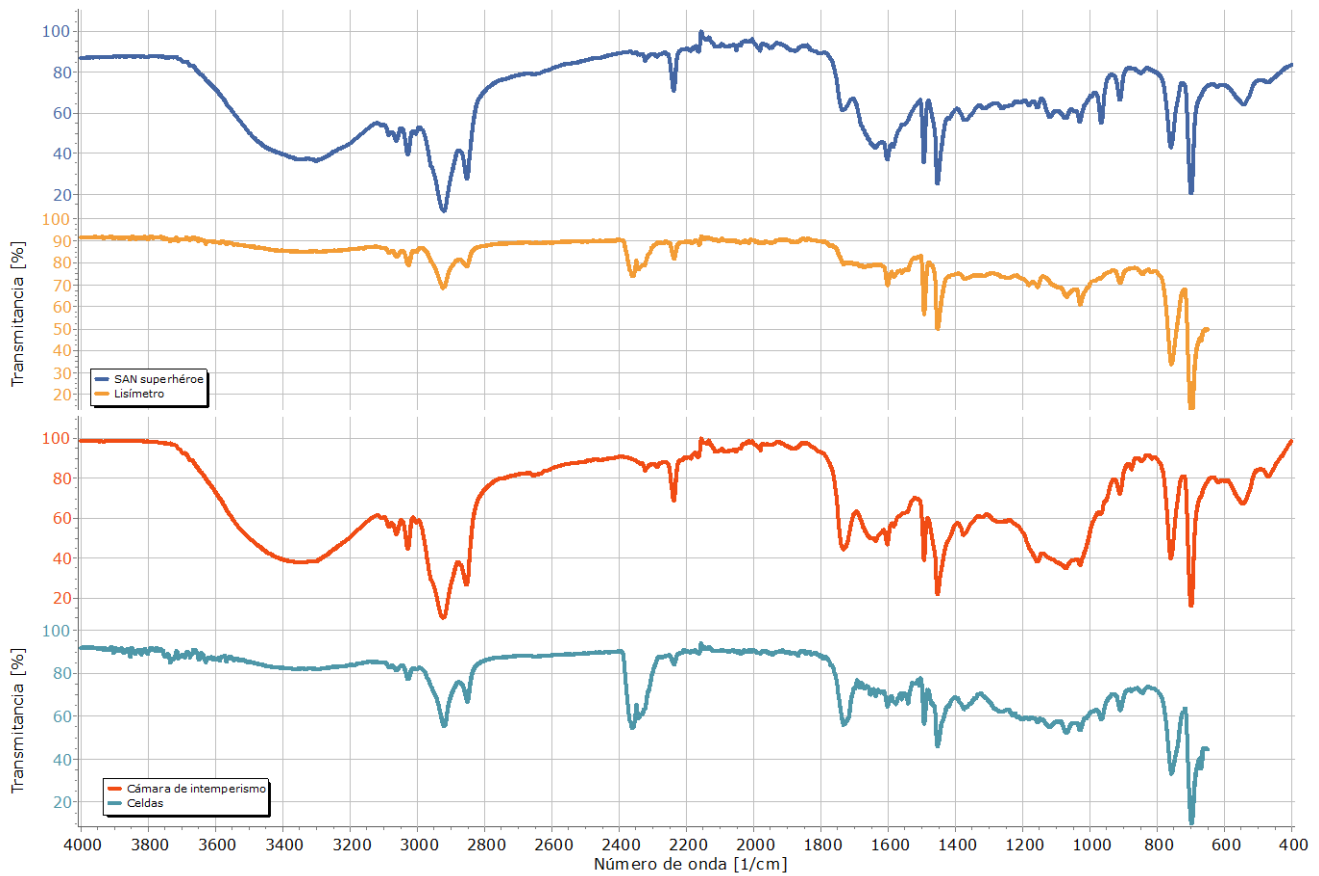


**Figura 5.24** Coloración de plásticos antes y después de la prueba en celdas del relleno sanitario

La degradación de la materia orgánica en las celdas junto con el agua de lluvia que se filtró, generó un lixiviado que fue cambiando la tonalidad más oscura del plástico, la razón fue la capacidad de absorción de agua después de 24 horas del tipo de plástico que tiene cada juguete.

Al finalizar cada prueba se procedió a analizar con el espectrofotómetro infrarrojo FTIR-ATR los plásticos de los juguetes para realizar una comparación con el espectro inicial obtenido de la caracterización de los plásticos y determinar si existió alguna degradación de sus componentes. A pesar de que las pruebas tanto en los lisímetros, en la cámara de intemperismo y en las celdas del relleno sanitario han comprobado que la degradación de los plásticos es demasiado lenta como para ser observada en las pruebas.

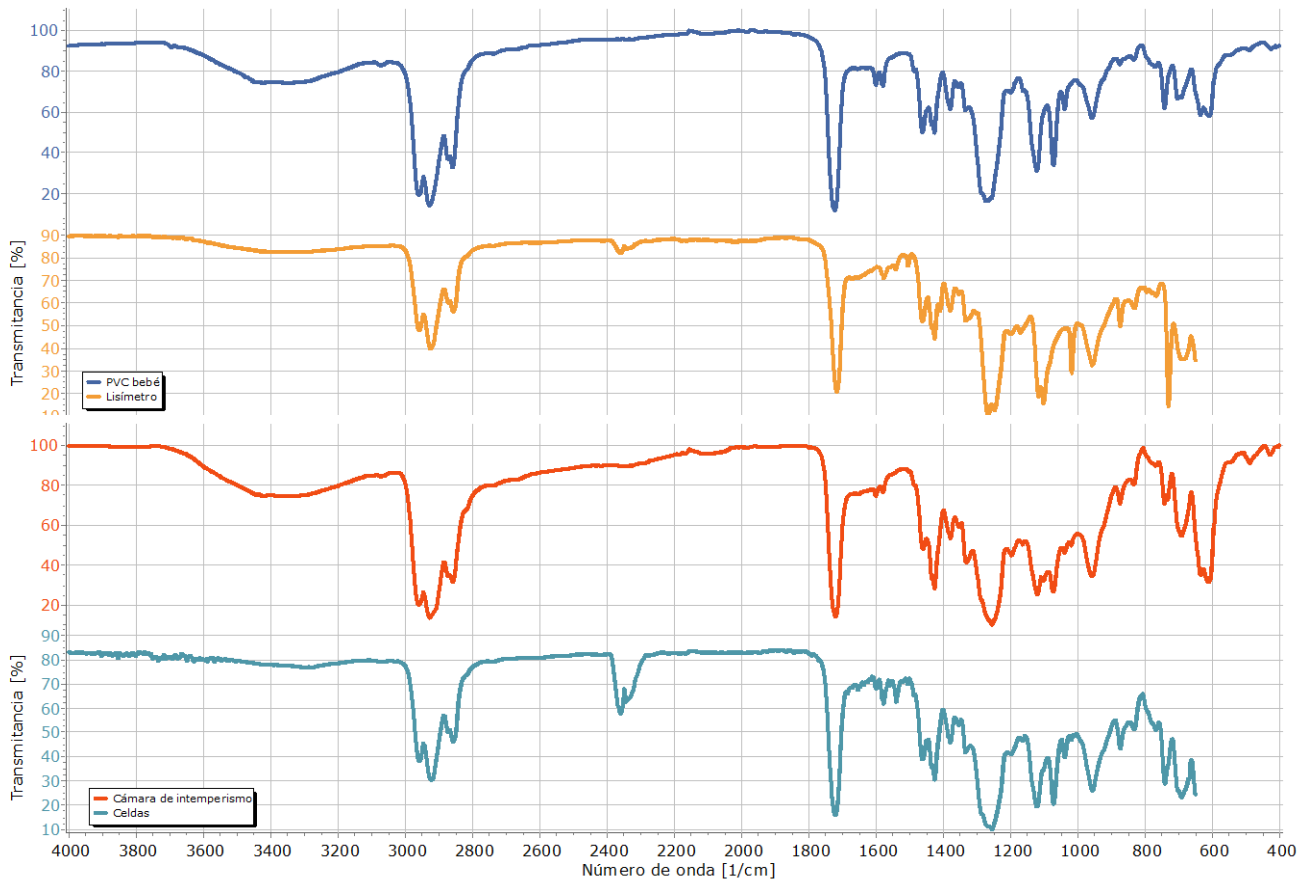
La Figura 5.25 muestra los espectros infrarrojos obtenidos para la caracterización del plástico del juguete superhéroe y los espectros obtenidos después de cada prueba.



**Figura 5.25** Comparación de espectros IR del juguete con plástico SAN en cada prueba

Los espectros de los experimentos en los lisímetros y las celdas presentan un ligero cambio en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , representativo de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebba, 2011), que debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se aprecia con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno. Así mismo se presenta un incremento de la banda en 1732  $\text{cm}^{-1}$ , característico de la vibración del grupo carbonilo. Stark (2004) y Longo (2011) mencionan que involucra la oxidación del polímero que tiende a generarse en átomos de carbono terciario ya que los radicales libres formados aquí son más estables y duran mucho más, haciéndolos más susceptibles al ataque por parte del oxígeno.

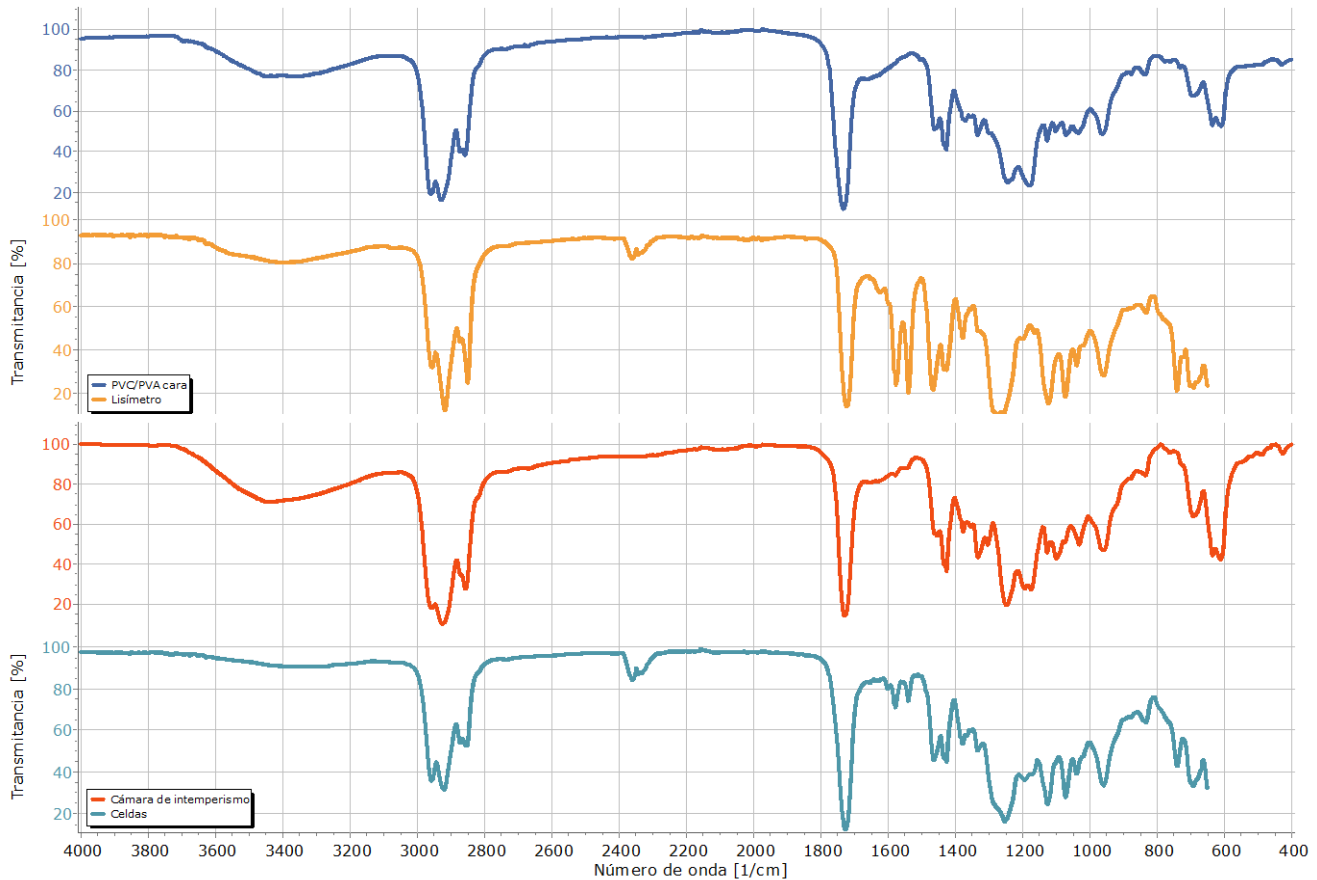
La Figura 5.26 muestra los espectros infrarrojos obtenidos para la identificación de la degradación del plástico del juguete bebé después de cada prueba.



**Figura 5.26** Comparación de espectros IR del juguete con plástico PVC en cada prueba

Caso similar que el plástico del juguete A, los espectros infrarrojos de los experimentos en los lisímetros y las celdas manifestaron un ligero aumento en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , típico de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebba, 2011), el cual debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se puede apreciar con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno.

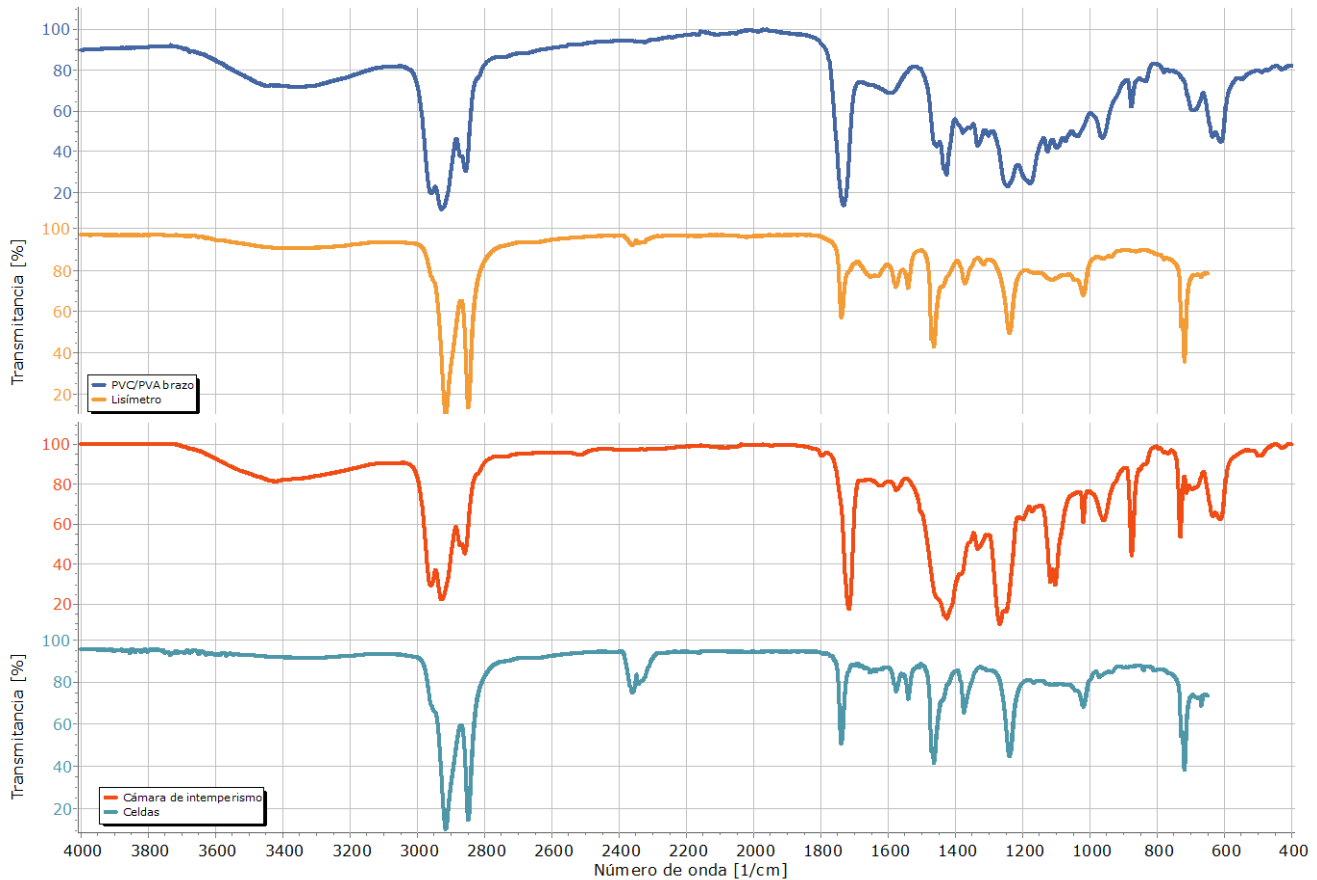
La Figura 5.27 muestra los espectros infrarrojos obtenidos para la caracterización del plástico del rostro del juguete muñeca y los espectros obtenidos después de cada prueba.



**Figura 5.27** Comparación de espectros IR del rostro del juguete con PVC/PVAc en cada prueba

Los espectros infrarrojos de los experimentos en los lisímetros y las celdas muestran una ligera diferencia en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , distintivo de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebba, 2011), debido a la adhesión al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se puede apreciar con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno. Así mismo en los espectros de las pruebas de lisímetros y de celdas se presentan bandas de absorción en 1577 y 1540  $\text{cm}^{-1}$  como en 1123 y 1073  $\text{cm}^{-1}$ .

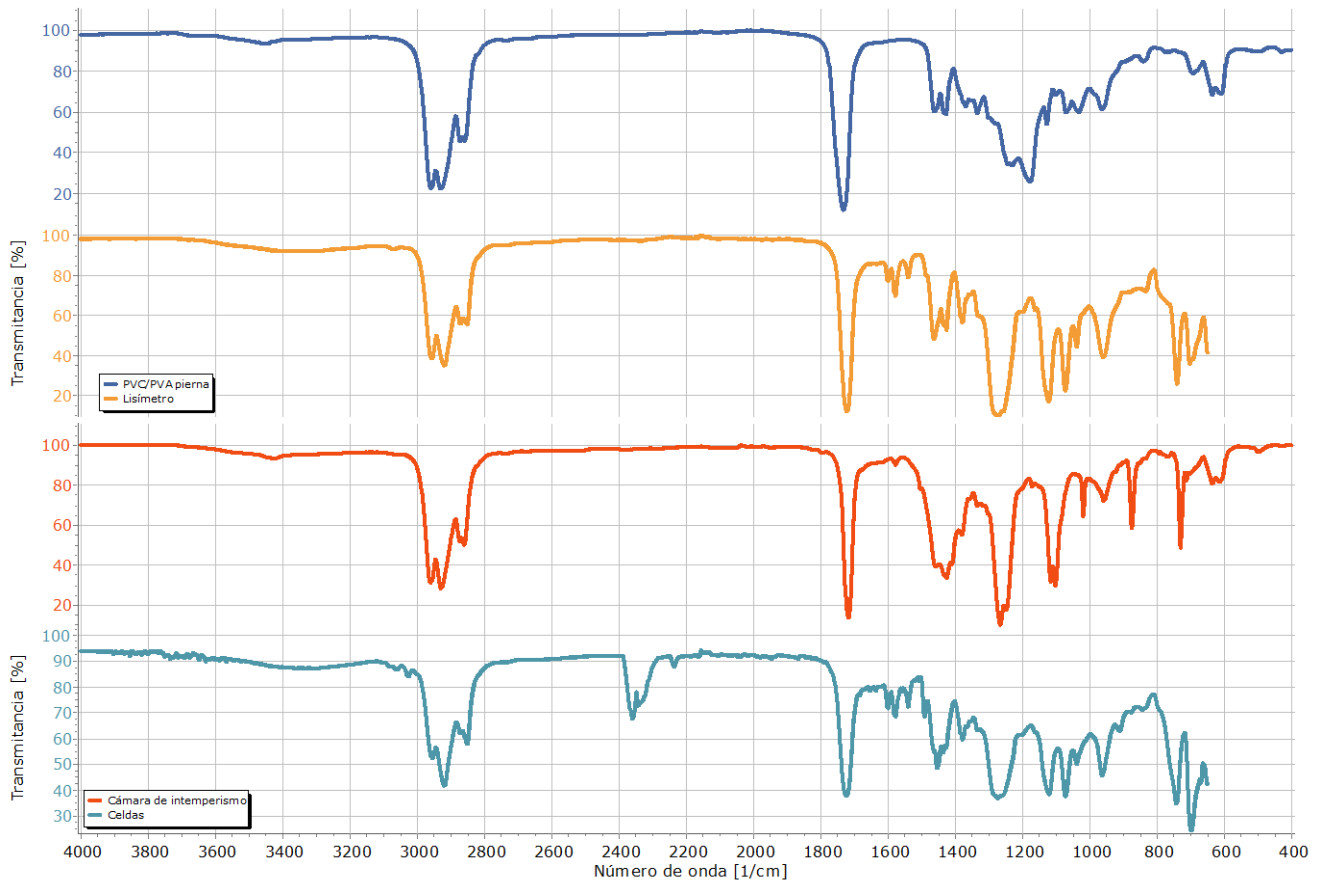
Los espectros infrarrojos obtenidos para la caracterización del plástico en el brazo del juguete muñeca y los espectros obtenidos después de cada prueba, son expuestos en la Figura 5.28.



**Figura 5.28** Comparación de espectros IR del brazo del juguete con PVC/PVAc en cada prueba

Se identifica en los espectros de los experimentos en los lisímetros y las celdas una ligera variación en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , característico de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebbia, 2011), que debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se puede apreciar con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno.

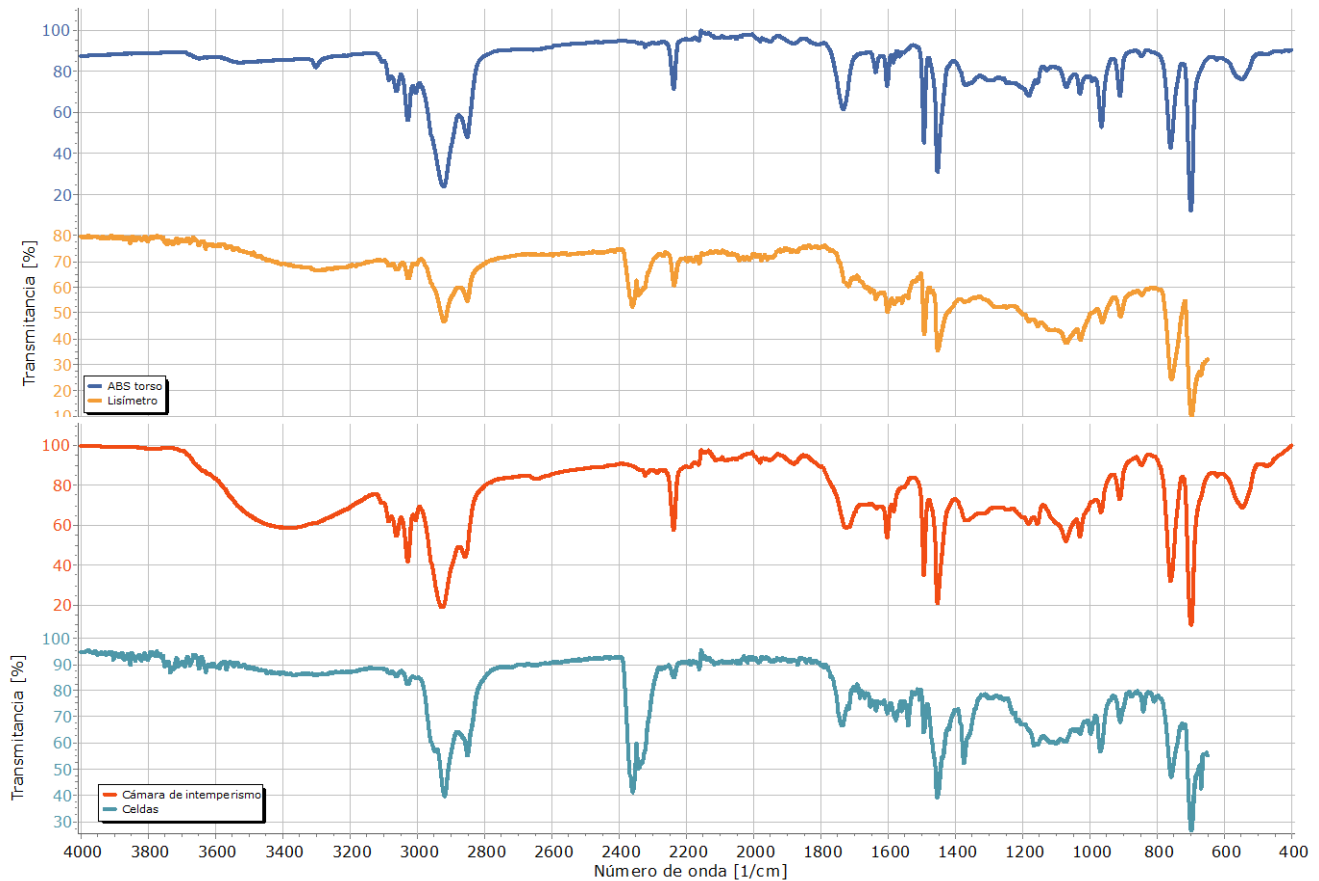
La caracterización del plástico en la pierna del juguete muñeca y los espectros infrarrojos obtenidos después de cada prueba, se analizan en la figura 5.29.



**Figura 5.29** Comparación de espectros IR de la pierna del juguete con PVC/PVAc en cada prueba

En este caso, se aprecia en los espectros de los experimentos en los lisímetros y en las celdas un cambio en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , distintivo de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebba, 2011), que debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se puede apreciar con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno.

La Figura 5.30 muestra los espectros infrarrojos obtenidos para la caracterización del plástico en el torso del juguete muñeca y los espectros obtenidos después de cada prueba.

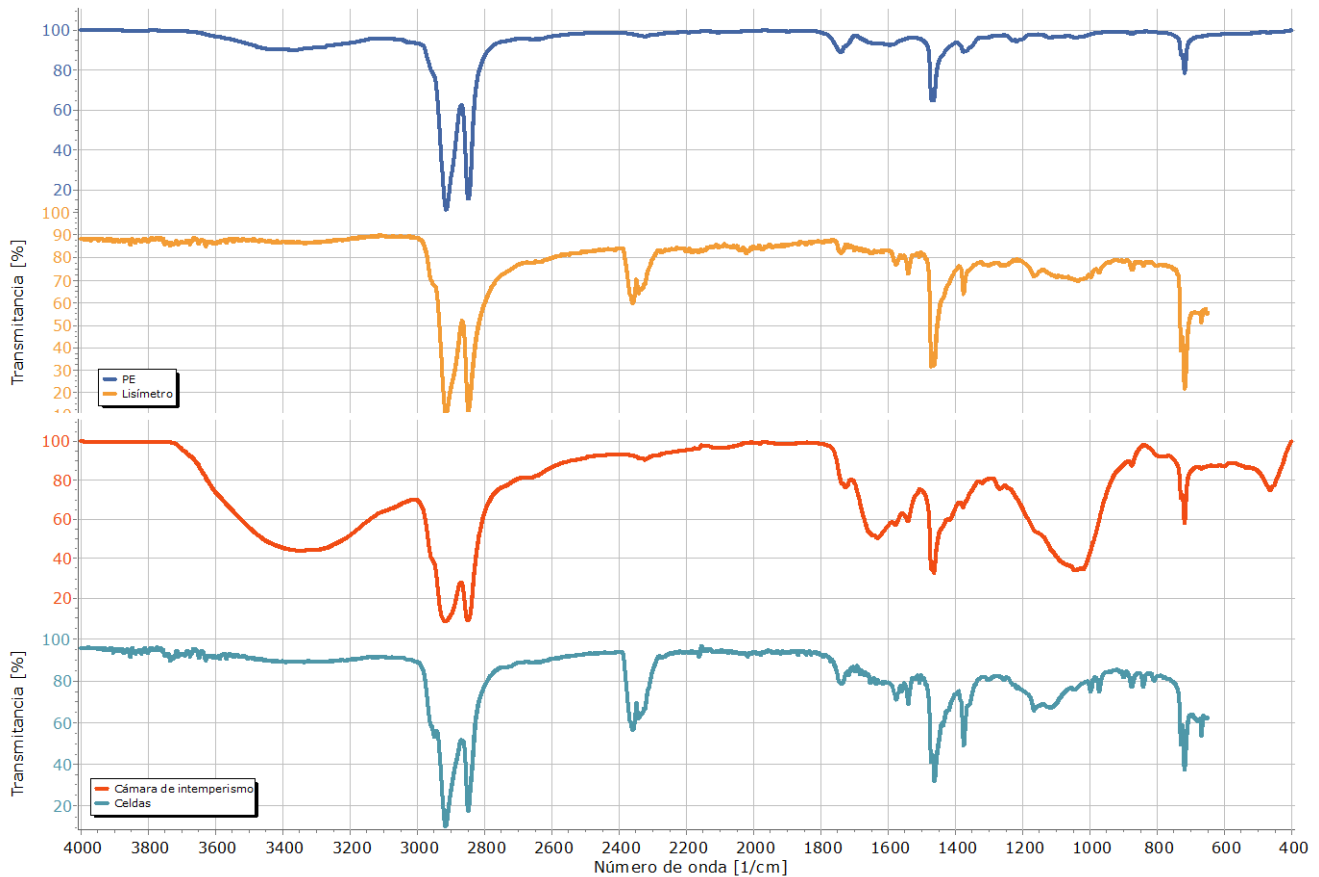


**Figura 5.30** Comparación de espectros IR del torso del juguete con ABS en cada prueba

Caso similar que los anteriores espectros infrarrojos, en los espectros de los experimentos en los lisímetros y las celdas existe un significativo cambio en una banda con intensidad en 2359 y 2343 cm<sup>-1</sup>, característico de la vibración de CO<sub>2</sub> (Brebba, 2011), que debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se aprecia con mayor intensidad en el espectro de las celdas del relleno.



La Figura 5.31 ilustra los espectros infrarrojos obtenidos para la caracterización del plástico del juguete luchador y los espectros obtenidos después de cada prueba.



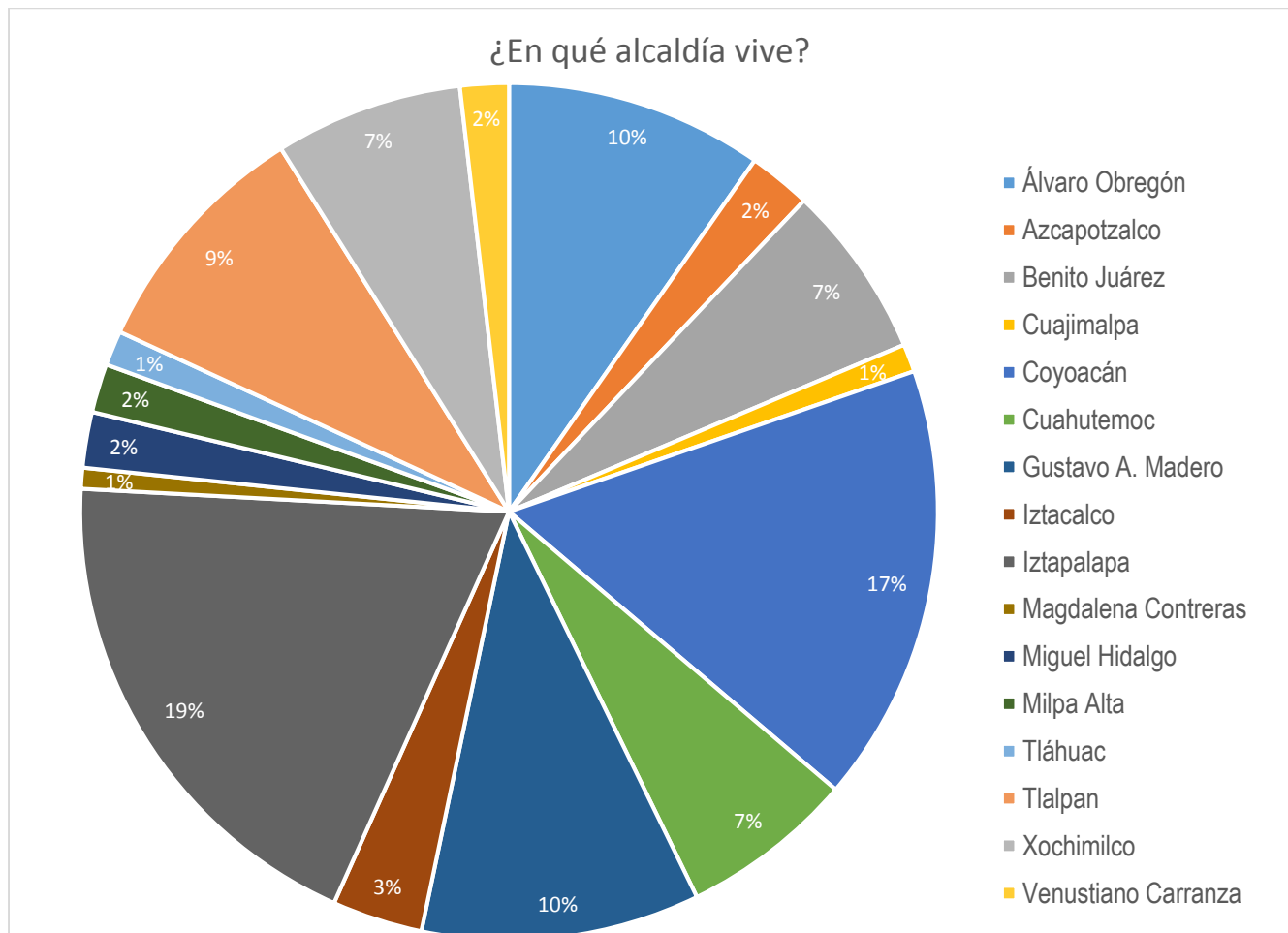
**Figura 5.31** Comparación de espectros IR del juguete con PE en cada prueba

Nuevamente, los espectros infrarrojos de los experimentos en los lisímetros y las celdas revela un cambio en una banda con intensidad en 2359 y 2343  $\text{cm}^{-1}$ , típico de la vibración de  $\text{CO}_2$  (Brebbia, 2011), que debió adherirse al plástico por la etapa de la degradación de la materia orgánica, donde se intensifica en el espectro de las celdas del relleno.

## 5.5 Resultados de la aplicación de encuestas

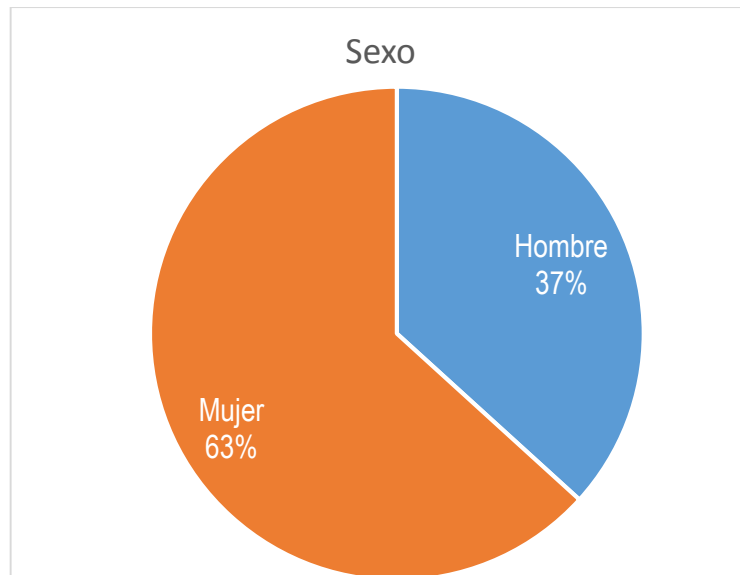
Paralelamente, la aplicación de encuestas inició a mediados de agosto de 2019 entrevistando en el centro de la Ciudad de México, a aquellas personas que compraron los juguetes objetivo de este proyecto y registrando en papel los resultados, pero debido a la pandemia mundial de COVID-19 no fue posible continuar en las calles, por tal razón las encuestas fueron por medio de Whatsapp con la aplicación de formularios de Google Drive a familias que tuvieran niños entre 0 y 18 años. Conforme el tamaño de muestra calculado anteriormente (400) se obtuvieron 20 encuestas en papel y 395 digitales. Sin embargo se descartaron 43 debido a que no eran integrantes de familia con niños. Es necesario hacer hincapié que esta muestra de familias, no es una muestra aleatoria, por lo tanto, los resultados se aplican solamente a la muestra.

Las personas encuestadas cubrieron las 16 alcaldías de la Ciudad de México, siendo la mayor parte de ellas de la alcaldía de Iztapalapa y que proporcionalmente es la que cuenta con mayor cantidad de hogares con personas menores de 18 años.



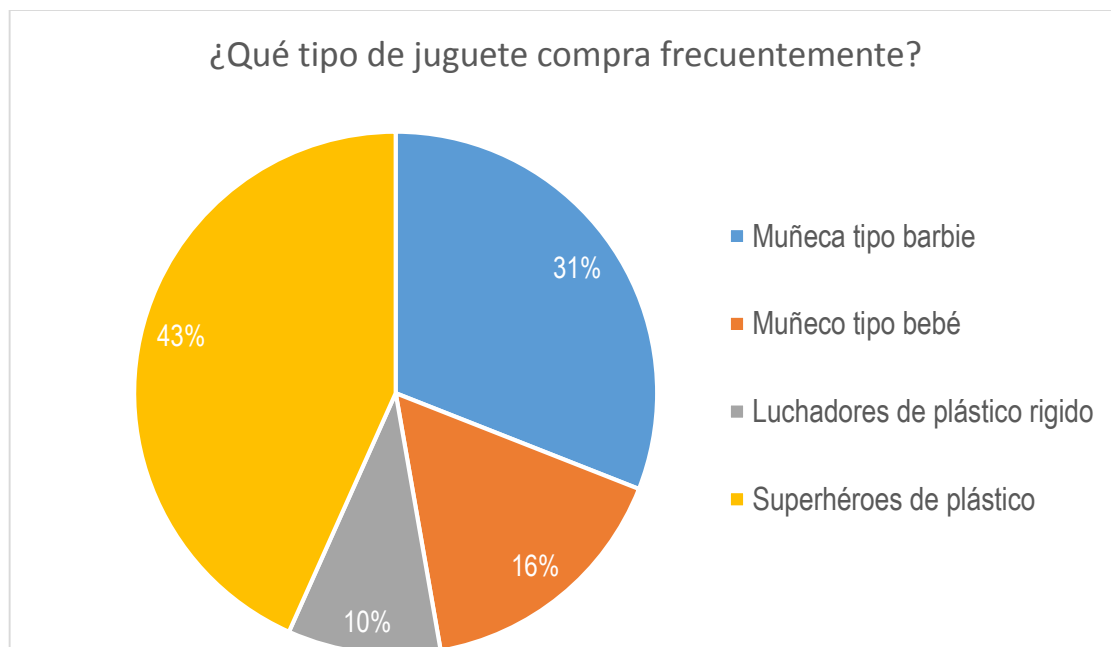
**Figura 5.32** Porcentaje de encuestados con base en su residencia

La encuesta muestra que la mayoría de las personas encuestadas son mujeres, quienes compran más juguetes que los hombres (ver figura 5.33).



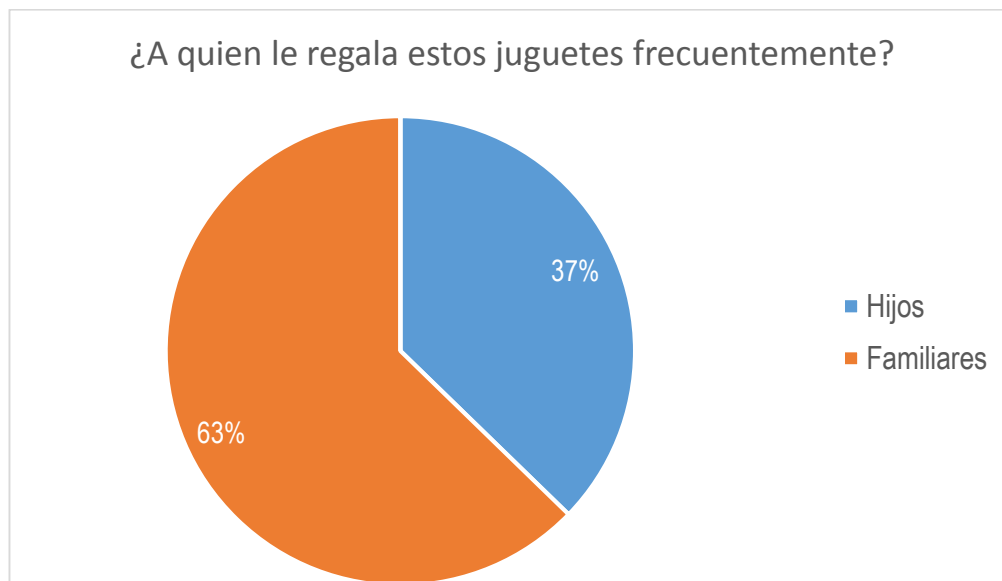
**Figura 5.33** Porcentajes de hombres y mujeres que se les aplicó la encuesta

El mayor consumo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos son los superhéroes de plástico con un 43%, mientras que los de menor consumo son los luchadores de plástico con el 10% (véase figura 5.34)



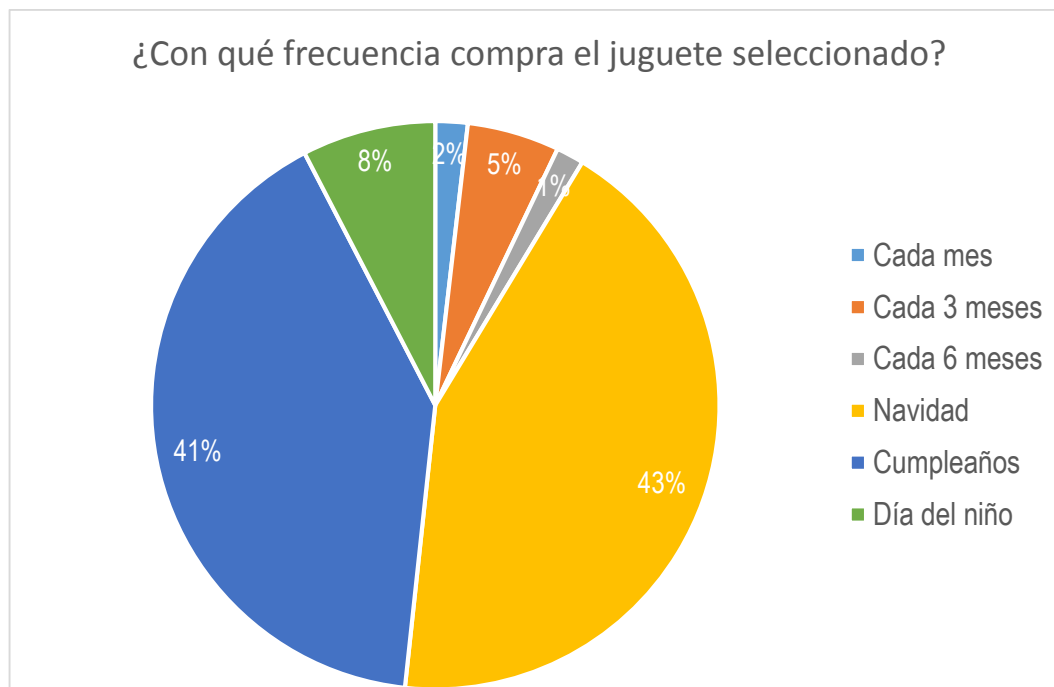
**Figura 5.34** Porcentaje de juguetes consumidos por los encuestados

Los resultados que arroja la encuesta respecto a quién regala frecuentemente los juguetes comprados, son que el 37% de los encuestados regalan los juguetes a sus hijos, y el 63% a sus familiares (ver figura 5.35).



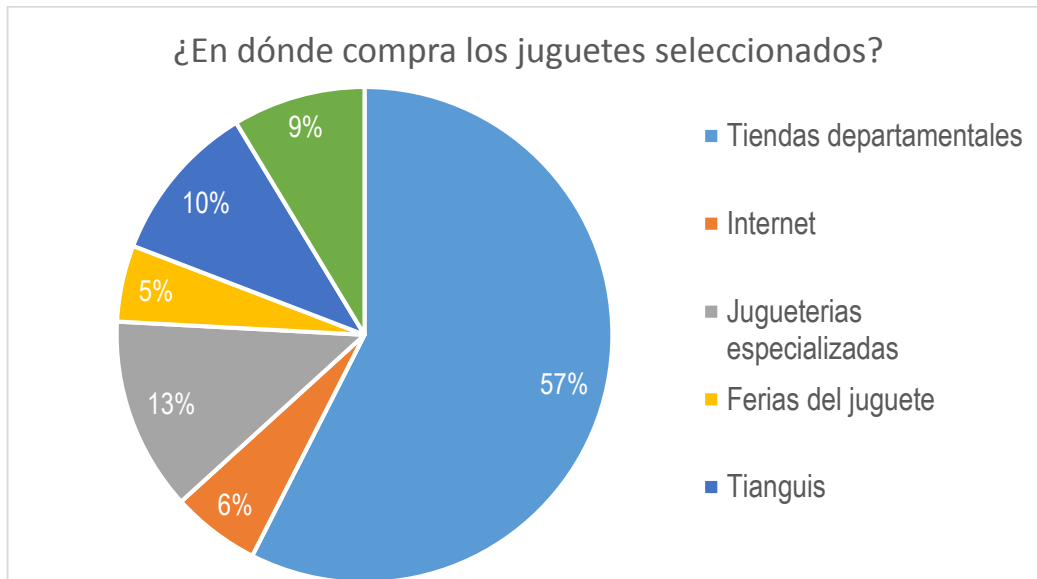
**Figura 5.35** Porcentaje de quienes reciben los juguetes de plástico consumidos por los encuestados

El mayor porcentaje de encuestados consume juguetes de plástico en época de Navidad y reyes con el 43%, le sigue las fechas de cumpleaños con 41%, que son las fechas que más se consumen juguetes en México (véase figura 5.36).



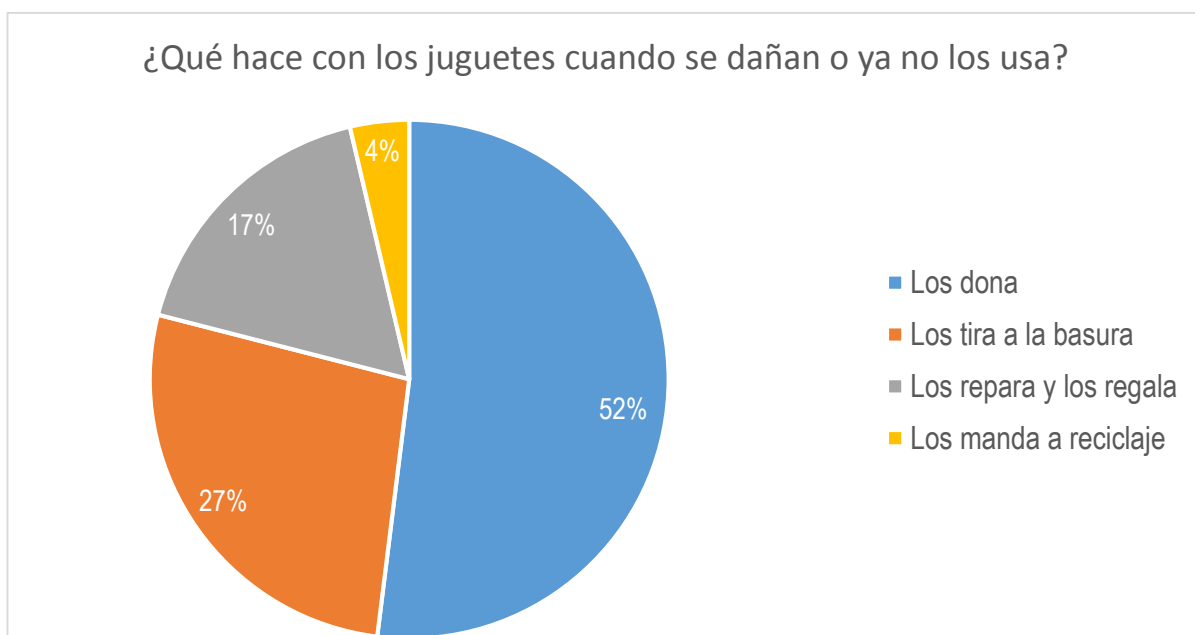
**Figura 5.36** Porcentaje de consumo de juguetes

Los resultados obtenidos de la encuesta demuestran que el 57% de los encuestados realiza la compra de los juguetes en las tiendas departamentales, le continúan con el 13% en jugueterías especializadas y el 10% los tianguis. Esto confirma la información presentada por la Asociación Mexicana de la Industria del Juguete (AMIJU) (ver figura 5.37).



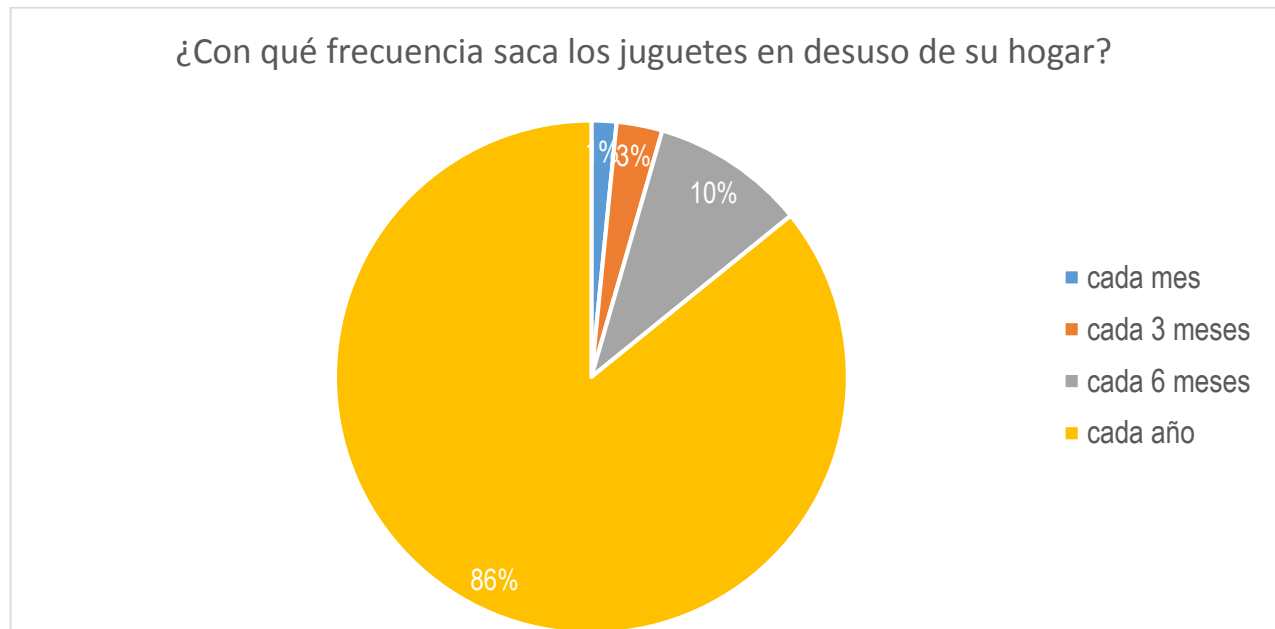
**Figura 5.37** Porcentaje de lugares donde compran juguetes los encuestados.

El 52% de los encuestados dona los juguetes dañados o en desuso, le sigue el 27% con la disposición en la basura y el 17% los repara y los regala. Únicamente un 4% los recicla (veáse figura 5.38).



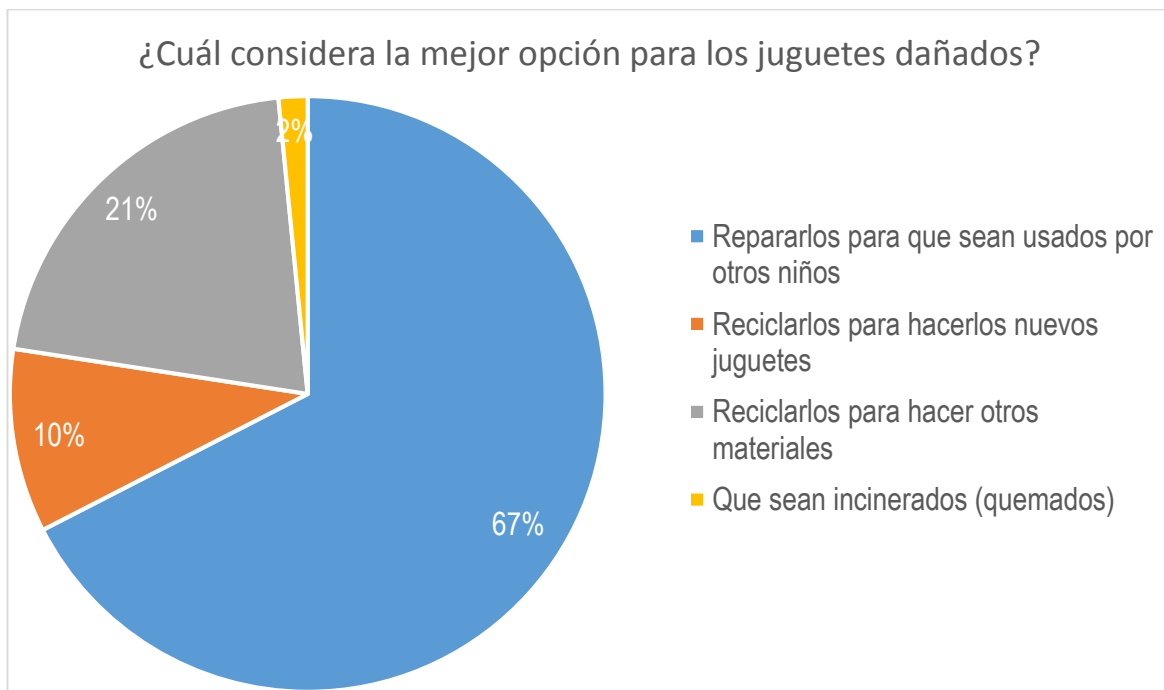
**Figura 5.38** Porcentaje del manejo de los juguetes plásticos dañados o en desuso

El 86% de los encuestados deposita en los residuos sus juguetes cada año, le sigue el 10% que los deposita cada 6 meses (ver figura 5.39).



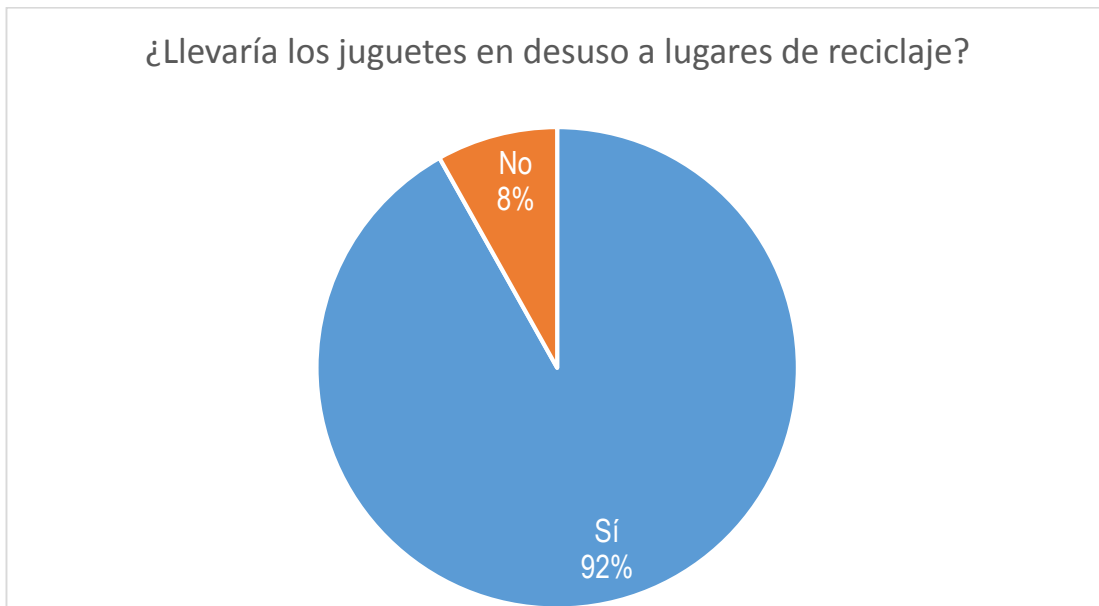
**Figura 5.39** Porcentaje de frecuencia que deposita en residuos los juguetes plásticos por los encuestados

El 66% de los encuestados considera que es importante reparar los juguetes de plástico para ser usados por otros niños, mientras que el 1% prefiere que sean incinerados (véase figura 5.40).



**Figura 5.40** Porcentaje de población que considera el adecuado manejo de los juguetes dañados

Finalmente, el 92% de los encuestados llevaría a reciclaje los juguetes en desuso, eso es una oportunidad para el reciclaje de los plásticos de los juguetes.



**Figura 5.41** Porcentaje de población que llevaría a reciclaje los juguetes plásticos



## Capítulo 6. PLAN DE MANEJO

La SEMARNAT publicó la NOM-161-SEMARNAT-2011, que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial (RME) y determinar cuáles están sujetos a Plan de Manejo; el listado de los mismos, el procedimiento para la inclusión o exclusión a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la formulación de los planes de manejo.

Los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos son considerados residuos al final de su vida útil, no obstante el material del que están compuestos tiene un valor económico al ser considerado como materia prima para su reciclado en el proceso de fabricación de nuevos juguetes o en su defecto, en otros productos. La Ciudad de México cuenta con infraestructura con la cual puede realizar la recolección de estos residuos, tratarlos con empresas que cuentan con el equipo para su tratamiento y empresas fabricantes que pueden incorporar a sus procesos de fabricación.

### 6.1 Información general

#### 6.1.1 Nombre del Solicitante

El Gobierno de la Ciudad de México es quien requiere la autorización del Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

#### 6.1.2 Modalidad del Plan de Manejo

Con base en el artículo 16 del Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, el Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos es considerado Mixto, por los sujetos que intervienen siendo la autoridad capitalina, empresas privadas y la comunidad. Del mismo modo, conforme su ámbito de ampliación, el Plan de Manejo es considerado Local al ser su aplicación en la Ciudad de México.

#### 6.1.3 Residuos objeto del Plan

Cuatro tipos de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, en la tabla 6.1 se describen sus características, y la figura 6.1 muestra los juguetes mencionados.

**Tabla 6.1** Características del residuo

| Tipo de Jugete | Tipo de Plástico               | Peso aproximado (g) | Dimensiones (cm) |       |       |
|----------------|--------------------------------|---------------------|------------------|-------|-------|
|                |                                |                     | Alto             | Ancho | Largo |
| Superhéroe     | SAN                            | 162                 | 30               | 9.5   | 4     |
| Bebé           | PVC                            | 495                 | 30               | 14    | 8.5   |
| Muñeca         | PVC/PVAc (cara y extremidades) | 128                 | 30               | 6.5   | 3     |
|                | ABS (torso)                    |                     |                  |       |       |
| Luchador       | PE                             | 22                  | 10               | 7.5   | 3     |



**Figura 6.1** Juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, de izquierda a derecha: superhéroe, muñeco bebé, muñeca y luchador

## 6.2 Diagnóstico del residuo

### 6.2.1 Cantidad estimada y principales fuentes potenciales de generación

El inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México, no establece el porcentaje de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos generados diarios. Como lo establece la Norma Mexicana NMX-AA-22-1985 para determinar la cantidad de residuos de juguetes plásticos se requiere de un gran equipo para realizar un estudio de los juguetes provenientes de los hogares familiares. La cantidad de residuos de juguetes plásticos sin dispositivo electrónico se estimó con la cantidad total de residuos domiciliarios y el porcentaje de plásticos determinado por Durán en 2013.

$$\text{RSD} \times \% \text{Plásticos} = \text{Cantidad de residuos}$$

Donde

RSD = Residuos sólidos domiciliarios Ciudad de México 2018 (6,274 ton/día)

%Plásticos = Porcentaje de plásticos catalogado como otros (0.85%)

El valor estimado de la cantidad de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos son 53.33 ton/día.

### 6.2.2 Fuentes potenciales de generación

La fuente de generación de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos provienen de los hogares familiares y hogares con población menor de 18 años. Aunque se sabe que también existen escuelas que generan residuos de juguetes plásticos así como algunas otras tiendas de servicios para entretenimiento de los niños. Sin embargo el Plan de Manejo está enfocado únicamente a los residuos domiciliarios.

### 6.2.3 Principales materiales que componen el residuo

El principal material que compone el residuo es plástico, sin embargo es importante identificar cual tipo de plástico constituye la estructura principal de cada juguete con la finalidad de realizar un adecuado reciclaje. Los espectros infrarrojos obtenidos con el equipo de espectroscopia infrarroja (FTIR-ATR) utilizado fue posible identificar el plástico de cada juguete (veáse tabla 6.2).

**Tabla 6.2** Composición de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos

| Tipo de Juguete   | Tipo de Plástico               | Peso promedio (g) |     | Número de reciclaje |
|-------------------|--------------------------------|-------------------|-----|---------------------|
| <b>Superhéroe</b> | SAN                            | 162               |     | 7                   |
| <b>Bebé</b>       | PVC                            | 495               |     | 3                   |
| <b>Muñeca</b>     | PVC/PVAc (cara y extremidades) | 102               | 128 | 3                   |
|                   | ABS (torso)                    | 26                |     | 7                   |
| <b>Luchador</b>   | PE                             | 22                |     | 2                   |

### 6.2.4 Manejo actual del residuo

Con base en la encuesta realizada, el 53% de los hogares con población menor de 18 años tiene la costumbre de donar aquellos juguetes plásticos que aún pueden ser utilizados por otros niños, sin embargo cuando son dañados o rotos, la mayoría los tira a la basura mezclándolo con los demás residuos generados en el hogar. Sólo el 5% respondió que manda a reciclaje los juguetes plásticos dañados, no se cuenta con el dato exacto pero algunas empresas los ocupan para su fabricar otros productos.

El sistema de recolección domiciliaria tiene cobertura en las 16 alcaldías de la Ciudad de México, quienes se encargan de recolectar y transportar todos los residuos a las 12 estaciones de transferencia existentes en la ciudad, cabe mencionar que al mismo tiempo el barrido de las calles realiza una recolección de algunos residuos domiciliarios donde también recolectan juguetes plásticos, sin embargo no se cuenta con el dato del flujo de estos. Lo mismo sucede con los pepenadores que también recuperan algunos plásticos se desconoce el flujo.

De las estaciones de transferencia al no considerar los residuos de juguetes plásticos como reciclables, se envían directo a los 5 sitios de disposición final de la ciudad de México que se ubican fuera de la demarcación territorial.

Varias investigaciones han reportado los compuestos tóxicos que contienen algunos juguetes plásticos que no recomiendan el reciclaje de los mismos por contener retardantes de flama (Digangi, Strakova, y Bell, 2017; Guzzonato, Puype, y Harrad, 2017), por tal motivo algunos son enviados a los complejos de plantas compactadoras de la Ciudad de México para posteriormente ser enviados a incineración a las plantas de CEMEX, o en su defecto son enviados como rechazo a los 5 sitios de disposición final de la Ciudad de México que se ubican fuera de la Ciudad.

---

### **6.2.5 Problemática ambiental**

En 2010, la Ciudad de México implementó la separación de la fuente de los residuos en orgánico e inorgánico, aunque no se ha logrado al 100% en todas las alcaldías, esto genera una mayor dificultad en la clasificación de los residuos FIRSU para su aprovechamiento. Los juguetes plásticos dañados no cuentan con una identificación de reciclaje, por ello son usualmente enviados directamente al relleno sanitario o en su defecto como residuos para valorización energética en plantas de CEMEX.

La cantidad de juguetes plásticos que son enviados a los rellenos sanitarios reduce la vida útil de estos sitios de disposición final. En algunos casos, cuando son quemados los residuos con juguetes plásticos se liberan contaminantes tóxicos al aire conocidas como dioxinas, compuestos orgánicos persistentes, que están prohibidos por el Convenio de Estocolmo.

### **6.2.6 Identificación del uso y aprovechamiento potencial de los residuos en otras actividades productivas**

Con base en la caracterización realizada de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, los plásticos que tiene una mayor facilidad de reciclaje son aquellos que están elaborados los muñecos bebé y luchadores, PVC y PE respectivamente, para fabricar nuevos juguetes, o en su defecto para ser utilizados como materia prima en la fabricación de otros productos como sillas, mesas, o alguno otro tipo de mueble. Los plásticos que constituyen la muñeca y el superhéroe, pueden presentar una pequeña dificultad para ser reciclados, sin embargo como se revisó en la bibliografía son termoplásticos que pueden ser reciclados si se cuenta con la maquinaria adecuada.

## **6.3 Formas de manejo integral propuestas para el residuo**

### **6.3.1 Generación del residuo**

De los 381 hogares encuestados con población menor de 18 años, el 86% deposita sus juguetes plásticos cada año, se deberá informar a las autoridades capitalinas la información presentada de los juguetes analizados con el objetivo de reducir su disposición final en los rellenos sanitarios.

El Gobierno de la ciudad de México implementará en todas sus alcaldías estrategias para difundir y comunicar a los consumidores, la entrega de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos en las campañas de Mercado de Trueque Escolar, en escuelas de primaria, secundaria y preparatoria, quienes son los principales generadores de residuos de juguetes plásticos. A la par, la autoridad deberá consultar con asociaciones, empresas recicladoras y empresas fabricantes que puedan incorporar los plásticos reciclados como materia prima a su fabricación de productos.

Una importante consulta se realizará con empresas jugueteras en la Ciudad de México para implementar el uso de una economía circular en la fabricación de juguetes plásticos. Es de suma importancia integrar a este proyecto asociaciones como ANIPAC recicladores, el instituto nacional de recicladores y el Grupo MIRES (Manejo Integral de Residuos Sólidos) para lograr consolidar la participación de todos los involucrados en el reciclaje de plásticos.

### 6.3.2 Recolección de los residuos

Se consideran dos etapas para la recolección de los residuos del Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos para la Ciudad de México:

#### 6.3.2.1 Primera etapa

La recolección será con apoyo del programa del Mercado del Trueque Escolar, que en 2014 se incorporó con el objeto de fomentar a temprana edad una cultura ambiental responsable de la separación y reciclaje de los residuos. En este caso se intercambian los juguetes plásticos por materiales didácticos, y serán destinados al reciclaje para la fabricación de nuevos juguetes o para algún otro producto que requiera las características del plástico. Con la finalidad de recuperar los juguetes dañados y puedan ser utilizados por empresas que los ocupen como materia prima dentro de su fabricación de productos.

En caso de que algunos residuos de juguetes plásticos lleguen a las estaciones de transferencia y sean enviados a las 2 Plantas de selección de la Ciudad de México, se realizará la separación de los juguetes plásticos de los demás residuos para su tratamiento posterior.

Los contenedores de los juguetes plásticos deberán estar etiquetados y bien separados e identificados por el tipo de plástico que contiene, como se muestre en la tabla 6.3.

**Tabla 6.3.** Identificación de contenedores de juguetes plásticos reciclables

| Tipo de Jugete    | Tipo de Plástico               | Número de reciclaje |
|-------------------|--------------------------------|---------------------|
| <b>Superhéroe</b> | SAN                            | 7                   |
| <b>Bebé</b>       | PVC                            | 3                   |
| <b>Muñeca</b>     | PVC/PVAc (cara y extremidades) | 3                   |
|                   | ABS (torso)                    | 7                   |
| <b>Luchador</b>   | PE                             | 2                   |

La SEDEMA de la Ciudad de México cuenta con el padrón de 114 empresas de transporte de RSU y RME, de las cuales 18 cuentan con autorización vigente para el transporte de residuos plásticos en la Ciudad de México (véase tabla 6.4). Se debe verificar el tipo de plástico que pueden transportar para asignarle el tipo de juguete plástico que pueden transportar.

**Tabla 6.4 Empresas de recolección de residuos plásticos autorizadas por la SEDEMA**

| Número de registro. (vigente) | Nombre de la persona física o moral titular de la Autorización  | Alcaldía       | Número de vehículos autorizados (en su caso) | Tipo de residuos autorizados.  |
|-------------------------------|---|----------------|--|--|
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L041/2018   | ADMINISTRADORES PROFESIONALES DE INMUEBLES, S.C.  | Miguel Hidalgo | 1  | Plastico y Papel   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIL-L002/18     | RECUPER, S.A. DE C.V.   | Iztapalapa     | 8  | Cartón, Papel, Plastico y Metal Ferroso  |
| CDMX-SEDEMA-RAMIL-L137/18     | SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL   | Miguel Hidalgo | 42   | Cartón, Papel, Plastico, Metal Ferroso, Metal no Ferroso, Residuos de alimentos, Vidrio, Residuos de jardinería, Algodon y otros(Pañales, toallas sanitarias)  |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L019/2018   | RECUPERACIONES TINAJERO, S.A. DE C.V.   | Iztapalapa     | 2  | Cartón, metales ferrosos, madera, papel, plástico, vidrio, muebles, neumáticos y residuos tecnológicos   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L057/2017   | SOLUCIONES AMBIENTALES FORTUNA, S.A. DE C.V.  | Cuauhtémoc     | 12   | (Algodón, alimento, cartón, jardinería, loza, madera, papel, plástico y vidrio), (Construcción, demolición, lodos, médicos no peligrosos y tecnológicos)   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L060/2017   | Bioppapel, S.A.B. de C.V.   | Azcapotzalco   | 4  | Recolección, Transporte, Acopio y Almacenamiento residuos sólidos urbanos (Cartón, lata, papel y plástico)   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L019/2017   | RECUPERACIONES TINAJERO, S.A. DE C.V.   | Iztapalapa     | 2  | Recolección, Transporte, Acopio y Almacenamiento de residuos de manejo especial (Tecnológicos y muebles)   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR- F072/2018  | UNIÓN DE TRANSPORTISTAS INDEPENDIENTES DE CARGA, MATERIALISTAS Y FLETOS DE LA REPÚBLICA MEXICANA UTIC, S.C. | Miguel Hidalgo | 120  | Recolección y Transporte residuos sólidos urbanos y residuos de manejo especial (Loza, Madera, Metal Ferroso, Metal No Ferroso, Papel, Plástico, Vidrio, Cartón, Jardinería, Enseres, Alimento, Lodos, Construcción, Demolición)   |
| CDMX-SEDEMA-RAMIR-L033/2018   | UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO   | Coyoacán       | 10   | RSAlime, REPlast (tereftalato de polietileno (PET), polietileno de baja y alta densidad (PEBD y PEAD), polipropileno (PP)), RSCarto, RSPapel, RSMetFe, RSMetNFe, RSOtro (envases multicapa), REOtro (residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado (papel sanitario, toallas sanitarias, bolsas de frituras y pañales)), RSVidri, RETeco, REBatPilas. |



**Tabla 6.4** Continuación

|  |   |                   |    |   |
|--|---|-------------------|----|---|
| <b>CM-SEDEMA-RAMIR/RT/RBSA/RIPR/RME/L398</b> | JYDE SERVICIOS INTEGRALES DE ADMINISTRACION Y LOGISTICA, S.A. DE C.V. | Iztapalapa        | 3  | Residuos Sólidos Urbanos en las categorías de residuos biodegradables susceptibles de ser aprovechados (jardinería y alimentos), residuos inorgánicos con potencial de reciclaje (papel, cartón, plástico, vidrio, madera (tarimas), metales ferrosos (fierro y acero inoxidable), metales no ferrosos (cobre, aluminio y bronce)) y Residuos de Manejo Especial (equipo de informática y telecomunicaciones)   |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L387/2018</b>           | REDEIR, S.A. de C.V. / Recuperadora de desecho industrial Rodríguez   | Iztapalapa        |    | metales ferrosos, no ferrosos, cartón, madera, plástico y vidrio  |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L247/2018</b>           | Confederación Nacional de Industriales de Metales y Recicladores A.C  | Coyoacán          |    | RS (cartón, lata, metal ferroso, metal no ferroso, papel, plástico, vidrio, algodón, hule, fibra, loza y madera) CHATARRA   |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L089/2017</b>           | GRUPO BENJ, S.A. DE C.V.  | Gustavo A. Madero |    | RSAlim, RSJardi, RSCarto, RSHule, RSLata, RSMader, RSMetFe, RSPapel, RSPlast, RSVidrio, Sanitarios, REMedic, REConst  |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L090/2017</b>           | CRYSTIAN GUILLERMO ZAVALA FIGUEROA                                    | Gustavo A. Madero | 1  | Plástico, metal ferroso, metal no ferroso y madera.   |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L134/2017</b>           | ECOLOGÍA Y AMBIENTES NATURALES, S.C.                                  | Benito Juárez     | 10 | cartón, hule, jardinería y poda, madera, metales ferroso, metales no ferrosos, pet, orgánicos, papel, papel sanitario, plásticos, vidrio, construcción y demolición.  |
| <b>CM-SEDEMA-RAMIR/RTAA/RSU/RME/L033</b>     | RECICLAJE PROFESIONAL DE RESIDUOS, S.A. DE C.V.                       | Azcapotzalco      | 6  | residuos sólidos urbanos en su categoría de metales con potencial de reciclaje (ferrosos y no ferrosos), inorgánicos con potencial de reciclaje (cartón, papel, plástico, vidrio y madera), biodegradables susceptibles de ser aprovechados (jardinería y alimentos), inorgánicos de aprovechamiento limitado (sanitarios, pañuelos usados, papel sanitario, toallas sanitarias, cotonetes, curitas, polipapel, bolsas de frituras, calzado, hule, filtros de agua, colillas de cigarro, chicles, plásticos de difícil aprovechamiento con aditivos degradantes) y de manejo especial (electrónicos). |
| <b>RA-BER-01-09-01/2020</b>                  | ERIKVON, S.A. DE C.V.   | Iztapalapa        | 8  | papel, cartón, plástico, fierro y aluminio  |
| <b>CDMX-SEDEMA-RAMIR-L362/2018</b>           | Óscar Velázquez López   | Gustavo A. Madero | 1  | Residuos sólidos urbanos (alimentos, jardinería, papel, cartón, plástico, metal no ferroso, metal no ferroso, hule, lata, sanitarios); Residuos de manejo especial (tecnológicos, plasticos, muebles)   |



Los choferes asignados para el transporte de los residuos deberán contar con identificación oficial, licencia de manejo, tarjeta de circulación y verificación vehicular vigentes. Además de llevar una copia de la autorización de transporte de los residuos emitida por la SEDEMA. Cabe señalar que deberán generar un manifiesto de recolección, transporte y disposición de los residuos donde especifique la cantidad transportada.

### 6.3.2.2 Segunda etapa

Se integrará a la iniciativa privada para la ampliación de la recolección de juguetes plásticos, considerando el Programa Plastianguis, el cual está es organizado por la Comisión de la Industria de Plástico Responsabilidad y Desarrollo Sustentable de la ANIQ. Se realizará en las 16 alcaldías para recuperar la mayor cantidad de residuos. El etiquetado de los contenedores que los residuos será la misma que la tabla 6.4. y serán transportados con empresas autorizadas por la SEDEMA.

### 6.3.3 Tratamiento de los residuos y aprovechamiento

Los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos que se analizaron son considerados termoplásticos, el tratamiento que se les da para su recuperación es conocido como tratamiento secundario o mecánico, estos generalmente incluyen procesos de corte de molienda, limpieza, extrusión, enfriamiento y almacenaje para su posterior comercialización. Las empresas dedicadas al reciclaje deberán tener la maquinaria necesaria para realizar este tipo de tratamiento a los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

La SEDEMA cuenta con un registro de 423 centros de acopio o reciclaje, de los cuales 20 reciclan plásticos y son candidatos potenciales para el aprovechamiento del plástico de los juguetes.

**Tabla 6.5** Centros de acopio y reciclaje registrados en la SEDEMA

| Empresa  | Tipo de residuo  |
|--|--|
| <b>BasuraCero</b>                                    | PET, bolsas de plástico, taparrosas, empaques metálicos de galletas y papas, envases de detergente, shampoo, productos de limpieza y yogurt. |
| <b>Recicladora Schrader</b>                          | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Alcamare, S. de R.L. de C.V.</b>                  | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Química Wimer, S.A. de C.V.</b>                   | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Recuper, S.A. de C.V.</b>                         | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Recicla Ortiz</b>                                 | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>ETMA Reciclables</b>                              | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Materiales reciclables</b>                        | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Depósito de Materiales Reciclables Los Gallos</b> | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>ECOCE</b>   | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Palsan</b>  | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |
| <b>Centro de reciclaje</b>                           | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack.   |

**Tabla 6.5** Continuación

| Empresa   | Tipo de residuo  |
|---|--|
| <b>Desperdicios industriales Zaragoza, S.A. de C.V.</b> | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack. |
| <b>Servicios para Reciclar, S.A. de C.V.</b>            | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack. |
| <b>ECONTAINER, S.A. de C.V.</b>                         | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack. |
| <b>On Site Destruction México, S.A. de C.V.</b>         | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack. |
| <b>Proactiva Medio Ambiente México</b>                  | Cartón, plástico (PET y otros), metales (varios), vidrio y tetratpack. |
| <b>Ecolomovil</b>                                       | Plásticos HDPE, LDPE, playo, bopp, PET, polipropileno                  |
| <b>Bio Pappel, S.A. de C.V.</b>                         | Diferentes plásticos   |
| <b>Recicladora EcoAzteca, S.A. de C.V.</b>              | Distintos tipos de plásticos   |

Las empresas que estén interesadas en adquirir el material plástico reciclado, solicitará que los envíen para introducirlos dentro de su cadena de procesamiento.

Es importante que al momento de realizar el reciclaje de los plásticos en los juguetes se realice de manera independiente, es decir, no mezclar los tipos de plástico debido a que se contaminan y pierden sus características fisicoquímicas.

Los juguetes como el luchador, los muñecos bebés y los superhéroes están constituidos de un solo tipo de plásticos, mientras que la muñeca Barbie está constituido por dos o hasta tres considerando el cabello. Se debe tener cuidado de separar cada componente para realizar un adecuado reciclado de los plásticos.

El proceso de reciclaje deberá ser mecánico, contar con maquinaria que permita el la molienda de cada plástico, obteniéndose hojuelas de plástico conocidas como scraps, de un tamaño aproximado a un centímetro. Posteriormente se deberá realizar un lavado con agua y detergente para eliminar grasas y otros elementos físicos. El lavado es para retirar los restos de humedad. El siguiente paso es con secadores, que por lo común se usan en las empresas de plástico, los cuales tienen una capacidad de procesamiento entre 100 y 150 kilogramos por hora. Otras técnicas utilizan primero un escurridor centrífugo para separar el agua y se procede a secar los scraps con aire. Finalmente se almacenaran en un contenedor para su comercialización a las empresas fabricantes de juguetes u otras empresas que requieran el plástico reciclado (Al-Salem, Lettieri y Baeyens, 2009).

### 6.3.4 Destino final

El Objetivo del Programa Basura Cero es lograr que reduzca la cantidad de residuos que llegan a los rellenos sanitarios, tendiendo como meta en 2030 no generar ningún residuo. Por lo tanto con este Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos se pretende lograr esta meta.

### 6.4 Metas de cobertura del plan, de recuperación o aprovechamiento del residuo, durante la aplicación del Plan de Manejo

Las metas de cobertura del plan que en las 16 alcaldías de la Ciudad de México se conozca el Plan de Manejo y se reciclen los juguetes plásticos. Se presenta en la tabla 6.4 las metas en cada etapa del Plan de Manejo.

**Tabla 6.6** Metas del Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos

| Descripción  | Meta   |
|--|--|
| <b>Implementación en el Programa de Mercado del trueque escolar la recuperación de plástico de juguetes sin dispositivos electrónicos.</b> | <p>Año 2021 y 2023</p> <p>Recolección del 50% de los residuos generados de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos de los residuos domiciliarios.</p> <p>Tratamiento del 100% de los residuos recolectados.</p> <p>Reciclaje del 100% de los residuos tratados en empresas fabricantes de juguetes o en aquellas que requieran este material como materia prima.</p>  |
| <b>Implementación de Plastianguis a la recuperación del plástico de juguetes sin dispositivos electrónicos.</b>                            | <p>Año 2024 y 2025</p> <p>Recuperación del 70% de los residuos de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos de los residuos domiciliarios.</p> <p>Tratamiento del 100% de los residuos reciclados</p> <p>Reciclaje del 100% de los residuos tratados en empresas fabricantes de juguetes o en aquellas que requieran este material como materia prima.</p> <p>Año 2016 y 2027</p> <p>Recuperación del 90% de los residuos de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos de los residuos domiciliarios.</p> <p>Tratamiento del 100% de los residuos recolectados.</p> <p>Reciclaje del 100% de los residuos tratados en empresas fabricantes de juguetes o en aquellas que requieran este material como materia prima.</p> |

---

### **6.5 Descripción del destino final del residuo sea nacional o internacional**

Como se presentó en la tabla 6.6, se recuperará el plástico de los juguetes sin dispositivos electrónicos en el año 2024 proveniente de los residuos domiciliarios y en el año 2027 se reducirá la cantidad de estos residuos en los sitios de disposición final de la Ciudad de México localizados en las afueras.

### **6.6 Mecanismos de operación, control y monitoreo para el seguimiento del plan, así como los mecanismos de evaluación y mejora del plan de manejo.**

La SEDEMA de la Ciudad de México deberá registrar los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos como residuos de manejo especial para llevar un registro de las cantidades de generación, transporte, tratamiento y disposición de estos residuos.

La cantidad de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos será registrada en bitácoras de acopio en la campaña del Mercado del trueque escolar. De igual forma, se revisará el reporte anual que hagan las empresas recicladoras de la cantidad de plásticos recuperados y deberá corresponder con aquellas empresas que integren estos plásticos como materia prima en la fabricación de sus productos.

La evaluación del Plan de Manejo será con la cantidad de residuos de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos que registren las plantas de selección de la Ciudad de México, la cual deberá disminuir conforme el paso del tiempo hasta lograr que no existan en el relleno sanitario.

---

## Capítulo 7. CONCLUSIONES

El diagnóstico sobre el manejo de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos, realizado consultando documentos técnicos, la legislación internacional, la nacional, y la local de la Ciudad de México; reafirma que ningún país cuenta con una estrategia enfocada en la economía circular de juguetes de estas características, debido a que estos residuos sólidos urbanos son competencia de los municipios. Por lo tanto, los resultados en esta investigación sirven para apoyar a la propuesta de un plan del manejo de los juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

El diseño y aplicación de encuestas a consumidores de los juguetes plásticos en la Ciudad de México, considerando su relación con el manejo de residuos sólidos urbanos, ha permitido determinar, con una primera aproximación, el estado actual de su inapropiado manejo, por la falta de concientización a la población y a las autoridades que disponen la mayoría de los juguetes al relleno sanitario, sin embargo la mayoría está dispuesta a llevarlas a reciclaje.

La determinación del destino final de los juguetes, analizando la información de las encuestas sobre el uso y consumo de juguetes plásticos, nos hace suponer que la mayor parte de los juguetes son depositados a rellenos sanitarios.

La propuesta del Plan de Manejo de juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos para la Ciudad de México, considerando la NOM-161-SEMARNAT-2011 y los resultados del laboratorio así como de los estudios en campo, permitieron identificar que los juguetes plásticos seleccionados para este estudio, pueden ser reciclados al terminar su vida útil, debido a que su tiempo de degradación lleva muchos años.

La primera hipótesis de investigación donde se supone que un proceso biológico, como es el anaerobio, puede descomponer a largo plazo los plásticos con los que se elaboran los juguetes no se logró probar en un lapso de 10 meses, ya que se demostró tanto en las pruebas utilizando los lisímetros y en las celdas en el relleno sanitario que la alteración fue mínima en cada uno de los muñecos.

La segunda hipótesis de esta investigación sobre los plásticos con los que se fabrican los juguetes pueden ser alterados por los parámetros de temperatura, radiación y humedad controladas en la cámara de intemperismo acelerado, no se pudo comprobar simulando 3 años, pero se recomienda que el tiempo de exposición debe ser más prolongado para tener mayores cambios visibles en el plástico.

---

## Capítulo 8. RECOMENDACIONES

Las pruebas en la cámara de intemperismo acelerado y en las celdas dentro del relleno sanitario se deben realizar en periodos más largos y con una mayor cantidad de repeticiones, para comprobar la descomposición de las moléculas que constituyen los plásticos con que están fabricados los juguetes y observar los cambios físicos en cada uno de ellos. Pero cabe señalar, que al aumentar las repeticiones y periodos más largos de las pruebas elevarían los costos de la investigación.

La caracterización de los juguetes plásticos también se puede realizar con cromatografía líquida de alta resolución acoplada a la espectrometría de masas (LC-MS) para identificar en los juguetes plásticos si los aditivos agregados al plástico son retardantes de flama que no permita el reciclaje de los mismos.

Identificar los tipos de plásticos de otros juguetes para implementar en el Plan de Manejo de Juguetes plásticos sin dispositivos electrónicos.

La legislación y normatividad mexicana deberá considerar otros contaminantes de los juguetes plásticos como límites máximos permisibles de la concentración de ftalatos.

Se debe buscar la gestión con empresas internacionales fabricantes de juguetes, como HASBRO y MATTEL, han desarrollado campañas para la recolección de juguetes que han terminado su vida útil, con el propósito de reciclarlos y elaborar nuevos. Otras empresas como LEGO, han considerado la posibilidad de fabricarlos con otro tipo de material biodegradable, sin embargo esta no es la solución del problema debido a que en realidad solo fragmentan los polímeros en partículas más pequeñas, y los materiales biodegradables no pueden ser reciclados.

---

## REFERENCIAS

- Abdelghany, A. M., Meikhal, M. S., y Asker, N. (2019). Synthesis and structural-biological correlation of PVC/PVAc polymer blends. *Journal of materials research and technology*, 8(5), 3908-3916.
- Achilias, D., Roupakias, C., Megalokonomos, P., Lappas, A., y Antonakou, E. (Noviembre de 2007). Chemical recycling of plastic wastes made from polyethylene (LDPE and HDPE) and polypropylene (PP). *Journal of Hazardous Materials*, 149(3), 536-542.
- Ahumada, J. J., Viasus, J. C., y Torres, V. N. (2006). *Diagnostico para la creación de una empresa productora y comercializadora de productos elaborados a base de madera plástica*. Colombia: Universidad de la Sabana.
- Al-Salem, S., Lettieri, P., y Baeyens, J. (2009). Recycling and recovery routes of plastic solid waste (PSW): a review. *Waste Management*, 29, 2625 - 2643.
- Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62, 1596-1605.
- ANIPAC. (2018). *Acuerdo Global de la Nueva Economía de Plástico* Obtenido de Asociación Nacional de la Industria del Plastico, A.C.: <http://responsabilidad.anipac.com/acuerdo-global-de-la-nueva-economia-del-plastico>
- ANIQ. (2018). *Degradación y biodegradación de plásticos*. Obtenido de Asociación Nacional de la Industria Química, A.C.: <https://s3.amazonaws.com/online.anyflip.com/iwof/nlbm/mobile/index.html>
- ANIQ. (2018). *Resultados y Principales productos*. Obtenido de Programa de Acopio de Residuos Plásticos PLATIanguis CIPRES: <https://aniq.org.mx/webpublico/notas/plastianguis.asp>
- Bagsik, I. (11 de Marzo de 2013). *Barbie's Product Life Cycle - Raw Materials*. Obtenido de Design Life Cycle: <http://www.designlife-cycle.com/barbie-dolls>
- Baztan, J., Jorgensen, B., Pahl, S., Thompson, R. C., y Vanderlinden, J.-P. (2017). *MICRO 2016. Fate and Impact of Microplastics in Marine Ecosystems: From the Coastline to the Open Sea*. Elsevier.
- BPF. (2019). *A History of Plastics*. Obtenido de British Plastics Federation: [https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics\\_history/default.aspx](https://www.bpf.co.uk/plastipedia/plastics_history/default.aspx)
- Brebbia, C. A., Longhurts, J. W., & Popov, V. (2011). *Air pollution XIX*. Gran Bretaña: WIT Press.
- Burkle. (s.f.). *Materiales Plásticos, propiedades*. Obtenido de Burkle: [https://www.buerkle.de/files\\_pdf/wissenswertes/propiedades\\_de\\_materiales\\_plasticos\\_es.pdf](https://www.buerkle.de/files_pdf/wissenswertes/propiedades_de_materiales_plasticos_es.pdf)
- Campo, J., Lorenzo, M., Cammeraat, E. L., Picó, Y., y Andreu, V. (2017). Emerging contaminants related to the occurrence of forest fires in the Spanish Mediterranean. *Science of The Total Environment*, 603-604, 330-339.
- Carpenter, E. J., y Smith Jr., K. (1972). Plastics on the Sargasso Sea Surface. *Science*, 175(4027), 1240-1241.



- 
- Cedrón, J. C., Landa, V., y Robles, J. (2011). *Química general*. Obtenido de <http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/contenido/82-polimeros.html>
- Chen, S.-J., Ma, Y.-J., Wang, J., Chen, D., Luo, X.-J., y Mai, B.-X. (2009). Brominated Flame Retardants in Children's Toys: Concentration, Composition, and Children's Exposure and Risk Assessment. *Environ. Sci. Technol.*, 4200 - 4206.
- Cho, D.-O. (2009). The incentive program for fishermen to collect marine debris in Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 58(3), 415-417.
- Cochran, W. G. (1993). *Técnicas de muestreo*. México: Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V.
- CODA. (5 de Febrero de 2016). *Life in Plastic: How Mattel Created Its New, Diverse Line of Barbie Dolls*. plastics. Obtenido de CODA: <https://www.coda-plastics.co.uk/blog/life-in-plastic-how-mattel-created-its-new-diverse-line-of-barbie-dolls>
- CPSC. (2012). *Toy Standard ASTM F963*. Obtenido de U.S. Consumer Product Safety Commission: [https://www.cpsc.gov/s3fs-public/F963status03142012\\_1.pdf](https://www.cpsc.gov/s3fs-public/F963status03142012_1.pdf)
- Dahlbo, H., Poliakova, V., Mylläri, V., Sahimaa, O., y Anderson, R. (2018). Recycling potential of post-consumer plastic packaging waste in Finland. *Waste Management*, 71, 52-61.
- Digangi, J., Strakova, J., & Bell, L. (Noviembre de 2017). *POPs Recycling Contaminates Children's Toys with Toxic Flame Retardants*. Obtenido de IPEN: <https://ipen.org/documents/pops-recycling-contaminates-childrens-toys-toxic-flame-retardants>
- DKV. (2019). *Contaminación por plásticos, Uno de los mayores desafíos ambientales del siglo XXI*. Obtenido de DKV: <https://dkvsalud.com/es/instituto/observatorio/plastico>
- DOF. (30 de Noviembre de 2006). Diario Oficial de la Federación. *Reglamento de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos*. México.
- DOF. (22 de Agosto de 2011). Diario Oficial de la Federación. *Norma Oficial Mexicana NOM-161-SEMARNAT-2011*. México.
- DOF. (15 de Mayo de 2012). Diario Oficial de Federación. *Norma Oficial Mexicana NOM-252-SSA1-2011*. México.
- Ebert, J., y Bahadir, M. (2003). Formation of PBDD/F from flame-retarded plastic materials under thermal stress. *Environment International*, 29(6), 711-716.
- Eerkes-Medrano, D., Thompson, R. C., y Aldridge, D. C. (2015). Microplastics in freshwater systems: A review of the emerging threats, identification of knowledge gaps and prioritisation of research needs. *Water Research*, 75, 63-82.
- El empresario. (3 de Mayo de 2016). *Jugueterías: el nombre del juego es vender experiencias*. Obtenido de El empresario: <https://elempresario.mx/actualidad/jugueterias-nombre-juego-es-vender-experiencias-0>
- Elmer, P. (2016). *Polymer Characterization Technical Poster*. Obtenido de Soporte Técnico Analítico: <https://www.industrialgaray.com/>
- Environment and Communications References Committe. (Abril de 2016). *Report Toxic tide: the threat of marine plastic pollution in Australia*. Obtenido de The Senate:
-

---

[https://www.aph.gov.au/Parliamentary\\_Business/Committees/Senate/Environment\\_and\\_Communications/Marine\\_plastics/~media/Committees/ec\\_ctte/Marine\\_plastics/Report/report.pdf](https://www.aph.gov.au/Parliamentary_Business/Committees/Senate/Environment_and_Communications/Marine_plastics/~media/Committees/ec_ctte/Marine_plastics/Report/report.pdf)

- Eriksen, M., Mason, S., Wilson, S., Box, C., Zellers, A., Edwards, W., . . . Amato, S. (2013). Microplastic pollution in the surface waters of the Laurentian Great Lakes. *Marine Pollution Bulletin*, 77(1-2), 177-182.
- Espinoza, C., Esteban, M. Á., y Cuesta, A. (2016). Microplastics in Aquatic Environments and Their Toxicological Implications for Fish. En InTech, *Toxicology - New aspects to this scientific Conundrum* (págs. 113-145). InTech.
- European Commission. (2018). *Plastics in a circular economy. The Commission's plan for plastics*. Obtenido de European Commission: [https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/plastics-circular-economy\\_en](https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/research-area/environment/plastics-circular-economy_en)
- European Commission. (2019). *Single market ans standards. Toy safety*. Obtenido de European Commission: [https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/toys\\_en](https://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/toys_en)
- Geyer, R., Jambeck, J., y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made. *Science Advances*, 3.
- GOCD. (25 de Junio de 2019). *Reforma a la Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal*. Obtenido de Gaceta Oficial de la Ciudad de México: [https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal\\_old/uploads/gacetas/408ba286c289c8b5f78d4a87d6d5b9b8.pdf](https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/portal_old/uploads/gacetas/408ba286c289c8b5f78d4a87d6d5b9b8.pdf)
- GOCM. (19 de Octubre de 2016). Gaceta Oficial de la Ciudad de México. *Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la Ciudad de México 2016-202*. Ciudad de México, México.
- GODF. (13 de Enero de 2000). Gaceta Oficial del Distrito Federal. *Ley Ambiental de Protección a la Tierra en el Distrito Federal*. Ciudad de México, México.
- GODF. (22 de abril de 2003). Gaceta Oficial del Distrito Federal. *Ley de residuos sólidos del Distrito Federal*. Ciudad de México, México.
- GODF. (7 de octubre de 2008). Gaceta Oficial del Distrito Federal. *Reglamento de la ley de residuos sólidos del Distrito Federal*. Distrito Federal, México.
- GODF. (8 de Julio de 2015). Gaceta Oficial del Distrito Federal. *Norma Ambiental NADF-024-AMBT-2013*. Distrito Federal, México.
- Gómez, M. R., y Gil, J. R. (1998). *Los plásticos y el tratamiento de sus residuos*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Greenpeace. (2019). *Reciclar. La falacia de la industria en la lucha contra la contaminación plástica*. Obtenido de Greenpeace: <https://cdn2.hubspot.net/hubfs/2617486/Greenpeace/templates/pages/alianza/estado-del-reciclaje-reporte-completo.pdf>
- Guzzonato, A., Puype, F., y Harrad, S. J. (2017). *Evidence of bad recycling practices: BFRs in children's toys*. Obtenido de Environmental Science Processes and Impacts: <https://europepmc.org/article/med/28636053>
-

- 
- Herrera, F. A. (2014). *Ciencia de los polímeros*. Obtenido de Universidad Anáhuac: [educommons.anahuac.mx/eduCommons/ciencia-de-los-polimeros](https://educommons.anahuac.mx/eduCommons/ciencia-de-los-polimeros)
- Higgins, F. (4 de December de 2013). *Rapid and reliable phthalate screening in plastics by portable FTIR spectroscopy*. Obtenido de Agilent Technologies: <https://grupobiomaster.com/wp-content/uploads/2015/05/1586.pdf>
- Hopewell, J., Dvorak, R., y Kosior, E. (2009). Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical transactions of the royal society B*.(364), 2115 - 2126.
- ICTI. (Diciembre de 2017). *Toy Safety Standars Around the World*. Obtenido de International Council of Toy Industries: <https://www.toy-icti.org/info/toysafetystandards.html>
- IEA. (2007). *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions*. Obtenido de International Energy Agency: [https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking\\_emissions.pdf](https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/tracking_emissions.pdf)
- INEGI. (2015). *Censo nacional de gobiernos municipales y delegacionales 2015*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía: <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2015/>
- INEGI. (2015). *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas* . Obtenido de Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas : <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- INEGI. (2017). *Perfil de fabricación de productos plásticos*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825092894.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825092894.pdf)
- INEGI. (enero de 2020). *Colección de estudios sectoriales y regionales. Conociendo la Industria del juguete*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825193959.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825193959.pdf)
- INEGI. (2020). *Colección de estudios sectoriales y regionales. conociendo la industria del juguete*. Obtenido de Instituto Nacional de Estadística y Geografía:  
[http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825193959.pdf](http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/Productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825193959.pdf)
- Jacquinet, B., Hjelmar, O., y Vehlow, J. (Abril de 2000). *The influence of pvc on the quantity an dhazardousness of flue gas residues from incineration*. Obtenido de Berlin Technologies: <https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pvc/incineration.pdf>
- Jegede, D. O., Adewuyi, G. O., Gbadamosi, M. R., Oladoye, P. O., Ogunneye, A. L., y Oyewola, O. J. (2019). Degradation of diethyl phthalate and Di (2-ethylhexyl) phthalate using chemical and microbial methods. *Nigerian Journal of Chemical Research*, 24(2), 78-89.
- Jung, M. R., Horgen, F. D., Orski, S. V., Rodríguez C., V., Beers, K. L., Balazs, G. H., . . . Lynch, J. M. (2018). Validation of ATR FT-IR to identify polymers of plastic marine debris, including those ingested by marine organisms. *Marine Pollution Bulletin*(127), 704-716.

- 
- Kodavanti, P. R., Coburn, C. G., Moser, V. C., MacPhail, R. C., Fenton, S. E., Stoker, T. E., . . . Birnbaum, L. S. (2010). Developmental Exposure to a Commercial PBDE Mixture, DE-71: Neurobehavioral, Hormonal, and Reproductive Effects. *Toxicological Sciences*, 116(1), 297-312.
- La Jornada. (6 de Septiembre de 2007). *Retira Mattel del mercado 11 modelos más de juguetes hechos en China*. Obtenido de La Jornada: <https://www.jornada.com.mx/2007/09/06/index.php?section=economia&article=023n1eco>
- Leslie, H. (2015). *Plastic in Cosmetics: Are we polluting the environment through our personal care? Plastic ingredients that contribute to marine microplastic litter*. Obtenido de The Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities: [https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic\\_in\\_cosmetics\\_Are\\_we\\_polluting\\_the\\_environment\\_through\\_our\\_personal\\_care\\_-2015Plas.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9664/-Plastic_in_cosmetics_Are_we_polluting_the_environment_through_our_personal_care_-2015Plas.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Li, W. C., Tse, H. F., y Fok, L. (2016). Plastic waste in the marine environment: A review of sources, occurrence and effects. *Science of The Total Environment*, 566-567, 333-349.
- Li, Y., Li, J., y Deng, C. (2014). Occurrence, characteristics and leakage of polybrominated diphenyl ethers in leachate from municipal solid waste landfills in China. *Environmental Pollution*, 184, 49-100.
- Löhr, A., Savelli, H., Beunen, R., Kalz, M., Ragas, A., y Van Belleghem, F. (2017). Solutions for global marine litter pollution. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 28, 90-99.
- Longo, C., Savaris, M., Zeni, M., Brandalise, R. N., y Coulon, A. M. (2011). \*e-mail: amcgrisa@ucs.br Degradation Study of Polypropylene (PP) and Bioriented Polypropylene (BOPP) in the Environment. *Materials research*.
- Madrigal, D. (10 de Marzo de 2013). *Introducción a la historia del luchador de plástico*. Obtenido de Museo del Juguete Antiguo México: <http://museodeljuguete.mx/?p=1258>
- Martínez, L. (2005). Propuesta de un modelo de plan de negocios para PyMES de la industria del juguete en México (Tesis de maestría). D.F, México: Instituto Politécnico Nacional.
- Matsukami, H., Suzuki, G., Someya, M., Uchida, N., Tue, N. M., Tuyen, L. H., . . . Takigami, H. (2017). Concentrations of polybrominated diphenyl ethers and alternative flame retardants in surface soils and river sediments from an electronic waste-processing area in northern Vietnam, 2012–2014. *Chemosphere*, 167, 291-299.
- McDonald, J. H. (2014). *Handbook of biological statistics* (Tercera ed.). Baltimore: Sparky House Publishing. Obtenido de <http://www.biostathandbook.com/HandbookBioStatThird.pdf>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2004). *Guías Ambientales. Sector Plásticos: Principales procesos básicos de transformación de la industria plástica y Manejo, aprovechamiento y disposición de residuos plásticos post-consumo*. Obtenido de República de Colombia.
- Minter, A. (2013). *Junkyard planet: travels in the billion-dollar trash trade*. Bloomsbury Press.
- Mitsubishi Engineering-Plastic Corporation. (s.f.). *Manufacturing Process and Grades*. Obtenido de Mitsubishi Engineering-Plastic Corporation: [http://www.m-ep.co.jp/en/pdf/product/iupi\\_nova/physicality\\_06.pdf](http://www.m-ep.co.jp/en/pdf/product/iupi_nova/physicality_06.pdf)
-

- 
- Naert, C., Piette, M., Bruneel, N., y Van Peteghem, C. (2006). Occurrence of polychlorinated biphenyls and polybrominated diphenyl ethers in belgian human adipose tissue samples. *Archives of environmental contamination and toxicology*, 50(2), 290-296.
- Naidoo, T., Glassom, D., y Smit, A. J. (2015). Plastic pollution in five urban estuaries of KwaZulu-Natal, South Africa. *Marine Pollution Bulletin*, 101(1), 473-480.
- Net, S., Sempéré, R., Delmont, A., Paluselli, A., y Ouddane, B. (2015). Occurrence, fate, behavior and ecotoxicological state of phthalates in different environmental matrices. *Environmental science & technology*, 49(7), 4019-4035.
- Nor, N. M., y Obbard, J. P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2), 278-283.
- NPD. (2018). *Report NPD Group: Toy sales globally and in the U.S. both grow by 1 percent in 2017*. Obtenido de NPD Group: <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/2018/toy-sales-globally-and-in-the-us-both-grow-by-1-percent-in-2017-reports-the-npd-group/>
- NPD. (2019). *Reports The NPD Group, Global Toy Sales Declined by 2 Percent in 2018*. Obtenido de NPD Group: <https://www.npd.com/wps/portal/npd/us/news/press-releases/2019/global-toy-sales-declined-by-2-percent-in-2018-reports-the-npd-group/>
- ONU-Hábitat. (Agosto de 2012). *Reporte Estado de las ciudades de América Latina y el Caribe 2012. Rumbo a una nueva transición urbana*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para los asentamientos humanos: [http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/newsletter12/887\\_spa.pdf](http://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/newsletter12/887_spa.pdf)
- Padmini Devi, G., Chaitanya Kumari, M., y Madhavi, B. (2014). Adverse effects of plastics on environment and human beings. *Journal of chemical and pharmaceutical sciences. Special issue*, 56-58.
- PEAPM. (2015). *Plastics - the Facts 2015. An analysis of European plastics production, demanda and waste data*. Obtenido de Plastics Europe Association of Plastics Manufacturers: [https://www.plasticseurope.org/application/files/3715/1689/8308/2015plastics\\_the\\_facts\\_14122015.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/3715/1689/8308/2015plastics_the_facts_14122015.pdf)
- PEAPM. (2017). *Plastics - The Facts 2017. An analysis of European plastics production, demand and waste data*. Obtenido de Plastics Europe Association of Plastics Manufactures: [http://www.plasticseurope.org/download\\_file/view/477/179](http://www.plasticseurope.org/download_file/view/477/179)
- Pettipas, S., Bernier, M., y Walker, T. R. (2016). A Canadian policy framework to mitigate plastic marine pollution. *Marine Policy*, 68, 117-122.
- Pivnenko, K., Granby, K., Eriksson, E., y Astrup, T. F. (2017). Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs). *Waste Management*, 69, 101-109.
- Posada, B. (2012). La degradación de los plásticos. *Revista Universidad EAFIT*, 30(94), 67-86. Obtenido de <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/1408/1280>
- PROFECO. (8 de marzo de 2012). *PROFECO identificó juguetes de luchadores de plástico de la marca "super luchamanía" que representa un riesgo para la salud de los consumidores*. Obtenido de Red de alertas rápidas: [http://www.alertas.gob.mx/adicionales/info\\_1\\_69.pdf](http://www.alertas.gob.mx/adicionales/info_1_69.pdf)
-

- 
- R Core Team. (2018). R: A language and environment for statistical computing. Viena, Austria: R Foundation for statistical computing.
- Raubenheimer, K., y McIlgorm, A. (2018). Can the Basel and Stockholm Conventions provide a global framework to reduce the impact of marine plastic litter? *Marine Policy*, 96, 285-290.
- REFORMA. (4 de Enero de 2018). *Tiene industria del juguete año histórico*. Obtenido de REFORMA: <https://www.reforma.com/aplicacioneslibre/articulo/default.aspx?id=1292211&md5=daa3ce33cdb601c93f9d2e52f347feb3&ta=0dfdbac11765226904c16cb9ad1b2efe>
- Rojo Callejas, F. (2015). *Tablas de Espectroscopía infrarroja*. Obtenido de UNAM. Facultad de Química: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/InfrarrojoTablas\\_31544.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/InfrarrojoTablas_31544.pdf)
- SEDEMA. (2019). *Inventario de residuos sólidos de la Ciudad de México, 2018*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente de la Ciudad de México: <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS-2018-VF-09-09-2019.pdf>
- SEMARNAT. (2016). *Informe de la situación del Medio Ambiente en México. Compendio de estadísticas ambientales. Indicadores clave, de desempeño ambiental y de crecimiento verde. Edición 2015*. Obtenido de Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales: [https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15\\_completo.pdf](https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe15/tema/pdf/Informe15_completo.pdf)
- SEMARNAT. (2017). Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos 2017-2018. México.
- SEMARNAT. (15 de mayo de 2020). Diagnostico Básico para la Gestión Integral de los Residuos 2020.. Obtenido de *Prevención y gestión integral de los residuos de SEMARNAT*: <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf>
- SEMARNAT-INECC. (2012). *Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos. Versión extensa. 2012*. Obtenido de Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático.
- Sosenki, S. (2012). Producciones culturales para la infancia mexicana: los juguetes (1950 - 1960). *Relaciones*(132), 95-126.
- Stark, N. M., y Matuana, L. M. (2004). Surface chemistry changes of weathered HDPE/wood-flourcomposites studied by XPS and FTIR spectroscopy. *86*, 1-9.
- Tang, Z., Huang, Q., Cheng, J., Yang, Y., Yang, J., Guo, W., . . . Jin, L. (2014). Polybrominated diphenyl ethers in soils, sediments, and human hair in a plastic waste recycling area: a neglected heavily polluted area. *Environental science & technology*, 48(3), 1508-1516.
- Tang, Z., Zhang, L., Huang, Q., Yang, Y., Nie, Z., Cheng, J., . . . Chai, M. (2015). Contamination and risk of heavy metals in soils and sediments from a typical plastic waste recycling area in North China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 122, 343-351.
- Tchobanoglous, G., & Kreith, F. (2002). *Handbook of solid waste management* (Vol. 1). USA: McGraw-Hill.
- Thomas, N., Clarke, J., Mclauchlin, J., & Patrick, S. (2010). *Assessing the environmental impacts of oxydegradable*. Obtenido de Department of Environment, Food and Rural Affairs. London, UK:
-



---

<http://sciencesearch.defra.gov.uk/Default.aspx?Menu=Menu&Module=More&Location=None&Completed=0&ProjectID=16263>

- Todoenpolimeros. (11 de abril de 2018). *Una chica material*. Obtenido de Todo en polimeros: <https://todoenpolimeros.com/2018/04/11/una-chica-material/>
- Trinkel, V., Kieberger, N., Bürgler, T., Rechberger, H., y Fellner, J. (2015). Influence of waste plastic utilisation in blast furnace on heavy metal emissions. *Journal of Cleaner Production*, 94, 312-320.
- Tuppurainen, K., Asikainen, A., Ruokojärvi, P., y Ruuskanen, J. (2003). Perspectives on the Formation of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans During Municipal Solid Waste (MSW) Incineration and Other Combustion Processes. *Accounts of Chemical Research*, 36(9), 652-658.
- Turner, A. (2016). Heavy metals, metalloids and other hazardous elements in marine plastic litter. *Marine Pollution Bulletin*, 111(1-2), 136-142.
- UNEP - NOAA. (2012). *The Honolulu strategy: a global framework for prevention and management of marine debris*. Obtenido de UNEP: <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/10670/Honolulu%20strategy.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- UNEP. (2015). Biodegradable plastics & marine litter. Misconceptions, concerns and impacts on marine environments. (U. N. Programme, Ed.) Nairobi, Kenia.
- UNEP. (2015). *Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants*. Obtenido de UNEP: [chm.pops.int/portals/download](http://chm.pops.int/portals/download)
- UNEP. (11 de mayo de 2019). *Gobiernos acuerdan decisiones históricas para erradicar o regular desechos y productos químicos peligrosos, incluidos los plásticos*. Obtenido de Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente: <https://www.unenvironment.org/es/noticias-y-reportajes/comunicado-de-prensa/gobiernos-acuerdan-decisiones-historicas-para-erradicar>
- Usenko, C. Y., Abel, E. L., Kudela, M., Janise, A., y Bruce, E. D. (2015). Comparison of PBDE congeners as inducers of oxidative stress in zebrafish. *Environmental toxicology and chemistry*, 34(5), 1154-1160.
- Vázquez, A., Velasco, M., Espinosa, R. M., Morales, M., Hernández, S., Ordaz, M. Y., y Almeida, H. J. (2016). Generación, legislación y valorización de residuos plásticos en Iberoamérica. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 32, 63-76.
- Waluda, C. M., y Staniland, I. J. (2013). Entanglement of Antarctic fur seals at Bird Island, South Georgia. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1), 244-252.
- Wang, Y., Wu, X., Zhao, H., Xie, Q., Hou, M., Zhang, Q., . . . Chen, J. (2017). Characterization of PBDEs and novel brominated flame retardants in seawater near a coastal mariculture area of the Bohai Sea, China. *The science of the total environment*(580), 1446-1452.
- Weber, R., y Kuch, B. (2003). Relevance of BFRs and thermal conditions on the formation pathways of brominated and brominated-chlorinated dibenzodioxins and dibenzofurans. *Environment International*, 29(6), 699-710.



Wu, H., Cao, L., Li, F., Lian, P., & Zhao, J. (2015). Multiple biomarkers of the cytotoxicity induced by BDE-47 in human embryonic kidney cells. *Chemosphere*, 126, 32-39.

Xiong, J., An, T., Zhang, C., & Li, G. (2015). Pollution profiles and risk assessment of PBDEs and phenolic brominated flame retardants in water environments within a typical electronic waste dismantling region. *Environmental Geochemistry and Health*, 37(3), 457-473.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### CALCULO DE LA GENERACION DE LIXIVIADOS DE CADA CELDA

##### 1. Cálculo de escorrentía

| Mes        | Precipitación (mm) | Evaporación (mm) | Precipitación (promedio diario) (mm) | Escorrentía (10%) |
|------------|--------------------|------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Enero      | 9.4888             | 115.09           | 0.3                                  | 0.95              |
| Febrero    | 5.8551             | 121.24           | 0.2                                  | 0.59              |
| Marzo      | 11.063             | 181.4            | 0.4                                  | 1.11              |
| Abril      | 23.22              | 192.47           | 0.8                                  | 2.32              |
| Mayo       | 40.896             | 195.53           | 1.3                                  | 4.09              |
| Junio      | 75.559             | 174.37           | 2.5                                  | 7.56              |
| Julio      | 104.15             | 159.35           | 3.4                                  | 10.42             |
| Agosto     | 83.632             | 159.27           | 2.7                                  | 8.36              |
| Septiembre | 69.782             | 131.59           | 2.3                                  | 6.98              |
| Octubre    | 37.65              | 124.64           | 1.2                                  | 3.77              |
| Noviembre  | 11.434             | 110.44           | 0.4                                  | 1.14              |
| Diciembre  | 4.1851             | 111.12           | 0.1                                  | 0.42              |
| Promedio   | <b>39.743</b>      | <b>148.043</b>   | <b>1.3</b>                           |                   |

##### 2. Calculo de evapotranspiración potencial ajustada (ETP)

| Mes        | T    | i    | a    | ET    | K    | ETP  |
|------------|------|------|------|-------|------|------|
| Enero      | 13.3 | 4.40 | 0.58 | 11.47 | 0.94 | 10.8 |
| Febrero    | 14.7 | 5.12 | 0.59 | 11.65 | 0.88 | 10.3 |
| Marzo      | 17.8 | 6.84 | 0.62 | 12.22 | 1.02 | 12.5 |
| Abril      | 19.8 | 8.03 | 0.65 | 12.69 | 1.04 | 13.2 |
| Mayo       | 20.4 | 8.41 | 0.65 | 12.84 | 1.12 | 14.4 |
| Junio      | 19.5 | 7.85 | 0.64 | 12.61 | 1.1  | 13.9 |
| Julio      | 18.3 | 7.13 | 0.63 | 12.33 | 1.13 | 13.9 |
| Agosto     | 18.4 | 7.19 | 0.63 | 12.36 | 1.09 | 13.5 |
| Septiembre | 17.8 | 6.84 | 0.62 | 12.22 | 1.01 | 12.3 |
| Octubre    | 16.6 | 6.15 | 0.61 | 11.98 | 0.99 | 11.9 |
| Noviembre  | 15.1 | 5.33 | 0.60 | 11.72 | 0.92 | 10.8 |
| Diciembre  | 13.9 | 4.70 | 0.58 | 11.54 | 0.93 | 10.7 |

### 3. Cálculo de evapotranspiración real

| Mes        | Precipitación | ETP  | Variación de la reserva | Reserva de agua utilizable | Evapotranspiración real | Excedentes | Déficit |
|------------|---------------|------|-------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|---------|
| Enero      | 9.49          | 10.8 | -1.29                   | 106.71                     | 10.8                    | -          | -       |
| Febrero    | 5.86          | 10.3 | -4.40                   | 102.31                     | 10.3                    | -          | -       |
| Marzo      | 11.06         | 12.5 | -1.40                   | 100.90                     | 12.5                    | -          | -       |
| Abril      | 23.22         | 13.2 | 7.10                    | 108                        | 13.2                    | 2.93       | -       |
| Mayo       | 40.90         | 14.4 | 0.00                    | 108                        | 14.4                    | 26.51      | -       |
| Junio      | 75.56         | 13.9 | 0.00                    | 108                        | 13.9                    | 61.68      | -       |
| Julio      | 104.15        | 13.9 | 0.00                    | 108                        | 13.9                    | 90.21      | -       |
| Agosto     | 83.63         | 13.5 | 0.00                    | 108                        | 13.5                    | 70.16      | -       |
| Septiembre | 69.78         | 12.3 | 0.00                    | 108                        | 12.3                    | 57.44      | -       |
| Octubre    | 37.65         | 11.9 | 0.00                    | 108                        | 11.9                    | 25.79      | -       |
| Noviembre  | 11.43         | 10.8 | 0.00                    | 108                        | 10.8                    | 0.65       | -       |
| Diciembre  | 4.19          | 10.7 | -6.55                   | 101.45                     | 10.7                    | -          | -       |

### 4. Cálculo de las tasas de infiltración potencial de agua a través de la cubierta del relleno sanitario

- a) Capacidad de campo de material de cobertura (arcilla) en cm

$$FC = 35 \text{ cm/m}$$

- b) Porcentaje de marchitez permanente

$$PMP = 17 \text{ cm/m}$$

- c) Capacidad de almacenamiento de humedad posible en el material de cobertura de espesor de 0.6 m es

$$CHD = 10.8 \text{ cm}$$

- d) Déficit de humedad inicial en el material de cobertura

$$H_{id} = 0.3 \text{ m}$$

5. Cálculo de la cantidad de agua que entra en el relleno

| Mes          | Precipitación | Evapotranspiración real | Escorrentía | Aporte o pérdida de humedad | Déficit de humedad en el material de cobertura | Infiltración potencial (mm/año) |
|--------------|---------------|-------------------------|-------------|-----------------------------|--|---------------------------------|
| Enero        | 9.49          | 10.8                    | 0.95        | -2.24                       | -2.24  | 0                               |
| Febrero      | 5.86          | 10.3                    | 0.59        | -4.99                       | -7.23  | 0                               |
| Marzo        | 11.06         | 12.5                    | 1.11        | -2.51                       | -9.74  | 0                               |
| Abril        | 23.22         | 13.2                    | 2.32        | 7.70                        | -2.04  | 4.70                            |
| Mayo         | 40.90         | 14.4                    | 4.09        | 22.42                       | 0  | 19.42                           |
| Junio        | 75.56         | 13.9                    | 7.56        | 54.13                       | 0  | 51.13                           |
| Julio        | 104.15        | 13.9                    | 10.42       | 79.80                       | 0  | 76.80                           |
| Agosto       | 83.63         | 13.5                    | 8.36        | 61.80                       | 0  | 58.80                           |
| Septiembre   | 69.78         | 12.3                    | 6.98        | 50.46                       | 0  | 47.46                           |
| Octubre      | 37.65         | 11.9                    | 3.77        | 22.03                       | 0  | 19.03                           |
| Noviembre    | 11.43         | 10.8                    | 1.14        | -0.49                       | -0.49  | 0                               |
| Diciembre    | 4.19          | 10.7                    | 0.42        | -6.97                       | -7.46  | 0                               |
| <b>TOTAL</b> |               |                         |             |                             |  | 277.33                          |

6. Cálculo de la cantidad de agua que entra en el relleno

a) Volumen de los residuos depositados

$$V = 0.8 \text{ m}^3$$

b) Longitud de la celda

$$L = 1 \text{ m}$$

c) Área superficial de la celda

$$\text{Área superior} = 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del frente de la celda} = 1 \text{ m}^2$$

$$\text{Área del lado de la celda} = 1 \text{ m}^2$$

d) Volumen de suelo de cubierta diaria

$$V_c = 0.2 \text{ m}^3$$

e) La relación residuo / suelo de cobertura es

$$R_{sr} = V/V_c$$

$$R_{sr} = 4:1$$

7. Cálculo de la producción de lixiviados

a) Cantidad de residuos recibidos en la celda

$$\text{Residuos colocados por día} = 750 \text{ kg}$$

$$\text{Número de días explotados} = 1 \text{ d}$$

Residuos colocados por año = 750 kg

- b) Características de los residuos  
 Peso específico compactado de los residuos = 750 kg  
 Contenido de humedad inicial en los residuos = 37%
  
- c) Características de la celda  
 Altura del nivel = 1 m  
 Relación de residuo / suelo = 4:1  
 Número de niveles = 1
  
- d) Material de cobertura  
 Peso específico del suelo = 1500 kg/m<sup>3</sup>
  
- e) Producción de gas  
 Tchobanoglus presenta en una tabla que la generación de biogás el primer año es nula. Como se presenta en la siguiente tabla.

Producción de biogás (kg/m<sup>3</sup>)

| Final de año | Rápidamente degradables | Lentamente degradables | Total |
|--------------|-------------------------|------------------------|-------|
| <b>1</b>     | 0.000                   | 0.000                  | 0.000 |
| <b>2</b>     | 0.059                   | 0.000                  | 0.059 |
| <b>3</b>     | 0.103                   | 0.001                  | 0.104 |
| <b>4</b>     | 0.073                   | 0.002                  | 0.075 |
| <b>5</b>     | 0.044                   | 0.003                  | 0.047 |
| <b>6</b>     | 0.015                   | 0.004                  | 0.019 |
| <b>7</b>     | 0.000                   | 0.005                  | 0.005 |
| <b>8</b>     | 0.000                   | 0.004                  | 0.004 |

Por esta razón no se consideran valores de generación de biogás.

- f) Cantidad de agua de lluvia que entra en la cubierta diaria  
 27.73 cm/año

Peso de material de cobertura = (densidad arcilla) x (volumen) = (1500 kg/m<sup>3</sup>) x (0.2 m<sup>3</sup>) = 300 kg

Peso de los residuos sólidos = (densidad compactación) x (volumen) = (750 kg/m<sup>3</sup>) x (0.8 m<sup>3</sup>) = 600 kg

Peso total del nivel = 900 kg

Peso seco de los residuos sólidos = Peso de los residuos sólidos x 0.63 = 600 x 0.63 = 378 kg

Contenido de humedad de los residuos = Peso de los residuos x 0.37 = 600 x 0.37 = 222 kg

Peso de la lluvia que entra al relleno = Cantidad de agua de lluvia que entra en la cubierta diaria x (1m/100m) x 1m<sup>2</sup> x 1000kg/m<sup>3</sup> = 277.3 kg

Peso total del nivel = Peso total del nivel + Peso de la lluvia que entra al relleno

Peso total del nivel = 900 kg + 277.3 kg

Peso total del nivel = 1177.3

g) Cálculo de cantidad y el peso del gas producido en el primer año

Gas producido = 0 kg

Peso del gas producido = 0 kg

Peso del agua consumida en la producción del gas de la celda = 0 kg

Peso del vapor de agua presente en el gas = 0 kg

Peso del agua en los residuos sólidos = Contenido de humedad de residuos + Peso de la lluvia que entra al relleno

Peso del agua en los residuos sólidos = 222 kg + 277.3 kg = 499.3 kg

Peso seco de los residuos sólidos = 378 kg

Peso medio = (Peso del agua en los residuos sólidos + Peso seco de los residuos sólidos) / 2

Peso medio = (499.3 kg + 378 kg) / 2 = 438.65 kg

h) Factor de capacidad de campo

$FC = 0.60 - (0.55) [ W / (4536 + W) ]$

$FC = 0.60 - (0.55) ( 438.65 / 4536 + 438.65 )$

FC = 0.55

Capacidad de campo de los residuos = Peso seco de los residuos sólidos x FC

Capacidad de campo de los residuos = 378 kg x 0.55

Capacidad de campo de los residuos = 208.47 kg

i) Lixiviados producidos

Lixiviado producido = Peso real de los residuos – capacidad de campo de los residuos

Lixiviado producido = 499.3 kg – 208.47 kg

Lixiviado producido = 290.83 kg = 290.83 L = 0.29 m<sup>3</sup>

---

ANEXO B

ENCUESTA

1. **¿EN QUÉ ALCALDÍA VIVE?**
  - A. ALVARO OBREGON
  - B. AZCAPOTZALCO
  - C. BENITO JUÁREZ
  - D. COAJIMALPA
  - E. COYOACÁN
  - F. CUAUHTÉMOC
  - G. GUSTAVO A. MADERO
  - H. IZTACALCO
  - I. IZTAPALAPA
  - J. MAGDALENA CONTRERAS
  - K. MIGUEL HIDALGO
  - L. MILPA ALTA
  - M. TLÁHUAC
  - N. TLALPAN
  - O. XOCHIMILCO
  - P. VENUSTIANO CARRANZA
  
2. **SEXO**
  - A. MUJER
  - B. HOMBRE
  
3. **¿QUÉ TIPO DE JUGUETE COMPRA FRECUENTEMENTE?**
  - A. MUÑECAS TIPO BARBIE
  - B. MUÑECOS TIPO NENUCO
  - C. LUCHADORES DE PLASTICO
  - D. SUPERHEROES DE PLASTICO
  
4. **¿A QUIÉN LE REGALARÁ LOS JUGUETES?**
  - A. HIJOS
  - B. FAMILIARES
  - C. OTROS
  
5. **¿CON QUÉ FRECUENCIA COMPRA EL JUGUETE SELECCIONADO?**
  - A. CADA MES
  - B. CADA 3 MESES
  - C. CADA 6 MESES
  - D. NAVIDAD Y REYES
  - E. CUMPLEAÑOS
  - F. DIA DEL NIÑO
  
6. **¿EN DÓNDE COMPRA LOS JUGUETES?**
  - A. TIENDAS DEPARTAMENTALES
  - B. EN INTERNET
  - C. JUGUETERIAS ESPECIALIZADAS
  - D. FERIAS DE JUGUETE
  - F. TIANGUIS
  - G. MERCADO
  
7. **¿QUÉ HACE CON LOS JUGUETES CUANDO SE DAÑAN O YA NO LOS USA?**
  - A. LOS DONA
  - B. LOS BOTA A LA BASURA
  - C. LOS REPARA Y LOS REGALA



- 
- D. LOS MANDA A RECICLAJE
8. ¿CON QUÉ FRECUENCIA SACA JUGUETES EN DESUSO DE SU HOGAR?
- A. CADA MES
  - B. CADA 3 MESES
  - C. CADA 6 MESES
  - D. CADA AÑO
9. ¿CUÁL SERÍA LA MEJOR OPCIÓN PARA LOS JUGUETES DAÑADOS?
- A. REPARARLOS PARA QUE SEAN USADOS POR OTROS NIÑOS
  - B. CONVERTIRLOS EN JUGUETES NUEVOS
  - C. USARLOS SOMO MATERIAL DE RECICLAJE
  - D. QUE SEAN INCINERADOS (QUEMADOS)
10. ¿LLEVARÍA LOS JUGUETES EN DESUSO A LUGARES DE RECICLAJE?
- A. SI
  - B. NO

## ANEXO C

Resultados de los análisis de los lixiviados de los lisímetros

*Análisis de DBO<sub>5</sub> (mg/L) en los lisímetros*

| Muestra | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero  |
|---------|--------|------------|---------|-----------|-----------|--------|
| A       | 626.67 | 273.50     | 360.00  | 350.00    | 310.00    | 550.00 |
| B       | 600.00 | 300.00     | 715.00  | 615.00    | 500.00    | 570.00 |
| C       | 583.33 | 219.00     | 690.00  | 535.00    | 605.00    | 580.00 |
| D       | 590.00 | 264.17     | 620.00  | 575.00    | 545.00    | 590.00 |

*Análisis de DQO (mg/L) en los lisímetros*

| Muestra | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero |
|---------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| A       | 3050       | 1650    | 1750      | 2450      | 3500  |
| B       | 6400       | 4150    | 6300      | 6050      | 8800  |
| C       | 12550      | 8350    | 19100     | 33000     | 18300 |
| D       | 5900       | 7200    | 4500      | 4450      | 7500  |

## ANEXO D

Resultados de los análisis realizados en los lixiviados de las pruebas desarrolladas en las celdas del relleno sanitario.

*Análisis de DBO<sub>5</sub> (mg/L) a las celdas del relleno sanitario. Cada dato es el promedio de sus tres repeticiones correspondientes*

| Muestra       | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero |
|---------------|--------|------------|---------|-----------|-----------|-------|
| Juguete A     | 370    | 470        | 550     | 621.3     | 618.3     | 623.3 |
| Juguete B y C | 675    | 445        | 612.5   | 636.3     | 588.3     | 608.3 |
| Juguete D     | 507.5  | 501.7      | 528.3   | 533.3     | 660.0     | 575.0 |
| Testigo       | 450    | 460        | 525     | 669       | 665       | 500   |

*Análisis de DQO (mg/L) a las celdas del relleno sanitario. Cada dato es el promedio de sus tres repeticiones correspondientes*

| Muestra       | Agosto  | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre | Enero   |
|---------------|---------|------------|---------|-----------|-----------|---------|
| Juguete A     | 60300   | 39975.0    | 46150.0 | 45850.0   | 61733.3   | 67766.7 |
| Juguete B y C | 68000.0 | 46150      | 53425   | 63316.7   | 52083.3   | 68816.7 |
| Juguete C     | 48833   | 41450.0    | 51566.7 | 82133.3   | 86150.0   | 96550.0 |
| Testigo       | 41000   | 11200      | 37600   | 80050.0   | 86250     | 96450.0 |

### ANEXO E

Se presentan los resultados obtenidos de las absorbancias.

| Muestra                | Concentración (ug/mL) | Absorbancia |
|------------------------|-----------------------|-------------|
| Estándar 1             | 2                     | 0.174       |
| Estándar 2             | 6                     | 0.292       |
| Estándar 3             | 10                    | 0.390       |
| Estándar 4             | 14                    | 0.549       |
| Estándar 5             | 20                    | 0.589       |
| Plástico A inicial     | N.D.                  | 0.005       |
| Plástico B y C inicial | N.D.                  | 0.008       |
| Plástico D inicial     | N.D.                  | 0.005       |
| Testigo inicial        | N.D.                  | 0.004       |
| Plástico A final       | N.D.                  | 0.005       |
| Plástico B y C final   | N.D.                  | 0.005       |
| Plástico D final       | N.D.                  | 0.002       |
| Testigof               | N.D.                  | 0.003       |

ANEXO F

Resultados obtenidos de la diferencia de pesos de los juguetes en las celdas del relleno sanitario

| Juguete      | Cantidad Inicial en celda | Peso total Inicial en celda (g) | Peso promedio inicial de c/u(g) | Cantidad total final | Peso total final en celda(g) | Peso promedio final de c/u(g) | Diferencia (g) |
|--------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------|
| Superheroe 1 | 27                        | 5000                            | 185                             | 27                   | 5100                         | 189                           | 4              |
| Superheroe 2 | 27                        | 5000                            | 185                             | 17                   | 3200                         | 188                           | 3              |
| Superheroe 3 | 27                        | 5000                            | 185                             | 26                   | 4800                         | 185                           | -1             |
| Bebé 1       | 19                        | 8000                            | 421                             | 15                   | 7500                         | 500                           | 79             |
| Bebé 2       | 19                        | 8000                            | 421                             | 16                   | 7000                         | 438                           | 16             |
| Bebé 3       | 19                        | 8500                            | 447                             | 18                   | 8500                         | 472                           | 25             |
| Barbie 1     | 27                        | 2500                            | 93                              | 27                   | 2500                         | 93                            | 0              |
| Barbie 2     | 27                        | 3000                            | 111                             | 19                   | 2100                         | 111                           | -1             |
| Barbie 3     | 27                        | 3000                            | 111                             | 25                   | 2800                         | 112                           | 1              |
| Luchador 1   | 600                       | 14000                           | 23                              | 524                  | 11500                        | 22                            | -1             |
| Luchador 2   | 600                       | 14000                           | 23                              | 369                  | 8000                         | 22                            | -2             |
| Luchador 3   | 600                       | 13500                           | 23                              | 569                  | 13500                        | 24                            | 1              |