



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA DE GESTIÓN DE
RESIDUOS POR SISMO CASO DE
ESTUDIO: CIUDAD DE MÉXICO
2017**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A N

Reyes Ramírez Alan Gerardo

Rojas Nava Marco Antonio

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Flor Hernández Padilla



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2020



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.

Este trabajo se desarrolló en las instalaciones del Centro de Ingeniería Avanzada de la División de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Facultad de Ingeniería de la UNAM bajo la dirección de la Dra. Flor Hernández Padilla y la valiosa participación de la Dra. Marisol Anglés Hernández y la Dra. María Elena Bravo Gómez. Investigación realizada gracias al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la UNAM, Proyecto “Propuesta de estrategia para la gestión integral de residuos sólidos en caso de desastre por sismo: Ciudad de México” TA101119. Agradecemos a la DGAPA- UNAM por la beca recibida.

Índice

1.	Introducción	2
2.	Objetivos	3
3.	Marco contextual	4
3.1.	El sistema de gestión de residuos en la Ciudad de México en condiciones normales.	6
3.2.	Marco legal actual	9
4.	Antecedentes	10
4.1.	Planeación de manejo de residuos por desastre	11
5.	Justificación	13
6.	Metodología	14
6.1.	Caracterización de residuos por sismo.	14
6.1.1.	Residuos por sismo de la demolición	15
6.1.2.	Trabajo de campo	19
6.1.3.	Artículos domésticos	19
6.2.	Diagrama de relaciones de los residuos por sismo	23
6.3.	Propuesta para el sitio temporal.	24
7.	Resultados y discusión.....	25
7.1.	Residuos de la demolición por sismo.....	25
7.2.	Trabajo de Campo	27
7.3.	Residuos domésticos	32
7.3.1.	Propuesta para la clasificación de residuos por sismo en un sitio temporal.....	33
7.3.2.	Residuos peligrosos	35
7.3.3.	Residuos contaminados y potencialmente peligrosos.....	35
7.4.	Diseño del sitio temporal.....	36
7.4.1.	Área de residuos peligrosos y residuos contaminados	41
7.4.2.	Área de residuos biológico-infecciosos.....	41
7.4.3.	Funcionamiento del sitio temporal, incluyendo consideraciones generales	42
7.4.4.	Almacenamiento	42
7.4.5.	Maquinaria y equipo propuesto	45
7.4.6.	Condiciones de seguridad.....	47
7.4.8.	Personal requerido	49

7.4.9.	Recomendaciones para establecer un sitio temporal.....	51
7.5.	Compañías mexicanas de procesamiento de residuos reciclables	51
7.6.	Propiedad Personal	53
7.7.	Gestión externa de residuos peligrosos, biológico-infecciosos y residuos contaminados autorizados por el gobierno.	54
7.8.	Marco legal y decisiones regulatorias en condiciones post-sismo.....	54
7.9.	Propuesta de diagrama de flujo para la gestión de residuos por sismo en la Ciudad de México	58
8.	Conclusiones	60
9.	Anexos.....	61
10.	Referencias.....	64

Glosario

Desastre. Es un evento no rutinario que excede la capacidad del área afectada para responder de tal manera que salve vidas; preserve bienes; y mantenga la estabilidad social, ecológica, económica y política de la región (FEMA, 2009).

Gestión. Es la recolección, almacenamiento, transporte, valorización y eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas actividades, así como la vigilancia de los lugares de depósito o vertido después de su cierre (*Ley 10/1998 de Residuos*, 1998).

Objetos personales de valor. Se entiende como objetos personales de valor los álbumes de fotos, billeteras, joyas, teléfonos celulares, computadoras portátiles, identificaciones, documentos personales, pinturas, esculturas de metal y piedra, anteojos y libros (JSMCWM, 2012).

Rellenos sanitarios. Un relleno sanitario es un sitio de disposición final controlado en el cual, se depositan capas definidas de residuos sólidos, cada una de estas capas es compactada y cubierta con tierra antes de depositar la siguiente, teniendo como objetivo separar los residuos del suelo subyacente (Blight, 2011).

Residuo. Cualquier material generado en los procesos de extracción, beneficio, transformación, producción, consumo, utilización, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó (SEDEMA, 2016).

Residuo biológico- infeccioso. Según la norma oficial NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 un agente biológico-infeccioso es “cualquier organismo que sea capaz de producir enfermedad. Para ello se requiere que el microorganismo tenga capacidad de producir daño, esté en una concentración suficiente, en un ambiente propicio, tenga una vía de entrada y estar en contacto con una persona susceptible” (DOF, 2002).

Residuos de la demolición. Abarcan todos los residuos que tenían una función estructural y de infraestructura en la edificación, derivados de actividades de construcción, mantenimiento y demolición de una obra o proyecto arquitectónico. Comprenden materiales de concreto, mampostería, materiales pétreos, madera, vidrio, plástico, entre otros. Con un manejo responsable, es posible aprovecharlos mediante el reúso o reciclaje (AGU, 2018).

Residuos peligrosos. Son todos aquellos que poseen alguna de las características CRETIB que les confieren peligrosidad (corrosividad, C; reactividad, R; explosividad, E; toxicidad, T; inflamabilidad, I; o ser biológico-infecciosos, B), así como los envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados, según lo establece la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) (SEMARNAT, 2018).

Tiraderos. Un tiradero o vertedero en México, es un sitio de disposición final no controlado, esto quiere decir, que no hay una separación entre los residuos y el suelo, tampoco cuentan con alguna cubierta para prevenir malos olores, protección contra la intrusión de fauna nociva, ni contra la caída de lluvia. En la mayoría de los países en desarrollo, los tiraderos a cielo abierto son el método más común para disponer residuos sólidos, teniendo un grave impacto ambiental (Blight, 2011).

Valorización. Todo procedimiento que permita el aprovechamiento de los recursos contenidos en los residuos sin poner en peligro la salud humana y sin utilizar métodos que puedan causar perjuicios al medio ambiente (*Ley 10/1998 de Residuos*, 1998).

Materiales provenientes de la demolición para su identificación (adaptado de Martel (2008)).

Alfombra. Alfombra de revestimiento de pisos.

Cascajo. Conformado por diferentes tipos de materiales provenientes del concreto simple, concreto armado, block concreto, muros de albañilería, ladrillos, cerámicos, mármol, losas y mortero.

Cerámica. Cerámico del enchapado de cocina.

Chatarra. Conformado por elementos metálicos: elementos de aluminio, latas, acero estructural, fierro galvanizado y otros que tengan propiedades metálicas.

Espanja. Conformado por el producto del recubrimiento de paredes.

Loseta. Loseta del recubrimiento de azoteas y de caminos de acceso.

Mármol. Mármol de pisos y paredes.

Madera. Elementos como puertas ventanas, enchapado y cercas.

Tabla roca. Conformado por el material productos de los acabados de pisos y paredes.

Teja. Teja de revestimiento de detalle de fachadas.

Tela. Tela de revestimiento de muros sobre esponja.

Vidrio. Vidrio de ventanas y mamparas.

Resumen

México es un país que se ubica en una zona de alta sismicidad. Una efectiva gestión de residuos es crítica como parte de la respuesta ante un sismo. En este estudio se describe una propuesta técnica de gestión de residuos por sismo y se estima la cantidad de residuos generados por edificios colapsados y edificios programados para su demolición. El estudio incluye una estimación de la generación de cada tipo de residuo, de acuerdo con los estándares mexicanos, una propuesta de un sitio temporal de separación, además de consideraciones generales con respecto a su operación, incluyendo un resumen de las compañías recicladoras que hay en México. Finalmente, se presenta un análisis del marco legal, para explicar los posibles problemas y desafíos políticos acerca del manejo de residuos por sismo con las condiciones limitadas de un país en desarrollo basados en los datos del sismo de 2017. Para desarrollar lo anterior, se utilizaron conjuntos de datos de campo, análisis de la respuesta de sismos pasados en otros países, guías nacionales e internacionales y se realizaron entrevistas estructuradas con diferentes autoridades involucradas en la recolección de residuos por sismo y con compañías recicladoras. Nuestros resultados indican que los residuos de la demolición (RD) generados por el sismo del 2017 en la Ciudad de México sumaron 364 598 toneladas de escombros y el peso estimado de los residuos domésticos por vivienda colapsada ascendió a 424.16 kg. Los residuos domésticos incluían productos de línea blanca, residuos orgánicos y biodegradables, restos de animales y muebles. Este estudio concluye que las compañías de procesamiento de residuos reciclables tienen la capacidad de recibir y procesar más del 100% de los residuos generados. Sin embargo, en términos de RD por sismo, el principal problema con respecto política pública radica en lograr que las compañías de construcción utilicen este material en edificios nuevos, en lugar de enviar estos residuos a empresas recicladoras.

1. Introducción

Dependiendo de la región o país, existe una mayor probabilidad de ocurrencia para cierto tipo de desastre. En el caso de México principalmente se presentan desastres del tipo geofísico (sismos y erupciones volcánicas), meteorológico (Tormentas) e hidráulico (inundaciones). Sin embargo, de entre todos los desastres posibles, el considerado por el sector público como la amenaza más preocupante es el riesgo de un sismo (Reyes, Gouzeva and Santos- Reyes, 2014).

México es un país con alto riesgo sísmico. La probabilidad de que se produzcan sismos a gran escala, particularmente en la llamada "Brecha de Guerrero", es alta, debido al movimiento continuo de la placa de Cocos, que se subduce debajo de la placa norteamericana (Pérez- Campos, 2017).

Después de un sismo, el saneamiento es un problema que requiere atención inmediata a diferentes niveles, con el objetivo de minimizar el riesgo latente a la salud pública, en este sentido, la recuperación después de un sismo depende en gran medida del manejo de los residuos generados. La gestión eficaz de los residuos por sismo es, por lo tanto, un aspecto crítico de las acciones de respuesta después de tal evento. Los sismos, como cualquier desastre, pueden generar grandes cantidades de residuos que representan una amenaza a la salud pública, dificultan la reconstrucción y afectan el medio ambiente (Rafee *et al.*, 2008; Brown, 2012; Asari *et al.*, 2013; Brown and Milke, 2016; Domingo and Luo, 2017; Faleschini *et al.*, 2017), estos residuos incluyen escombros de edificios en general, artículos domésticos, residuos peligrosos, etc.

2. Objetivos

Objetivo general

Desarrollar una propuesta de gestión de residuos por sismo, en el caso particular de la Ciudad de México para reducir los impactos ambientales sociales y económicos.

Objetivos específicos

Estimar la cantidad de residuos generados por edificios colapsados y edificios programados para su demolición para calcular la capacidad de un sitio temporal de separación de residuos.

Proponer el diseño de un sitio temporal de separación de residuos basado en las normas mexicanas, así como sus consideraciones generales de operación para el reciclaje o disposición final apropiada de los residuos estimados.

Revisar la capacidad de procesamiento de las compañías de reciclaje y centros de recolección de residuos en México para conocer si pueden recibir y procesar todos los residuos estimados.

Analizar el marco legal actual en México para explicar los posibles problemas y desafíos políticos acerca del manejo de residuos por sismo con las condiciones limitadas de un país en desarrollo basados en los datos del sismo de 2017

3. Marco contextual

El 19 de septiembre de 2017, a las 13:14:40 horas, un sismo de magnitud 7.1, con un epicentro a 12 km al sureste de Axochiapan, en el estado de Morelos, y 57 km de profundidad, sacudió la ciudad de México, Morelos, Puebla, Estados de México, Oaxaca, Jalisco, Tlaxcala y Veracruz (UNOCHA, 2017). El sismo ocurrió horas después del simulacro anual, lo que causó daños y derrumbes de edificios, y generó la pérdida de muchas personas (CRED, 2019). El coordinador de Protección Civil de México, Puente (2017), anunció en una conferencia de prensa que el número oficial de muertes después del sismo fue de 369, de los cuales 228 ocurrieron en la Ciudad de México.

El censo del Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México (ISC, 2018) y la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), informaron que en la Ciudad de México, un total de 7 021 inmuebles fueron afectados por el sismo, de los cuales 187 casos se hicieron inhabitables, de la siguiente manera: 10 colapsaron en su totalidad, 5 colapsaron parcialmente y 172 se clasificaron como de alto riesgo de colapso; 2 080 como riesgo alto, 2 055 como riesgo medio (para los últimos dos casos se tendrán que someter a un reforzamiento estructural antes de volver a ser habitados) y 2 699 como riesgo bajo (no sufrieron daños estructurales) como se muestran en la [Fig. 3.1](#) (SEDUVI, 2018).

Las clasificaciones fueron desarrolladas por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural (SMIE, 2017a) y la metodología para dictaminar la condición de los edificios afectados se desarrolló en tres fases: 1. Después del sismo, el gobierno convocó a formar grupos de trabajo de arquitectos, ingenieros o estudiantes relacionados 2. Los propietarios afectados solicitaron en línea una evaluación de su edificio. 3. Grupos de trabajo, con personal de la Comisión de Protección Civil evaluaron los edificios afectados, estas evaluaciones se realizaron después de inspecciones visuales. Sin embargo, después de la evaluación en la etapa de reconstrucción, se realizó una nueva evaluación tratando de que el proceso se convirtiera en uno más formal; no obstante, dichos resultados no se publicaron claramente a la fecha de este estudio, además, se llevaron a cabo procesos llenos de irregularidades y falta de transparencia, lo que también dificultó el proceso de reconstrucción (Perló-Cohen, 2019).

Como un esfuerzo por centralizar la información y hacerla de consulta pública, las autoridades crearon la "Plataforma de Derrumbes CDMX"; la cual es una base de datos que enumera fotos y direcciones de los edificios, clasificándolos según la intensidad del daño que sufrieron (Comisión para la reconstrucción, recuperación y transformación de la ciudad de México, 2018).

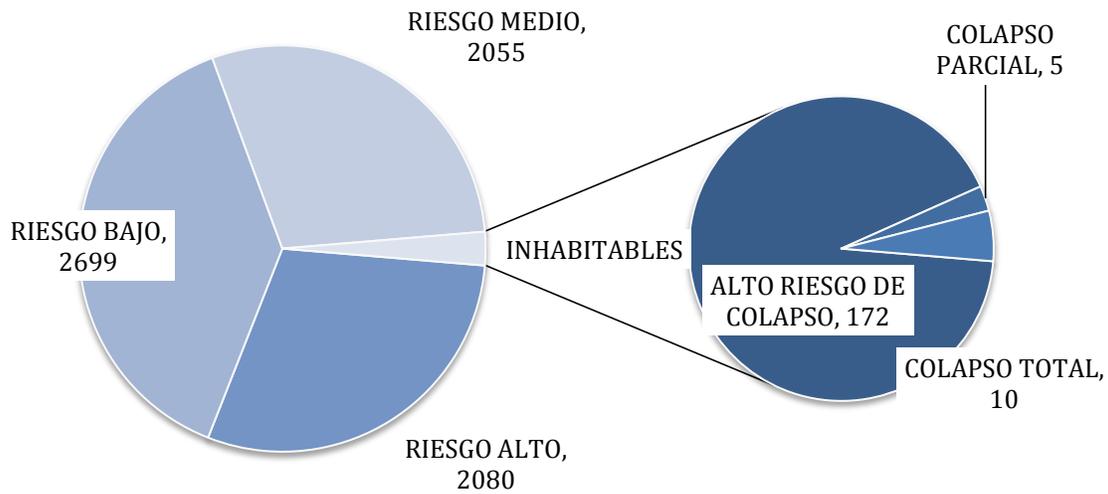


Fig. 3.1. Cantidad de inmuebles afectados (elaboración propia con datos del (ISC, 2018) y la (SEDUVI, 2018)).

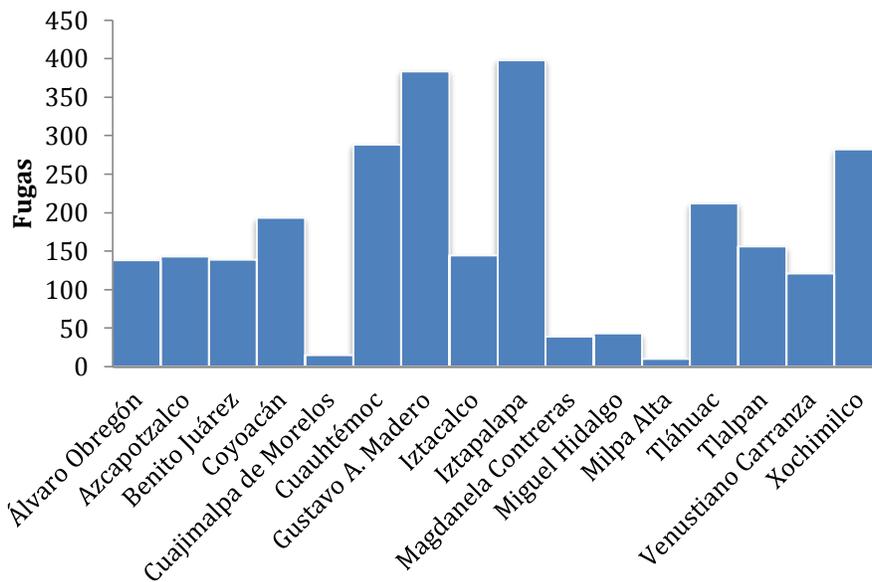


Fig. 3.2. Cantidad de fugas por alcaldía en la Ciudad de México (elaboración propia con datos de (SACMEX, 2018)).

Por otra parte, el sistema de abastecimiento de agua potable es indispensable para la recuperación de la población después de un sismo. No obstante, las redes de distribución, almacenamiento, obras de captación y tratamiento de agua resultaron severamente afectadas principalmente debido al movimiento de masas superficiales. Por esta razón, la calidad y el abastecimiento de agua generó afectaciones en un lapso corto de tiempo, esto provocó que el suministro se redujera o se

suspendiera totalmente, ya sea por fallas parciales (fugas) o totales cuando los ductos se desconectaron (Bautista, 2017).

De acuerdo con el estudio de Bautista (2017), solo dos reservorios de agua subterránea, que sirven a la Ciudad de México, se reportaron dañados por el sismo. “Agua Hedionda” mostró una disminución en la cantidad de extracción de agua, que cayó de 400 L/s a 60 L/s, probablemente debido a una fractura en el reservorio o en la red de tuberías. En “Palo Bolero”, hubo una disminución del 10% en el flujo de agua, mientras que las represas alrededor de la ciudad no reportaron daños atribuidos al sismo. Asimismo, según el último censo realizado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX), se detectaron 8 pozos dañados y se encontraron 2 704 fugas dentro de 128.14 km de redes de suministro hidráulico siendo la alcaldía Iztapalapa, Gustavo A. Madero, Cuauhtémoc y Xochimilco las más afectadas ([Fig. 3.2](#)) (SACMEX, 2018).

Por otro lado el director de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) informó en una conferencia de prensa que el sismo de magnitud 7.1 afectó el suministro de electricidad a 530 000 hogares y negocios, de estos, 1.7 millones de usuarios, en la Ciudad de México. Sin embargo, mencionó que no hubo ningún daño estructural en las centrales eléctricas del país (Hernández, 2017b, 2017a).

En cuanto a la infraestructura vial, durante el sismo se vieron afectadas vialidades primarias y secundarias, por lo que se tuvo que pavimentar una superficie de aproximadamente 1 440 266 m², además, dos puentes peatonales se vieron afectados por daños estructurales y derrumbes parciales, en la medida en que tuvieron que ser demolidos y quedaron fuera de uso durante 8 meses después del sismo (Comisión para la reconstrucción, recuperación y transformación de la ciudad de México, 2018).

Otras ciudades y municipios se vieron afectados por el sismo, pero los impactos en estas poblaciones están más allá del alcance de este trabajo que se enfoca solo en la Ciudad de México. Según la Organización Panamericana de la Salud (PAHO) y la Organización Mundial de la Salud (WHO), 8 420 102 personas de la Ciudad de México se vieron afectadas por el sismo de 2017, en comparación con las 5 785 466 personas de los otros 151 municipios afectados (PAHO-WHO, 2017). El Informe Global sobre Desplazamiento Interno (GRID) utilizó estos números para mostrar que, a pesar de contar con un gobierno sólido, leyes y participación de la sociedad civil, México aún debe hacer más para reducir el riesgo de desastres y evitar pérdidas, daños y desplazamientos (GRID, 2018). Los autores de este estudio recomiendan futuras investigaciones para abordar los diferentes impactos en otros municipios que han sido afectados por sismos en México.

3.1. El sistema de gestión de residuos en la Ciudad de México en condiciones normales.

La ciudad de México es una de las ciudades más pobladas en el mundo, con casi de 9 millones de habitantes. Enfrenta un reto muy grande con respecto con el manejo de residuos sólidos. De acuerdo con números oficiales reportados por la Secretaría de Medio Ambiente (Ciudad de México) (SEDEMA), durante 2017, la generación de residuos sumó 12 998 toneladas de residuos sólidos por día, esto representa por persona un promedio de 1.37 kilogramos al día. Para estas cifras, la ciudad cuenta con una infraestructura para el manejo de residuos de: 12 estaciones de transferencia, 2 plantas de selección, 2 plantas compactadoras, 8 plantas de composta y 5 sitios de disposición final.

En la [Fig. 3.3](#) podemos observar las principales fuentes generadoras que se tienen (SEDEMA, 2017).

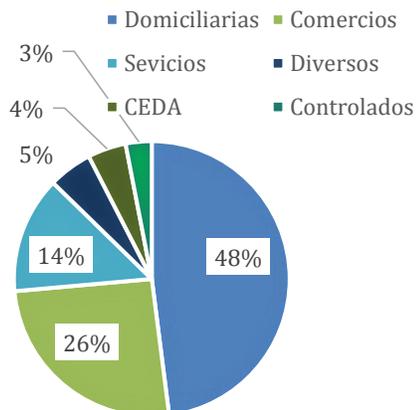


Fig. 3.3 Fuentes generadoras en la CDMX en 2017 (AGU, 2018).

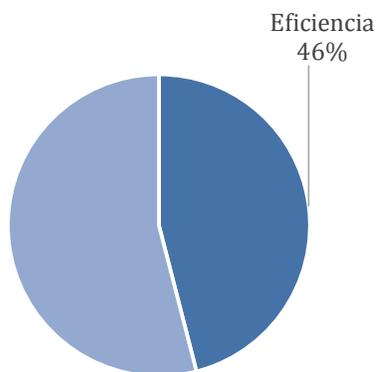


Fig. 3.4 Eficiencia de recolección en la CDMX durante 2017 (AGU, 2018).

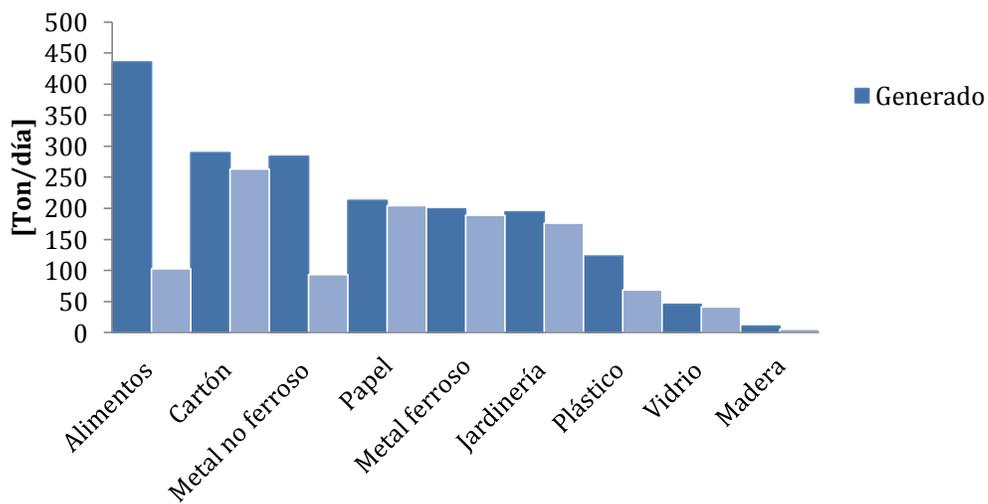


Fig. 3.5 Eficiencia en la recolección de la CDMX (SEDEMA, 2017).

Por otra parte, la eficiencia del reciclaje aumentó un 13%, además de la recolección ([Fig. 3.5](#)) con la implementación de la norma 024, en el 2016, como se puede observar en la [Fig. 3.4](#) sobre la eficiencia total durante el 2017. Esta norma habla sobre la separación de residuos y la posterior producción de compostas con la basura orgánica. Las cuales se utilizaron principalmente en la recuperación de zonas con suelos salitrosos en el Bordo Poniente, en las áreas verdes de la CDMX y también fueron enviadas a los agricultores de Milpa Alta. Con la implementación de la norma se consiguió una reducción de envíos a rellenos sanitarios de más de 240 mil toneladas de residuos sólidos y además se recolectaron 1 475 toneladas de objetos como colchones, llantas, muebles, hornos, electrodomésticos, sillas, bancos y televisores. De esto, 3 051.49 toneladas (23.44%) fueron recuperadas, de las cuales 92% fue material reciclable y el 8% fue residuos de alimentos y de jardinería (SEDEMA, 2017).

En otras palabras, una gran parte de la población de ciudades en desarrollo depende del reciclaje para buscar su sustento. La respuesta del sector formal suele ser de desagrado por ser considerada una actividad antihigiénica y atrasada (Wilson, Velis and Cheeseman, 2006).

Wilson *et al.*, (2006) incluyeron a la Ciudad de México en su estudio en el sector informal de reciclaje en la gestión de residuos en países en desarrollo, por lo que se concluye que:

- El reciclaje se lleva a cabo por grupos sociales en pobreza y marginados.
- Hay una regla general, que entre menos organizado esté el sector, menos personas estarán involucradas y agregarán un valor a la materia prima y a los materiales secundarios que son colectados, sin mencionar los riesgos que tienen como problemas de salud y explotación por intermediarios.
- El llevar a cabo la actividad trae consigo, que a menudo los niños no tengan una educación formal y que posteriormente, al crecer, no puedan entrar al sector laboral.

Por otro lado, en México, a principios de los 80, existían alrededor de 25 mil tiraderos clandestinos, y tras 26 años de operación, en el 2011 fue cerrado el relleno sanitario Bordo Poniente, siendo el más grande de América Latina con una superficie total de mil hectáreas, construido con el fin de disponer la gran cantidad de residuos que se producen en la zona. No obstante, a pesar de haber sido controlado por el gobierno, carece de geomembrana en sus etapas de construcción I, II y III (abarcando 260 hectáreas en las tres etapas), lo que provoca la infiltración de lixiviados y biogás, contaminando tanto el suelo, como los mantos freáticos del ex Lago de Texcoco de manera irreversible (Miranda, 2011).

Por consiguiente, en respuesta a la generación de tiraderos clandestinos (alrededor de 1 229 identificados), la Secretaría del Medio Ambiente publicó el Programa de Gestión Integral de los Residuos Sólidos para la CDMX 2016-2020 (PGIRS) y el Inventario de Residuos Sólidos. Ambos son herramientas que, en conjunto proporcionan un panorama completo de la situación de los residuos en la CDMX. El PGIRS aporta las estrategias y pasos a seguir para su adecuado manejo y el Inventario de Residuos Sólidos recopila y pone al alcance de la población información sobre la situación actual del manejo de éstos (SEDEMA, 2016).

Es importante no olvidar que la gestión de residuos después de un sismo es más compleja que en condiciones normales, debido a que los edificios colapsados presentan residuos contaminados y altamente mezclados (UNEP- OCHOA, 2011; Asari *et al.*, 2013).

3.2. Marco legal actual

En México, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) establece, en su reforma de 2018, las competencias concurrentes del marco legal de los tres niveles de gobierno (DOF, 1988). Cada nivel tiene el poder para desarrollar, conducir y aplicar la política ambiental, así como la protección ambiental, preservar y restaurar el equilibrio ecológico dentro de su jurisdicción (Anglés, M., Rovalo, 2019). El manejo de residuos sólidos municipales y de residuos de manejo especial es responsabilidad de los municipios; mientras que la disposición de residuos peligrosos se lleva a cabo a nivel federal. En 2003, fue decretada la Ley General para la Prevención y la Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR), con el propósito de promover un desarrollo sustentable, reducir la generación y promover la recuperación y el manejo integral de residuos; así como prevenir la contaminación del suelo (DOF, 2003).

Además, México tiene dos Normas Oficiales Mexicanas emitidas por la SEMARNAT. La primera que es la NOM-161-SEMARNAT-2011, establece los criterios para la clasificación de residuos que requieren manejo especial y determina cuáles de ellos son sujetos a un plan de manejo (DOF, 2013b). La otra norma es la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (DOF, 2002) en la cual los residuos peligrosos biológicos infecciosos (RBI) se definen, clasifican y especifica su manejo.

Este estudio se limita a los residuos generados por sismo a partir de edificios total o parcialmente dañados o demolidos, que son un resultado directo del sismo. Los residuos generados por daño a la infraestructura, por ejemplo asfaltos de los caminos dañados o los residuos generados durante una etapa después del desastre están fuera del alcance de este estudio. Por ejemplo los residuos generados de donaciones excesivas no solicitadas (Siddik, McEntire and Afedzie, 2009) una gran cantidad de residuos médicos, para el cuidado de la salud (Peterson, 2004) y empaques de alimentos para las etapas de emergencia (Solis *et al.*, 1995).

4. Antecedentes

Según el marco de Sendai (UNISDR, 2015), uno de los objetivos para la reducción del riesgo debido a fenómenos naturales es aumentar el número de países con estrategias nacionales y locales para la recuperación, después de un desastre, el cual incluye el manejo de residuos por desastres. Sin embargo, como menciona Brown *et al.* (2011), los recursos financieros y la experiencia técnica en países en desarrollo son generalmente factores limitantes, aunque no prohibitivos, para lograr la reducción del riesgo por desastres. En consecuencia, rara vez existen planes de manejo de residuos en países en desarrollo.

Con el fin de evaluar el estado del arte, se procedió a la revisión de estudios de casos de manejo de residuos por sismo, como se indica en la [Tabla 4.1](#), que fue adaptada de Brown *et al.* (2011). Ocho de los 13 estudios analizaron el marco legal en su región específica para evaluar la respuesta de gestión de residuos por sismo. Solo tres de los 13 estudios reportaron una estimación de la generación de residuos, y solo Asari *et al.* (2013) y California Government (1997) desarrollaron una propuesta para estimar la generación de residuos por desastre.

La [Tabla 4.2](#) resume estudios que se centran en la gestión de residuos por sismo, pero no se refieren a casos específicos de sismos. Brown *et al.* (2011) señalaron que la principal barrera para analizar y desarrollar una propuesta metodológica para la composición de los residuos y la estimación de la cantidad es la disponibilidad y la consistencia de los datos de residuos por desastre. Brown *et al.* (2011); Asari *et al.* (2013); Brown and Milke (2016) distinguieron entre países desarrollados y en desarrollo porque encontraron que este factor influye fuertemente en las propuestas de gestión de residuos por desastre.

Tabla 4.1 Referencias sobre el manejo de residuos por sismo (adaptado de Brown et al., (2011))

Sismos	Año	Referencias	Enfoque	Análisis del marco legal	Estimación de la generación de residuos
Friuli Earthquake, Italy	1976	Faleschini <i>et al.</i> (2017)	WM Policies	Sí	No
Humboldt County Earthquake, US	1992	California Government (1997)	Guidance and Assistance	Sí	Sí
Los Angeles, CA Earthquake	1994	Reinhart and McReanor (1999)	Report to EPA	No	No
Hयोगoken-nambu, Japan Earthquake	1995	Reinhart and McReanor (1999)	Report to EPA	No	No
Northridge Earthquake, US	1995	California Government (1997) USEPA (2008)	WM Policies Guidance and Assistance WM Policies	Sí Sí Sí	No Sí Sí
Great Hanshin-Awaji Earthquake, Kobe, Japan	1995	Kuramoto (1995), Eerland (1995)	General information Report	Sí Sí	No No
Marmara Earthquake,	1999	Baycan (2004)	Report	Sí	No

Turkey						
Algiers-Boumerdes, Earthquake, Algeria	2003	Benouar (2009)	Report	No	No	
L'Aquila Earthquake, Italy	2009	Faleschini <i>et al.</i> (2017)	WM Policies	Sí	No	
Canterbury Earthquakes, New Zealand	2010 and 2011	Domingo and Luo (2017), Brown (2012)	Analysis on WM process	Sí	No	
Great East Japan Earthquake	2011	Asari <i>et al.</i> (2013), JSMCWM (2012)	WM Strategy	Sí	Sí	
Emilia Romagna Earthquake, Italy	2012	Faleschini <i>et al.</i> (2017)	Policies	No	No	
Nepal Earthquake	2015	Dugar <i>et al.</i> (2017), Memon (2015)	General lessons learnt	Sí	No	

Tabla 4.2 Estudios sobre residuos por desastre que abordan la gestión de residuos por sismo

Referencias	Enfoque	Análisis del marco legal	Propuesta de generación de residuos
Lauritzen (1995)	Various experiences including earthquakes and general principles	Sí	Parcial
Rafee <i>et al.</i> (2008)	Possible earthquake in Tehran, Iran. WM Strategies Analysis	Sí	No
Siddik <i>et al.</i> (2009)	Several new concerns (Crime and disaster waste classification)	Sí (crimen)	No
Brown <i>et al.</i> (2011)	Review: Disaster waste management	Sí	No
Brown and Milke (2016)	Evaluate some disaster WM factors in developed countries	No	No
Saffarzadeh <i>et al.</i> (2017)	Temporary site to disaster waste	Sí	Parcial

WM: Waste management.

4.1. Planeación de manejo de residuos por desastre

De acuerdo con Ministry of the Environment, Japan (2018) un plan de acción a largo plazo para tratar con desastre de gran escala se divide en 2 etapas:

Condiciones normales. En esta etapa se lleva a cabo un plan de contingencia, en donde se especifica cómo reaccionar y proceder con la disposición final de residuos por desastres al momento de que ocurran y acuerdos con personas y organizaciones interesadas en el procesamiento de residuos ([Fig. 4.1](#)).

Condiciones de desastre. En esta etapa se lleva a cabo un plan de implementación, en el cual se compilan los acuerdos de respuesta, según el plan de contingencia de la etapa anterior ([Fig. 4.1](#)).

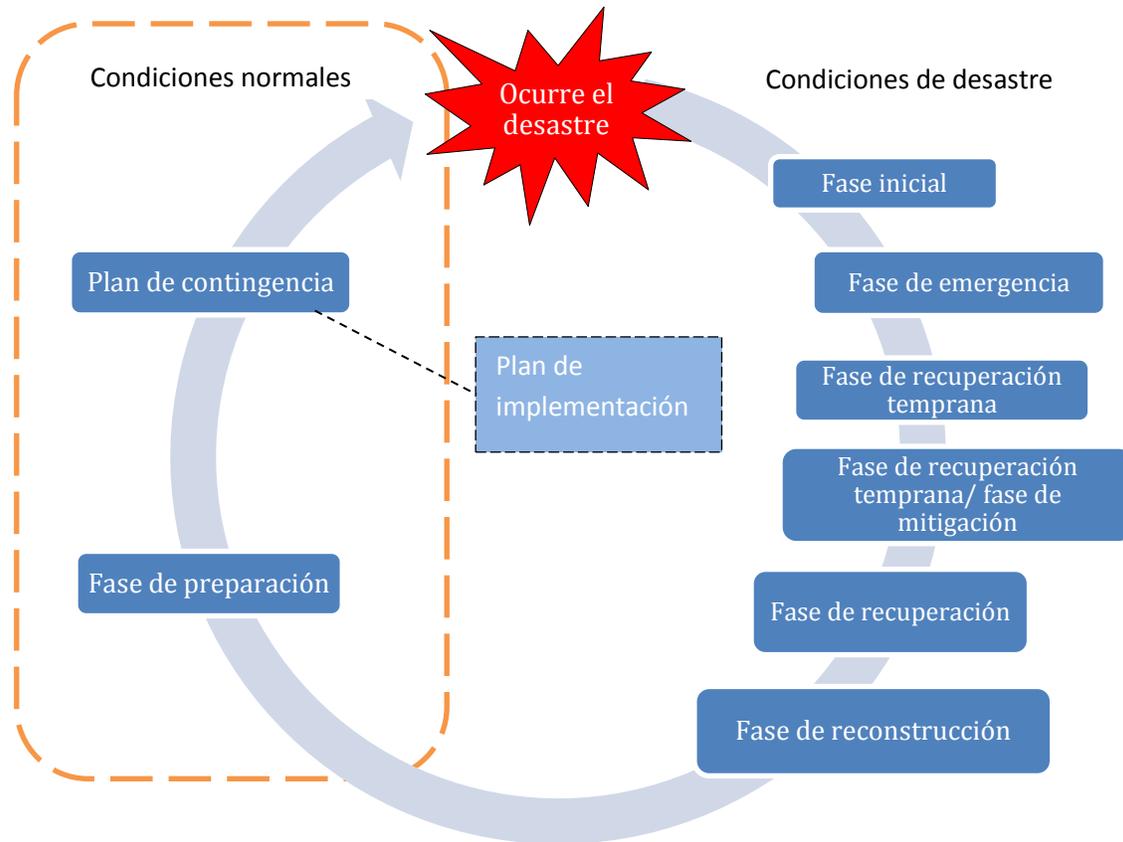


Fig. 4.1 Ciclo de planeación en caso de desastres de gran escala (adaptado de Ministry of the Environment, Japan (2018))

A continuación se explican cada una de las fases que aparecen en la [Fig. 4.1](#)

- Fase de preparación: Llevar a cabo la administración local y realizar acuerdos con personas y organizaciones interesadas en el procesamiento de residuos.
- Fase inicial: Buscar establecer el manejo de residuos por desastre.
- Fase de emergencia: Conducir las operaciones de rescate, identificar a las víctimas, abrir centros de evacuación, limpiar calles, abrir sitios temporales de almacenamiento de residuos y mantener contacto con el gobierno local.
- Fase de recuperación temprana: Mantener los centros de evacuación y priorizar el manejo de residuos peligrosos.
- Fase de recuperación temprana/ fase de mitigación: Discutir las decisiones en el plan de implementación de acuerdo con la ejecución del manejo de residuos por desastre, y preparar el tratamiento de los residuos por desastre.
- Fase de recuperación: Habilitar la infraestructura, cerrar centros de evacuación y llevar a cabo el tratamiento y disposición final de los residuos por desastre
- Fase de reconstrucción: Renovar la comunidad afectada y completar el tratamiento de los residuos por desastre.

5. Justificación

Como se ha observado, los residuos generados en un desastre de gran magnitud superan por mucho a la producción diaria en una región, por ello, es indispensable contar con un plan para manejar esta gran cantidad de residuos ante desastres. Por lo tanto, con un plan de gestión de residuos se pretende acelerar el proceso de recuperación, se busca conseguir reciclar la mayor cantidad de residuos y por consiguiente disminuir el impacto ambiental (Domingo and Luo, 2017). Para lograr lo anterior, es necesario emplear sitios temporales de separación de residuos en la zona del desastre o fuera de ella, sin embargo, no siempre se cuentan con recursos y sitios temporales suficientes, por lo que el manejo de residuos se convierte en un problema (Lauritzen, 1998; Brown and Milke, 2016; Faleschini *et al.*, 2017).

En este sentido, es indispensable el reciclaje de la mayor cantidad de residuos, ya que así, de acuerdo con Brown and Milke, (2016) principalmente se reduciría el espacio en vertederos y la demanda de materia prima bajaría. No obstante, el reciclaje de estos residuos se enfrenta a varios obstáculos, uno de ellos es que la disposición en vertederos de estos residuos (en algunos casos) es más barata que reciclarlos e incluso se disponen en vertederos ilegales o de una manera incontrolada, lo que provoca la propagación en grandes superficies, que resulta en un daño severo al ambiente (Baycan, 2004).

En conclusión, varios autores han resaltado los desafíos asociados con el manejo de residuos por desastre en lo que respecta a los sismos ([Tabla 4.1](#) y [Tabla 4.2](#)), pero no como una propuesta, que incluya una estimación de la generación de residuos, tampoco identifican sitios temporales para la separación de residuos, y no acoplan estos problemas con el marco legal en México hasta la fecha.

6. Metodología

La metodología para el proyecto de investigación sigue cuatro grandes pasos para llegar a una propuesta de gestión de residuos (Fig. 6.1). Se determina primero la cantidad de residuos generada por el sismo, después se propone un diseño de sitio temporal para estos residuos basado en guías internacionales y normas mexicanas de gestión de residuos, seguido de una revisión de la capacidad de compañías de reciclaje en el país y finalmente se analiza el marco legal actual en México, con relación a la gestión de residuos.

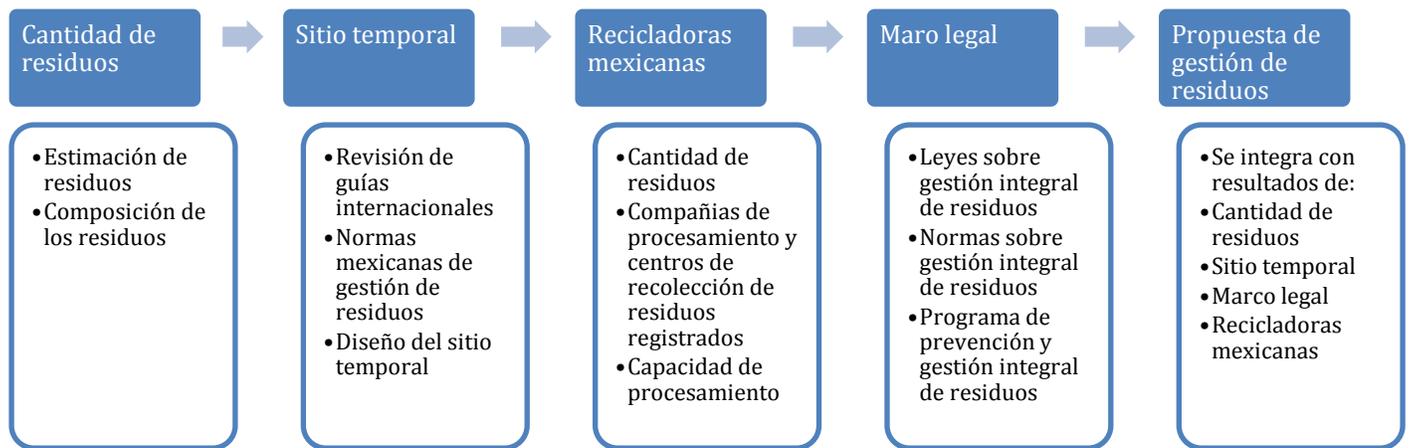


Fig. 6.1 Metodología

6.1. Caracterización de residuos por sismo.

A fin de caracterizar los residuos por sismo, los datos de la Ciudad de México después del sismo de 19 de septiembre de 2017 se usaron como una línea base. Al momento del sismo, los reportes iniciales mostraron que 32 edificios tuvieron colapso total y 163 edificios fueron categorizados por tener un alto riesgo de colapso, pero en un reporte final publicado en enero de 2019, solo 15 edificios fueron reportados como colapso total, en donde 14 de ellos fueron edificios de viviendas, y un edificio comercial (Comisión para la reconstrucción, recuperación y transformación de la ciudad de México, 2018).

Este estudio solo incluye los edificios de viviendas que colapsaron o fueron programados para su demolición como consecuencia directa del sismo. Las bases de datos no incluyen pequeñas casas antiguas hechas de adobe (o lo que se conoce como tabiques secados al sol) están fuera del alcance de este estudio, debido a la falta de bases de datos formales en edificaciones en esta zona.

6.1.1. Residuos por sismo de la demolición

El método utilizado para estimar los volúmenes de residuos y los pesos fue obtenido del estudio de Martel (2008), él utilizó los factores de 0.85 m³ por m² de área construida para estimar el volumen de RD y 1.5 toneladas por m³ de residuos para estimar el peso total. Además, Martel (2008), analizó los métodos existentes utilizados en otros países y propuso una caracterización para los residuos de la demolición de una vivienda residencial en la Ciudad de México como parte de su estudio de campo. La composición de los residuos de la demolición en volumen se ilustra en la [Tabla 6.1](#) y en peso en la [Tabla 6.2](#).

Tabla 6.1 Composición en volumen(compacto) de residuos de la demolición en la CDMX (Martel, 2008).

Material	Composición en volumen [%]
Cascajo*	71.6
Alfombra	19.0
Tela	3.9
Loseta	2.0
Madera	1.5
Mármol	1.2
Block Concreto	0.3
Chatarra	0.1
Cerámica	0.1
Vidrio	0.1
Teja	0.1
Tabla roca	0.1
Esponja	0.1

*Considerando volumen suelto

Tabla 6.2 Composición en peso de residuos de la demolición en la CDMX (Martel, 2008).

Material	Composición en peso [%]
Cascajo*	86.4
Mármol	4.9
Loseta	4.4
Madera	1.4
Block Concreto	1.3
Chatarra	0.8
Cerámica	0.3
Vidrio	0.2

Teja	0.1
Tabla roca	0.1
Alfombra	4.71E-02
Esponja	3.21E-03
Tela	9.59E-04

*Considerando volumen compacto (se consideró un 40% de volumen menor para considerarse como volumen compacto (Martel, 2008)).

La base de datos “Plataforma de derrumbes CDMX” (Comisión para la reconstrucción, recuperación y transformación de la ciudad de México, 2018) se utilizó para identificar los edificios que habían colapsado y los que estaban programados para su demolición. Finalmente, se utilizaron Google Maps y Google Earth (Google Earth, INEGI, 2019) para determinar el tamaño de las áreas de construcción y la cantidad de niveles que tenía cada edificio (Fig. 6.2).

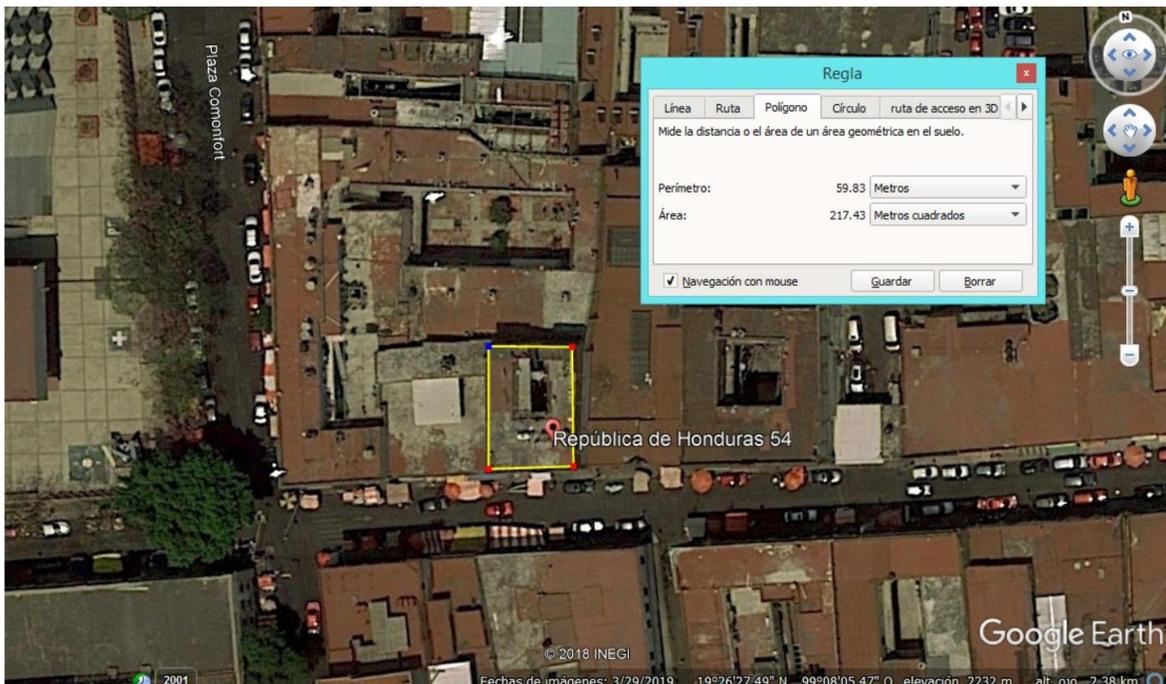


Fig. 6.2 Determinación área mediante herramienta Google Earth (Google Earth, INEGI, 2019).

Una vez obtenidos los datos, se multiplicó el área del terreno por el número de pisos para obtener el área construida, posteriormente se multiplicó el resultado por el factor de 0.85 m³ por m², finalmente, se transformó el volumen estimado de residuos a peso, con el factor de 1.5 toneladas por m³ de volumen, como se muestra a continuación:

$$Ac = (At)(N)$$

Donde

$Ac = \text{Área construida}$

$At = \text{Área del terreno}$

$N = \text{Número de pisos}$

$$Vr = Ac(0.85 \frac{m^3}{m^2})$$

Donde

$Vr = \text{Volumen estimado de residuos}$

$$P = Vr(1.5 \frac{ton}{m^3})$$

Donde

$P = \text{Peso estimado de residuos}$

Para calcular el metal estructural en los edificios colapsados y programados para su demolición se decidió modelar los elementos estructurales como son castillos, trabes, losas y escaleras mediante un software de arquitectura e ingeniería. El edificio que se eligió modelar, fue programado para su demolición y se ubicaba en la calle República de Honduras 54, alcaldía Cuauhtémoc ([Fig. 6.3](#)), tenía un área de 161.5 m² y cuatro niveles, tomando en cuenta que el promedio de niveles para todos los inmuebles colapsados y programados para su demolición fue aproximadamente cuatro.

Para obtener la cantidad de metal en el concreto armado se consideró una barra de refuerzo de 3/8 de pulgada para esfuerzos transversales y de 1/2 pulgada para refuerzos longitudinales de acero grado 42 de acuerdo a la norma de construcción NMX-B-457-CANACERO-2013 (DOF, 2013a) en elementos estructurales por cada nivel. Las características para las dimensiones mínimas y materiales de elementos estructurales, refuerzos, así como la distancia de separación mínima entre refuerzos se diseñaron de acuerdo a las normas técnicas que estipula la SMIE (2017a) sin considerar la cimentación porque se espera que solo se retiren los residuos de la demolición a nivel del suelo ([Fig. 6.4](#)). El modelado completo de los cuatro niveles se muestra en la [Fig. 6.5](#)

Las barras de refuerzo suman un total de 14.21 ton de metal, lo que quiere decir que por cada m² de área construida se generaron 22 kg (Revit, 2018).

Por lo tanto, para obtener una estimación del total de la cantidad de metal que se generó durante el sismo se multiplicó el área construida por el factor de 0.022 ton por cada m² de área construida como se muestra a continuación:

$$Pm = (Ac)(0.022 \frac{ton}{m^2})$$

Donde

P_m = *Peso estimado de metal de barras de refuerzo*



Fig. 6.3 Localización del inmueble en calle República de Honduras 54, alcaldía Cuauhtémoc (Google Earth, INEGI, 2019).

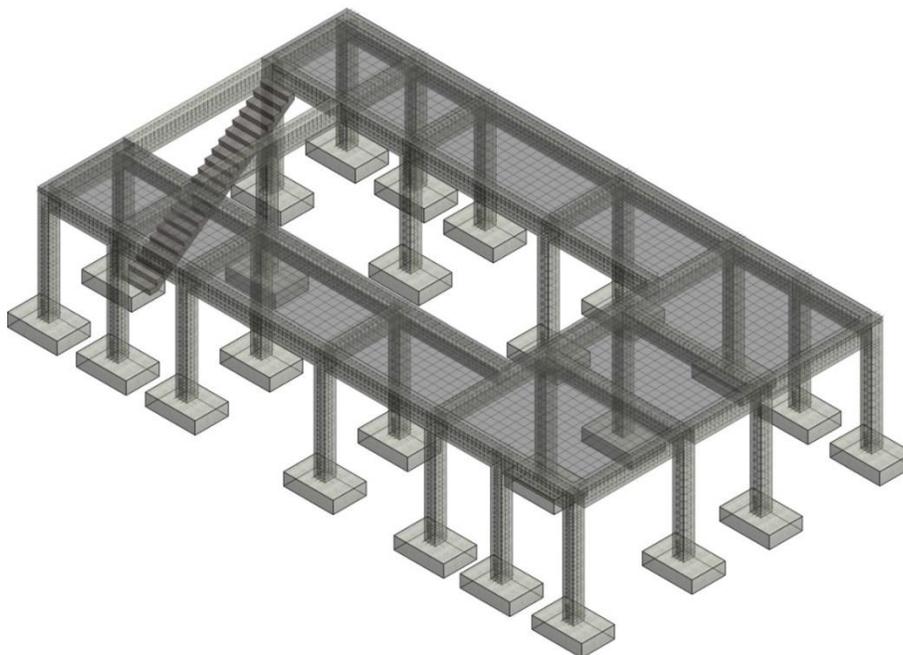


Fig. 6.4 Modelado de las barras de refuerzo en elementos estructurales de un nivel (Raiz and Jungreis, 2018) (Revit, 2018).

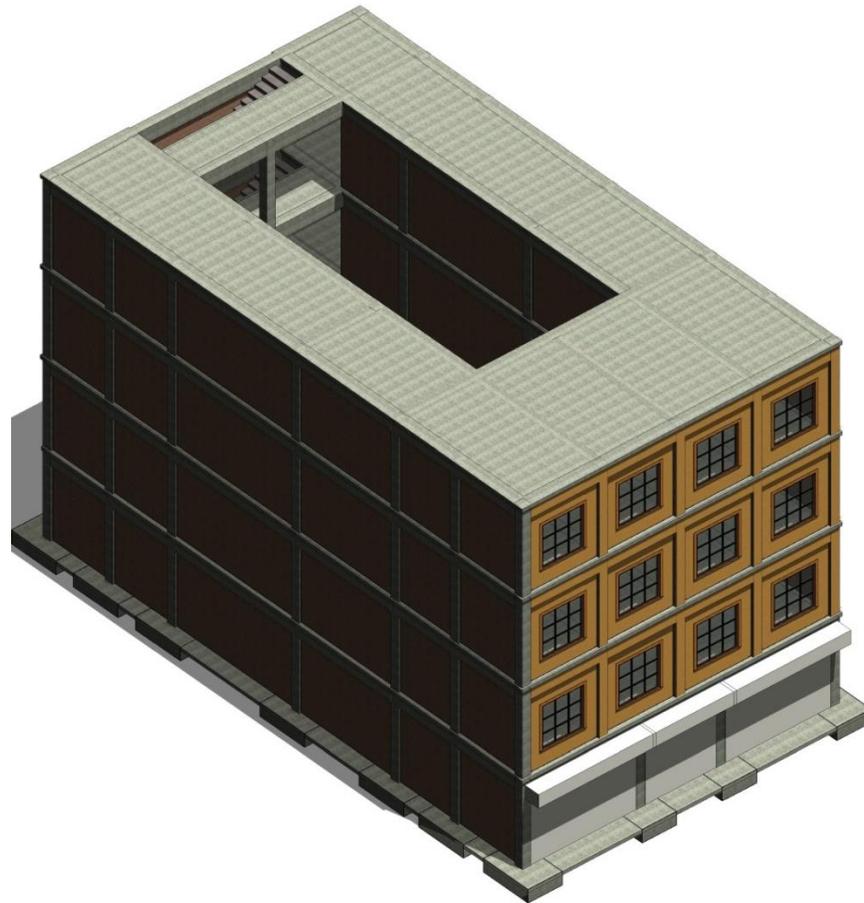


Fig. 6.5 Modelado completo del edificio (Revit, 2018).

6.1.2. Trabajo de campo

Con el propósito de identificar las características y estimar la cantidad de residuos que se generó por consecuencia del sismo, se decidió visitar diferentes sitios afectados en la Ciudad de México y en el estado de Morelos, de los cuales se obtuvieron fotografías a nivel del suelo y aéreas mediante dron para una mejor visualización de los residuos.

6.1.3. Artículos domésticos

De los 13 casos de estudio de sismos de la [Tabla 4.1](#), solamente Asari *et al.* (2013) hizo una distinción entre los residuos por sismo de la demolición (a partir de ahora referidos como RD por sismo) y de otros tipos de artículos domésticos. Otros estudios mencionan los RD, generalizando e incluyendo todo tipo de residuos. Sin embargo, nosotros consideramos que es fundamental diferenciar los artículos domésticos de los artículos de RD, pues combinar estas dos categorías podría cambiar las características de los residuos, la interpretación y entonces, también las opciones de manejo que se pudieran planear y los riesgos por gestionar.

De aquí, nosotros asumimos que todos los artículos domésticos se convertirán en residuos, si la vivienda colapsa. Los cálculos fueron adaptados para la Ciudad de México del estudio de Tabata *et al.* (2018).

La cantidad de edificios colapsados y el número de departamentos de vivienda fue obtenido de la "Plataforma de Derrumbes CDMX" (Comisión para la reconstrucción, 2019). La cantidad de residuos provenientes de edificios colapsados fue estimada utilizando datos acerca de los artículos domésticos en la Ciudad de México reportados en el estudio nacional de gastos e ingresos por hogar en 2016, publicado por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). La metadata usada estimó el cuartil medio del ingreso basado en el tamaño de una zona. La Ciudad de México es clasificada como urbana en el estimado. Entonces la media del ingreso per cápita es de \$2 610.00 USD por trimestre (INEGI, 2016), el cual corresponde al decil estadístico VIII, lo que quiere decir que en las viviendas se asume que poseen los artículos listados en la [Tabla 6.3](#). Finalmente, se considera que las viviendas están compuestas en promedio por 3.9 personas como se indica en el estudio.

Por otro lado, para estimar la cantidad de animales de compañía, de acuerdo con el estudio sobre el Bienestar Subjetivo en México realizado por el (INEGI, 2014) en la Ciudad de México, a partir de una muestra de 6 710 885 personas adultas el 35.7 % mencionaron tener animales de compañía, siendo un total de 2 617 996 mascotas de los cuales el 79.3% son perros, el 12.7% gatos y el 8% otros. En otras palabras, hay al menos 1.52 animales de compañía por cada 3.9 personas, en promedio (algunas viviendas tienen tres o cuatro mascotas, mientras que otras no tienen ninguna).

La [Tabla 6.3](#) proporciona datos sobre las características de los artículos domésticos en la Ciudad de México, siguiendo los métodos de Tabata *et al.* (2018).

Tabla 6.3 Artículos domésticos considerados provenientes de viviendas colapsadas en la Ciudad de México (INEGI, 2016).

Clasificaciones	Artículos domésticos
Línea blanca	(1) Refrigerador, (1) estufa, (1) horno de microondas, (1) lavadora, (1) plancha, (1) licuadora
Muebles	(1) Mesa, (1) alacena, (3) sofá, (1) escritorio, (6) sillas
Electrónica de consumo	(1) Televisión
Cómputo	(1) Computadora de escritorio, (1) computadora portátil, (1) impresora
Mascotas	(1) Perro, (1) gato

La [Tabla 6.3](#) no es exhaustiva, debido a la enorme complejidad de la composición de los residuos de sismo. Esta complejidad proviene del número de gente que vive en una casa, así como de las preferencias personales. Por ejemplo, los autores no tomaron en cuenta artículos como paraguas, maquillaje, relojes, ropa, artículos de limpieza, artículos plásticos, artículos de cocina, detergentes, joyería, residuos domésticos peligrosos (aceites, pesticidas, etc.), residuos en descomposición (como restos de comida en los cestos de basura), etc. Sin embargo, las guías internacionales

sugieren que estos artículos deben considerarse en un plan de manejo (PAHO, 2003; UNEP-OCHOA, 2011; JSMCWM, 2012), por lo que se tomarán en cuenta para el sitio temporal.

Para la estimación de la cantidad de residuos domésticos por vivienda se utilizó la herramienta mapa digital del INEGI (2018), con ella se obtuvieron datos de la cantidad de viviendas y personas que habitan en una misma manzana, con esto se pudo determinar la cantidad de personas que habitan en promedio una vivienda, mediante la siguiente fórmula:

$$ph = \frac{pm}{hm}$$

Donde:

ph = Número de personas por vivienda

pm = Número de personas por manzana

hm = Número de viviendas por manzana

Una vez obtenido el número de personas por vivienda (2.4 personas por vivienda), es multiplicado por el estimado de viviendas existentes en un edificio, de la siguiente manera:

$$p = (ph)(h)$$

Donde:

p = Total de personas afectadas

ph = Número de personas por vivienda

h = Total de viviendas afectadas

El número total de viviendas afectadas fue estimado mediante la herramienta Google Maps y Google Earth (Google, 2019).

Residuos generados a partir del total de personas afectadas

Se procedió a calcular el peso de los residuos generados como artículos personales (los cuales se enlistan en la [Tabla 7.6](#)) que dependen del total de personas afectadas, mediante:

$$W \text{ total} = Wu(p)$$

Donde

Wu = Peso unitario del residuo

p = Total de personas afectadas

$$W \text{ total} = \text{Peso total generado del residuo}$$

Para calcular el volumen

$$V \text{ total} = Vu(p)$$

Donde

$$Vu = \text{Volumen unitario del residuo}$$

$$p = \text{Total de personas afectadas}$$

$$V \text{ total} = \text{Volumen total generado del residuo}$$

Residuos generados a partir del total de viviendas afectadas

Por otro lado, para artículos de línea blanca, de los cuales se espera que haya una unidad por vivienda, como estufas, refrigeradores, microondas, etc. ([Tabla 7.6](#)). Se realizaron las operaciones anteriormente descritas, pero ahora utilizando la cantidad de viviendas afectadas, mediante:

$$W \text{ total} = Wu(h)$$

Donde

$$Wu = \text{Peso unitario del residuo}$$

$$h = \text{Total de viviendas afectadas}$$

$$W \text{ total} = \text{Peso total generado del residuo}$$

Para calcular el volumen

$$V \text{ total} = Vu(h)$$

Donde

$$Vu = \text{Volumen unitario del residuo}$$

$$h = \text{Total de viviendas afectadas}$$

$$V \text{ total} = \text{Volumen total generado del residuo}$$

objeto personal, debido a la información importante que generalmente llevan, pero es probable que algunas de ellas se dañen, por lo que es beneficioso para estos artículos ser transferido fácilmente a la celda de almacenamiento de artículos eléctrico-electrónicos.

Finalmente, las celdas de almacenamiento para residuos peligrosos, residuos contaminados y residuos biológicos infecciosos no deben tener contacto con los materiales reciclables, lo que significa que su clasificación de cercanía es X, prohibido. El área para los residuos peligrosos, residuos contaminados y residuos biológicos infecciosos debe restringirse como se explica en la siguiente sección.

6.3. Propuesta para el sitio temporal.

De acuerdo con Boonmee *et al.* (2018), la separación de residuos por desastre es un componente importante de un sistema de gestión de residuos. US FEMA (2007) sugiere que los sitios temporales de separación y manejo de residuos por sismo no solo facilitan la recolección y el trabajo de salubridad, sino que también reduce los impactos ambientales que pudieran ocasionar los residuos. La mayoría de los residuos por sismo tienen el potencial de ser recuperados, entonces los sitios temporales deben ser responsables de la separación de los residuos y el almacenamiento temporal, antes de su transporte a los sitios de reciclaje especializados. Este estudio está limitado al diseño del sitio temporal en su layout y consideraciones operativas, pero los autores no le quitan valor a la importancia de diseñar una cadena de suministro de residuos en una investigación futura.

Ya que los residuos de sismo muestran una composición compleja y altamente diversa, es necesario seleccionarlos en categorías, a fin de establecer criterios de manejos específicos y habilitar una entrega a los centros de reciclaje apropiados o rellenos sanitarios de la ciudad. Se propone un diseño general del sitio temporal que usa una clasificación por celdas de almacenamiento, mismo que se basa en guías internacionales (PAHO, 2003; UNEP- OCHOA, 2011; JSMCWM, 2012), con base en la composición de los residuos observados en el último sismo. Fue usado un diagrama de relación (Groover, 2007) para visualizar la afinidad entre los materiales, las dimensiones, las características físicas y los procesos de manejo para la disposición final, para los residuos domésticos de los edificios colapsados.

Para efecto de este diseño, el sitio temporal se visualizó como un sistema industrial donde intervienen distintas áreas pero no se busca generar ningún producto, sino más bien, separar los residuos.

7. Resultados y discusión

7.1. Residuos de la demolición por sismo

La [Tabla 7.1](#) ilustra el volumen total estimado y el peso de los residuos generados por los 14 edificios de vivienda colapsados, de los cuales se tomó cuenta su área y número de pisos. Para propósito del estudio, solamente los edificios colapsados fueron considerados para contabilizar la generación de los residuos domésticos. La [Tabla 7.1](#) muestra el número total de las viviendas que estaban en los edificios que colapsaron (122).

Tabla 7.1 Residuos de la demolición por sismo de los edificios colapsados

Edificios colapsados ^a	Alcaldía	Área ^a (m ²)	Pisos ^b	Número de viviendas	Volumen (m ³)	Peso (ton)	Peso de metal estructural (ton)
1	Álvaro Obregón	346	1	1	294.10	441.15	7.61
6	Benito Juárez	1 540.35	30	60	1 2801.97	19 202.95	331.35
2	Coyoacán	428.36	8	26	1 751.07	2 626.60	45.32
2	Cuauhtémoc	384.28	10	17	1 987.74	2 981.61	51.45
1	Gustavo A. Madero	172.72	1	1	146.81	220.22	3.80
1	Iztapalapa	316	5	16	1343	2 014.50	34.76
1	Xochimilco	170.48	2	1	289.82	434.72	7.50
TOTAL				122	18 614.51	27 921.75	481.79
14							

^aPlataforma de Derrumbes CDMX (Comisión para la reconstrucción, 2019).

^bGoogle Maps and Google Earth (Google, 2019).

Las estadísticas de residuos por sismo de la demolición de los 172 edificios programados para su demolición se muestran en la [Tabla 7.2](#). De acuerdo con el Director de Análisis y Gestión de Riesgos de CENAPRED, según las condiciones de seguridad, el gobierno permitió a los propietarios acceder a sus hogares y retirar sus pertenencias con maquinaria especializada antes de las demoliciones programadas. En consecuencia, solo se tuvieron en cuenta los residuos de la demolición de estos edificios. Los residuos finales por demolición totalizaron 364 598 ton.

Tabla 7.2 Residuos de la demolición por sismo de edificios programados para demolición.

Edificios programados para demolición ^a	Alcaldía	Área ^a (m ²)	Pisos ^b	Volumen (m ³)	Peso (ton)	Peso de metal estructural (ton)
2	Azcapotzalco	282	4	478.57	717.85	12.39
28	Benito Juárez	10 167	164	52 011.13	78 016.69	1346.17

21	Coyoacán	10 397	101	40 478.21	60 717.31	1047.67
57	Cuauhtémoc	22 868	313	101 711.56	152 567.34	2632.53
9	Gustavo A. Madero	2 050	22	5 042.68	7 564.03	130.52
17	Iztapalapa	2 700	38	4 693.72	7 040.58	121.48
3	Miguel Hidalgo	1 099	9	3 537.21	5 305.81	91.55
11	Tláhuac	1 582	20	2 373.80	3 560.69	61.44
12	Tlalpan	3 117	44	11 311.74	16 967.61	292.77
7	Venustiano Carranza	998	12	1 408.00	2 112.00	36.44
5	Xochimilco	846	10	1 404.35	2 106.53	36.35
TOTAL 172				224 450.96	336 676.44	5809.32

^aPlataforma de Derrumbes CDMX (Comisión para la reconstrucción, 2019).

^bGoogle Maps and Google Earth (Google, 2019).

Además, a fin de comparar las distintas fuentes de información y métodos obtenidos para estimar la cantidad de residuos se desarrolló la siguiente [Tabla 7.3](#) en la que se comparan los resultados de distintas fuentes.

Tabla 7.3 Comparación de los diferentes métodos utilizados para estimar la cantidad de residuos generada por el sismo

Fuente	Dirección	Área construida [m ²]	Volumen [m ³]	Volumen de residuos generados [m ³] por cada m ² de área construida	Peso (ton)
Reporte de AGU (2018)*	Múltiples	-	176 718	-	344 211
Estimación basa en los métodos de Martel (2008)**	Múltiples	285 959.4	243 065.5	0.85	364 600
Visita a edificio	Av. Sonora 164, Alcaldía Cuauhtémoc	2 340	2 160	0.92	-
Visita a edificio	Puebla 277, Alcaldía Cuauhtémoc	3 680	2 560	0.7	-
Visita a edificio	Salamanca 66, Alcaldía Cuauhtémoc	2 250	1 800	0.8	-
Demolición Martel (2008)	-	400	385.9	0.96	393.1
Revit (2018)	Republica de Honduras 54, Alcaldía Cuauhtémoc	646	305	0.47	608.43

* Factor de conversión de m³ a ton de 1.9478

** Factor de conversión de m³ a ton de 1.5

En la [Tabla 7.3](#) se puede observar que la diferencia entre el peso estimado de la [Tabla 7.1](#) y la [Tabla 7.2](#) y el reporte de la Agencia de Gestión Urbana (AGU) fue de 20 389 ton o el 5.92%, no obstante, se utilizaron factores de conversión distintos. Por otro lado, los valores de volumen de residuos generados por cada m² de área construida para los edificios visitados y el trabajo de campo de la demolición de una vivienda fueron similares, sin embargo, para el caso del edificio modelado por ordenador el cálculo fue el más alejado ya que el volumen calculado se obtuvo en volumen comprimido mientras que en todos los demás se obtuvo en volumen suelto.

7.2. Trabajo de Campo

Como parte de la metodología se realizó el siguiente trabajo de campo, el cual consistió en visitar diferentes sitios, en los cuales se vieron afectados edificios y como consecuencia se generaron residuos por labores de demolición y en un caso, por labores de reforzamiento y remodelación.

En la [Fig.7.1](#) se muestra las labores de demolición y en la [Fig. 7.2](#) el apuntalamiento del edificio Salamanca 66, en la alcaldía Cuauhtémoc.

En la [Fig. 7.3](#) se muestra el grado de mezclado de los residuos de la demolición por sismo como mampostería, concreto, madera y metal del edificio que se ubicaba en la calle Puebla, N 277, en la alcaldía Cuauhtémoc.



Fig. 7.1 Labores de demolición del edificio que se ubicaba en la calle Salamanca 66, alcaldía Cuauhtémoc.



Fig. 7.2 Apuntalamiento del edificio que se ubicaba en la calle Salamanca 66, alcaldía Cuauhtémoc.



Fig. 7.3 Residuos de la demolición por sismo en la calle Puebla 77, alcaldía Cuauhtémoc.

En las [Fig.7.4](#) y [7.5](#) se muestra la separación por tipo de los residuos como metales y plástico provenientes de la remodelación de la Escuela Superior de Comercio y Administración del IPN en Tepepan y en las [Fig.7.6](#) y [7.7](#) se muestran los residuos desde una perspectiva aérea en donde para el caso de los escombros se realizó una estimación aproximada del área que abarcan los residuos.

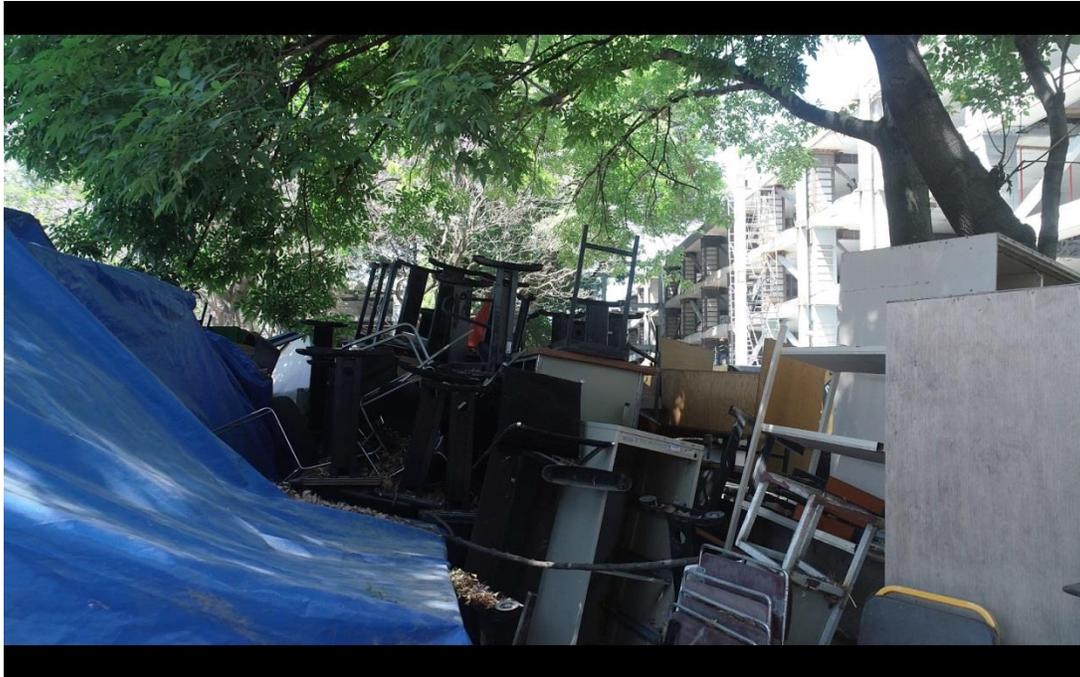


Fig. 7.4 Separación de residuos por tipo (mesas, sillas, estantes etc.).



Fig. 7.5 Separación de residuos por tipo (tuberías, marcos de puertas y ventanas).



Fig.7.6 Vista área de residuos de puertas y ventanas.



Fig. 7.7 Vista área de residuos de escombros.

En la [Fig.7.8](#) se muestra un montículo residuos de tabla roca y en la [Fig.7.9](#) se muestra un alto grado de mezclado de residuos de la demolición por sismo.



Fig. 7.8 Residuos de tabla roca de una vivienda en el estado de Morelos.



Fig. 7.9 Residuos de la demolición de una vivienda en el estado de Morelos.

Asimismo, se realizaron visitas a diferentes edificios programados para su demolición y su reconstrucción, de los cuales se identificaron y estimaron las cantidades de volumen de residuos generados de la demolición por medio de fotografías a diferentes montículos de residuos de determinado tipo de material, los resultados se muestran en la [Tabla 7.4](#).

Tabla 7.4 Residuos de la demolición y reconstrucción por sismo de edificios visitados

Dirección	Metales	Mampostería	Aglomerado	Vidrio
Salamanca 66, Alcaldía Cuauhtémoc				
Volumen	8.21 m ³			
Puebla 277, Alcaldía Cuauhtémoc				
Volumen	13.43 m ³	2 239.65 m ³		
Anillo Periférico 4863, ESCA Tepepan*				
Volumen	12.24 m ³	8 763.84 m ³	131.46 m ³	12.24 m ³

*Reforzamiento y remodelación

7.3. Residuos domésticos

Los pesos y volúmenes de los residuos domésticos fueron estimados utilizando la información sobre los artículos que se compran con mayor frecuencia, como se informa en el documento: Brújula de Compras 2017, publicado por la Agencia Federal de Protección al Consumidor de México (PROFECO) (PROFECO, 2017). Los pesos y volúmenes se estimaron promediando diez unidades por cada artículo. Las mediciones y los datos estadísticos de los volúmenes y pesos de los residuos domésticos se muestran en la [Tabla 7.5](#).

Tabla 7.5 Masa y volumen por artículo doméstico. Tamaño de muestra: 10 artículos (PROFECO, 2017).

Artículos domésticos	Masa (kg)		Volumen(m ³)	
	μ	σ	μ	σ
Refrigerador	60.5	2.9	1.22	0.09
Estufa	41.2	1.3	0.33	0.04
Horno de microondas	7.6	0.9	0.06	0.003
Lavadora	92.5	1.5	0.69	0.09
Plancha	1.59	0.3	0.003	0.0006
Licuadaora	1.138	0.07	0.0046	0.0005
Mesa	19.4	0.8	0.918	0.08
Alacena	102.2	4.6	1.296	0.4
Sofá	34.6	5.8	3.4	0.5
Escritorio	22.4	1.3	1.1	0.5
Silla	3.5	0.4	0.22	0.03
Televisión	10.3	0.9	0.067	0.007
Impresora	2.33	0.36	0.047	0.008
Laptop	1.5	0.3	0.029	0.005
Computadora de escritorio	13.2	0.8	0.34	0.01
^a Animales de Compañía	10.2	5.6	0.45	0.29
Total	424.16		10.17	

^a (INEGI, 2014).

La [Tabla 7.5](#) muestra que, de acuerdo con los artículos que se encuentran comúnmente en los hogares de la Ciudad de México, el peso estimado de los residuos por sismo por vivienda es de 424.16 kg, lo que representa un volumen de 10.17 m³

7.3.1. Propuesta para la clasificación de residuos por sismo en un sitio temporal

Debido a que la función de un sitio temporal es la separación y el almacenamiento temporal de los residuos por sismo, antes de ser transferidos a recicladores especializados (lo cual reduce la cantidad de escombros y residuos enviados a vertederos o sitios de disposición inapropiada), este estudio propone un sistema de clasificación de residuos por sismo que se organiza por celdas de almacenamiento. Este sistema permitiría que los residuos se organicen rápidamente y se envíen a las compañías de reciclaje apropiadas. La [Tabla 7.6](#) muestra las consideraciones generales requeridas para organizar las celdas de almacenamiento basadas en la norma ambiental NADF-007-RNAT-2013 de la Ciudad de México, que establece los criterios técnicos y las especificaciones para la separación, clasificación, recolección selectiva y almacenamiento de residuos en la Ciudad de México (GODF, 2015). En particular, la [Tabla 7.6](#) incluye un rango más amplio de artículos

domésticos que la [Tabla 7.5](#), debido a que se considera una mejor práctica para la planificación de un sitio temporal (PAHO, 2003; UNEP- OCHOA, 2011; JSMCWM, 2012).

Tabla 7.6 Clasificación sugerida de las celdas de almacenamiento en un sitio temporal.

Celdas de almacenamiento	Ejemplo de artículos
Artículos eléctricos	Aspiradoras, licuadoras, planchas, tostadoras, cafeteras, secadores de cabello, relojes de pared, balanzas, computadoras de escritorio, teclados, ratones, cables, teléfonos, radios, televisores, DVD, impresoras, hornos microondas, pantallas de visualización
Residuos orgánicos biodegradables	Contenido del refrigerador: vegetales, cáscaras de huevo, alimentos preparados, frutas, productos cárnicos, etc.; residuos orgánicos del hogar; residuos de jardín de casa.
Alimento empacado	Alimentos empacados y sellados en buenas condiciones, libres de contaminantes y con fecha de vencimiento actual, tales como: botellas de agua, bolsas de cereales, botellas de aceite, alimentos enlatados, galletas, pan de caja, etc.
Papel y cartón	Cajas, cartón y cartón corrugado, papel bond, cuadernos, periódicos, revistas.
Plásticos	El plástico tiene diferentes valores según sus características y propiedades, por lo que se deben utilizar las siguientes subclasificaciones: PET: tereftalato de polietileno, PVC: cloruro de polivinilo, HDPE: polietileno de alta densidad, PP: polipropileno, PS: poliestireno, PC: policarbonato.
Vidrio	Cristalería en general: vasos, platos, cristalería para alimentos, envases vacíos para alimentos y bebidas.
Metales	Los metales tienen un valor diferente según sus características y propiedades, por lo que se deben utilizar las siguientes subclasificaciones: Metal ferroso: incluye hierro, acero, hierro fundido, acero inoxidable. Metal no ferroso: incluye cobre, aluminio, estaño, plomo, zinc, níquel, cromo, titanio, magnesio, latón, bronce, antimonio, plata, oro y platino.
Textiles	Ropa, cortinas, toallas, sábanas, edredones, almohadas, mantas, alfombras, etc.
Muebles	Incluye muebles compuestos o hechos de materiales simples (madera, plástico, vidrio, textil o metal), tales como: sillas, mesas, cabeceros, escritorios, cómodas, sofás, colchones, armarios, estanterías, etc.
Línea blanca de gran volumen	Refrigeradores, lavadoras, secadoras, lavavajillas, estufas, ventiladores eléctricos, aires acondicionados, etc.
Artículos personales	Se propone una celda de almacenamiento de artículos personales de valor, para permitir la recuperación por parte de los propietarios. La lista de estos objetos fue adaptada de la Sociedad Japonesa de Ciclos de Materiales y Gestión de Residuos (JSMCWM, 2012) e incluye álbumes de fotos, billeteras, joyas, teléfonos celulares, computadoras portátiles, identificaciones, documentos personales, pinturas, esculturas de metal y piedra, anteojos, libros.
Residuos sólidos no reciclables	Artículos que son difíciles o no rentables de reciclar. Algunos ejemplos son: Artículos de cuero, calzado, polietileno de baja densidad, envoltura de plástico metalizado en general, maquillaje, etc.
Restos de escombros	Restos de residuos de la demolición, así como fragmentos de cristalería, vidrio plano, residuos de porcelana, inodoros y lavabos.

Se propone que los RD por sí mismo de mayor tamaño se envíen a recicladores de RD directamente desde los sitios de desastre, sin pasar por un sitio temporal, dado que su volumen es grande, lo que significa que debe evitarse un manejo doble o triple siempre que sea posible. Los restos de escombros y el polvo mezclado con los residuos de edificios colapsados, por supuesto, serían

transferidos al sitio temporal. En el caso de residuos de mayor tamaño, como cilindros que contienen tanques de gas comprimido, árboles, automóviles, motocicletas, tanques de agua, etc., también se sugiere que estos se separen en el punto de recolección del desastre y se lleven directamente a los recicladores, sin pasar por el sitio temporal.

7.3.2. Residuos peligrosos

Proponemos que el sitio temporal reciba residuos peligrosos de edificios residenciales colapsados. La [Tabla 7.7](#) ilustra las categorías de los residuos peligrosos conforme a la NOM-052-SEMARNAT-2005 (DOF, 2005). Para fines de este estudio, y debido a las características de almacenamiento requeridas, este tipo de residuos se clasificó en tres tipos: residuos peligrosos, residuos biológico-infecciosos (RBI) y residuos contaminados.

Tabla 7.7 Categorías de residuos domésticos peligrosos.

Categoría	Productos	Peligro
1	Pinturas, barnices, removedores de pintura, adhesivos, solventes, cloro, limpiadores de pisos y detergentes.	Tóxico/Corrosivo
2	Insecticidas, repelentes de insectos, veneno para ratas, fluidos herbicidas, polvos repelentes y collares antipulgas, bolas de naftalina, desinfectantes, conservadores de madera, tubos fluorescentes, baterías, acumuladores, termómetros, tintas para impresoras y medicamentos caducados.	Tóxico
3	Bebidas alcohólicas, acetona, aerosoles, desinfectantes, perfumes, aceite, gasolina o cualquier combustible.	Inflamable
4	Tanques de gas	Explosivo
5	Cadáveres de animales, materiales curativos con presencia de sangre, fluidos corporales o elementos contaminados con sangre o fluidos corporales resultantes de heridas durante el colapso	Biológico-infeccioso
6	Sustancias que no tienen etiquetado u otra información	Otros

A fin de estimar la cantidad de residuos peligrosos en general, se utilizó un factor de 5 a 10% de la cantidad total de residuos en kg por vivienda ([Tabla 7.5](#)), lo que lleva a una estimación de los residuos peligrosos que osciló entre 3 y 6 toneladas. De acuerdo con la clasificación de LGPGIR, el sitio temporal se ubicaría en la categoría de pequeños generadores (que incluye sitios que generan más de 400 kg y menos de 10 toneladas de residuos peligrosos totales por año). El procesamiento de residuos peligrosos en el sitio temporal debe diseñarse para cumplir con las normas legales requeridas. Sobre todo, es necesario mantener los materiales tan libres de contaminación como sea posible, para aumentar la posibilidad de reutilización y reciclaje de otros residuos.

7.3.3. Residuos contaminados y potencialmente peligrosos

Debido a que el transporte de residuos y escombros comienza una vez que los esfuerzos de búsqueda y rescate de los sobrevivientes han terminado, y después de que la recuperación de cuerpos humanos ha finalizado, al menos oficialmente, no se espera que restos humanos lleguen al sitio temporal. Sin embargo, es importante proporcionar almacenamiento temporal para este tipo de residuos, debido a la manipulación cuidadosa y la disposición final adecuada requerida para evitar

riesgos ambientales y de salud, de acuerdo con la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (DOF, 2002).

Los tipos de residuos biológico-infecciosos con mayor probabilidad de llegar al sitio temporal son restos de animales, materiales de curación contaminados con sangre o fluidos corporales dispuestos incorrectamente por los servicios médicos en los sitios de desastre durante la respuesta posterior al desastre, y residuos contaminados con sangre o fluidos corporales resultantes de las heridas durante el colapso del edificio.

A falta de datos registrados, la cantidad de este tipo de residuos se estimó al calcular el número esperado de animales de compañía en edificios residenciales colapsados en la Ciudad de México. De la [Tabla 7.5](#), en las 122 viviendas colapsadas, se estima que se generaron un total de 1 244.4 kg de RBI a partir de restos de animales de compañía. Esta cantidad puede que esté subestimada del número de RBI totales, debido a la falta de datos sobre otros tipos de residuos de esta categoría para agregar a los cálculos. Dado que se proyecta que el manejo de este sitio temporal sea 3 meses después de un sismo, el total esperado de restos de animales de compañía es de aproximadamente 414.8 kg por mes. De acuerdo con la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (DOF, 2002), esta cantidad calificaría el sitio temporal como un generador de residuos de nivel III, lo que significa que se debe incorporar un área de almacenamiento exclusiva para estos residuos en el diseño del sitio.

Los residuos contaminados se refieren a todos los residuos que han tenido contacto directo con cualquier residuo peligroso, ya sea durante el sismo o durante el manejo de los residuos. Sin embargo, debido al riesgo especial para la salud del material contaminado con residuos biológico-infecciosos, deben ser dispuestos como otros residuos biológico-infecciosos, en el área específica de residuos biológico-infecciosos.

7.4. Diseño del sitio temporal

La [Fig.7.10](#) muestra el diseño general del sitio temporal (Walker, 2019) (AutoCAD, 2019) para la organización de las celdas de almacenamiento, basado en la clasificación de residuos por sismo ([Tabla 7.6](#)) y las relaciones de cercanía ([Fig. 6.6](#)).

Las organizaciones internacionales (PAHO, 2003; UNEP- OCHOA, 2011; JSMCWM, 2012) indican las recomendaciones generales y de seguridad para la instalación y operación del sitio temporal.

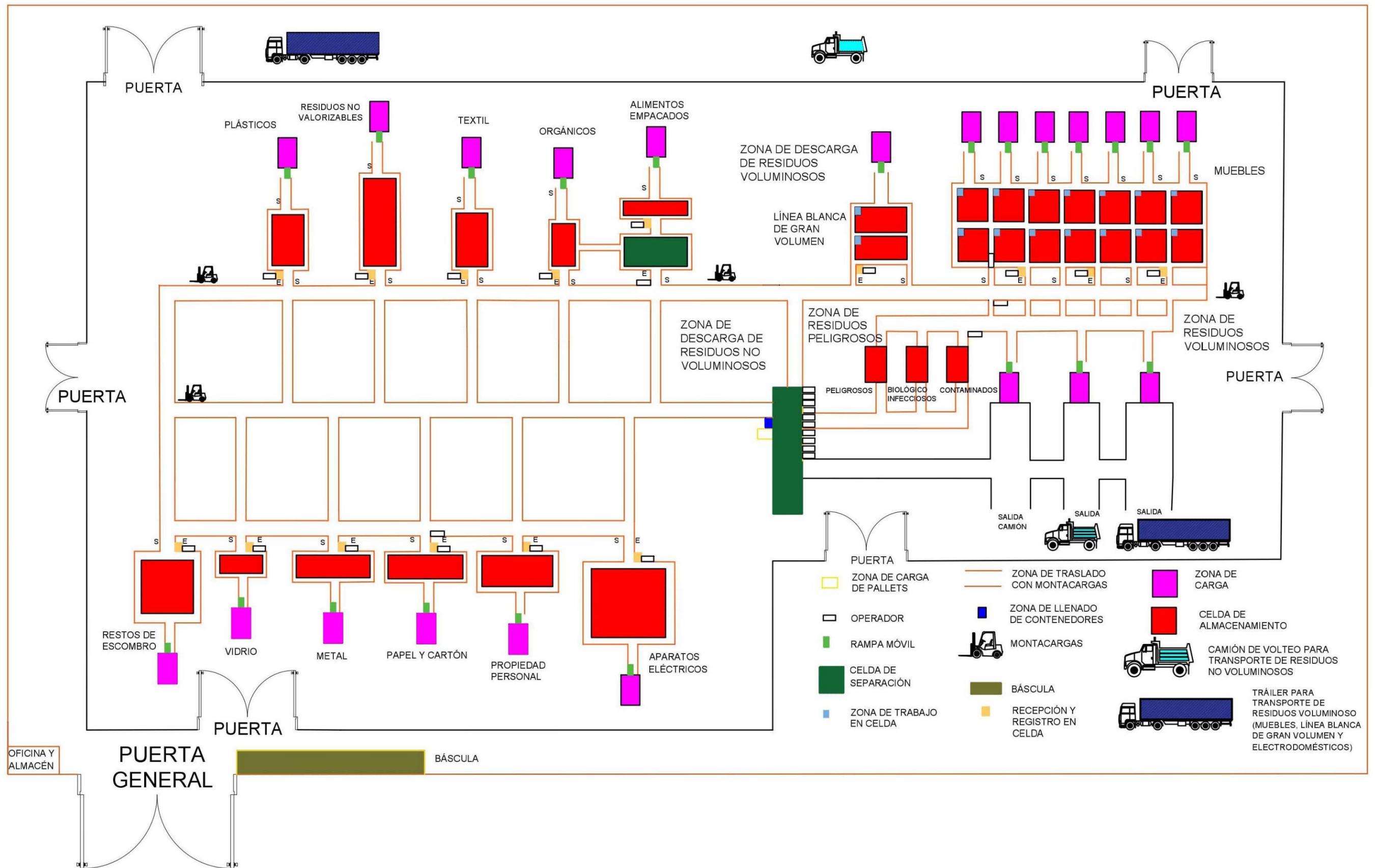


Fig.7.10 Diseño completo del sitio temporal (elaboración propia)

Para facilitar el manejo, se realizó la propuesta de una separación en las siguientes tres zonas:

1. Zona de registro.
2. Zona de residuos voluminosos.
3. Zona de residuos no voluminosos.
4. Zona de residuos peligrosos

Zona de registro

En esta zona se ubicará la oficina y el almacén y se llevará el proceso de ingreso al sitio, pesaje y registro (Fig. 7.11).

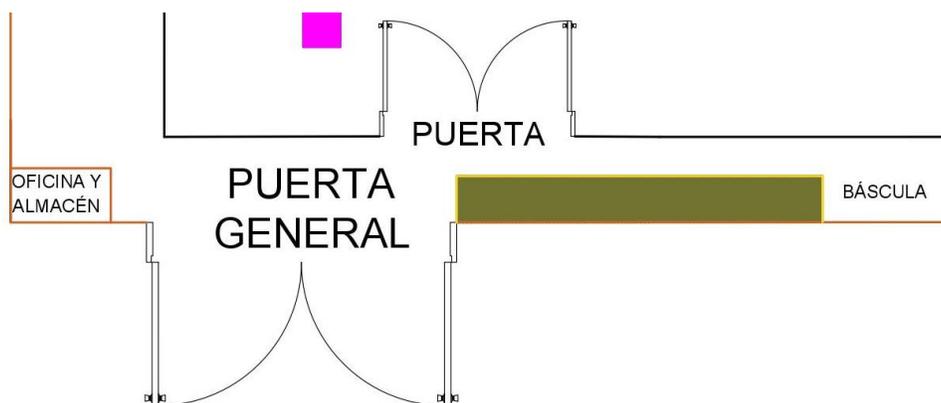


Fig. 7.11 Entrada al sitio temporal (elaboración propia).

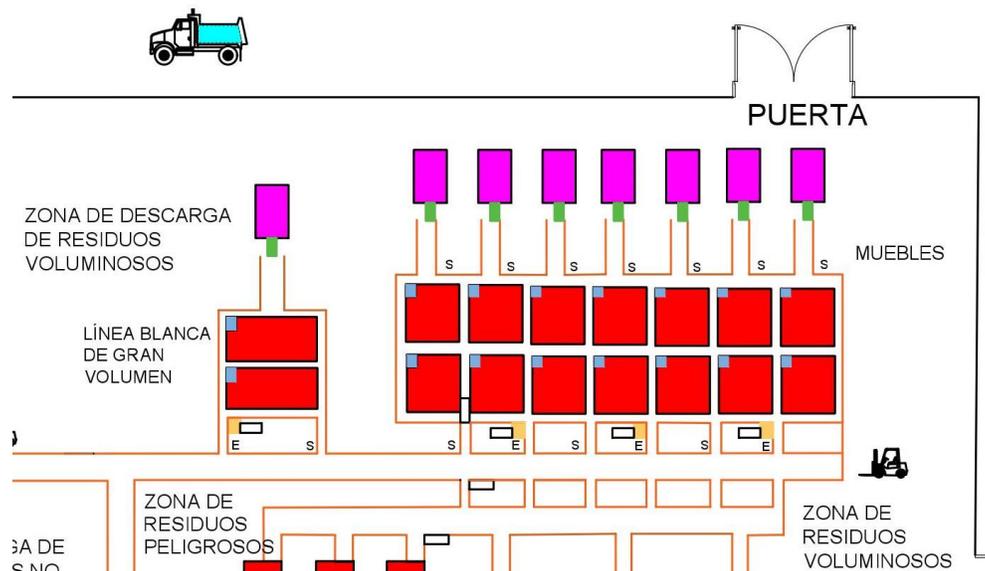


Fig. 7.12 Zona de residuos voluminosos (elaboración propia).

Zona de residuos voluminosos

En esta zona se encuentran las celdas de almacenamiento de muebles, electrodomésticos y línea blanca de gran volumen (ilustradas en color rojo). El transporte se realizará mediante montacargas y las zonas por donde transitará fueron marcadas con líneas de color naranja (Fig. 7.12).

Zona de residuos no voluminosos

En esta zona se llevará a cabo el transporte de los residuos no voluminosos para su posterior revisión y de esta forma, se acomodarán manualmente los residuos peligrosos, biológico-infecciosos y contaminados (Fig. 7.13).

En la parte superior se encuentran las celdas de plásticos, residuos no valorizables, textil, residuos orgánicos biodegradables y alimentos empacados (ilustradas en color rojo). Además de una celda especial para separar los alimentos de sus envases (ilustrada en color verde) que conecta con la celda de residuos orgánicos (Fig.7.14).

En la parte inferior se encuentran las celdas de los restos de escombros, vidrio, metal, papel y cartón propiedad personal y aparatos eléctricos (Fig. 7.15).

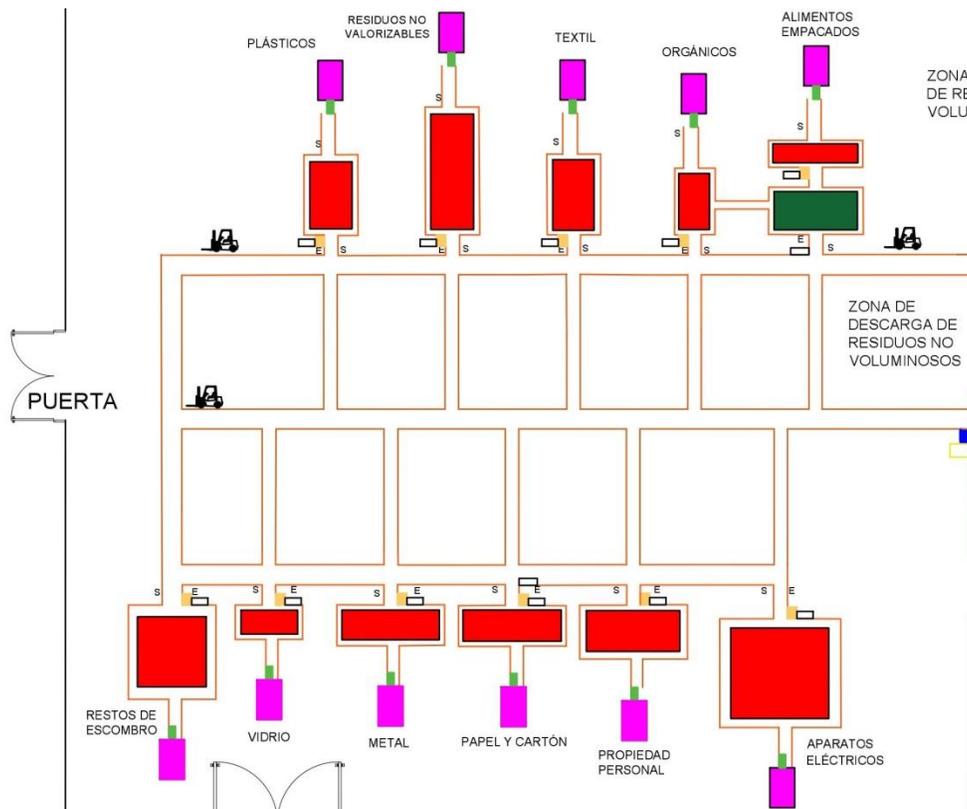


Figura 7.13 Zona de residuos no voluminosos (elaboración propia).

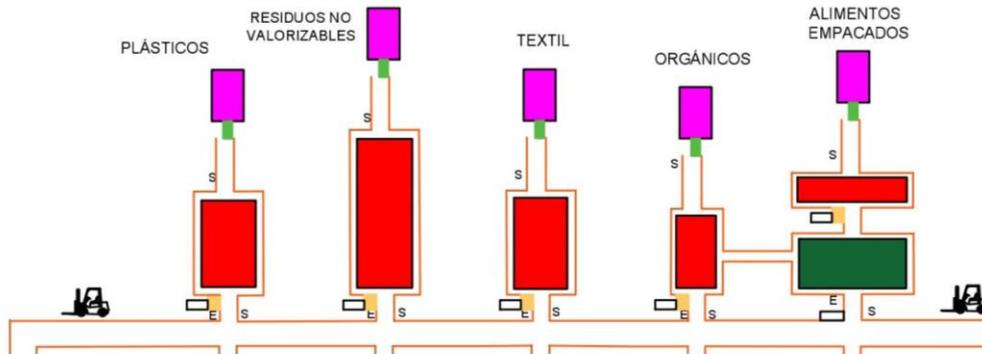


Fig. 7.14 Celdas superiores en la zona de residuos no voluminosos (elaboración propia).

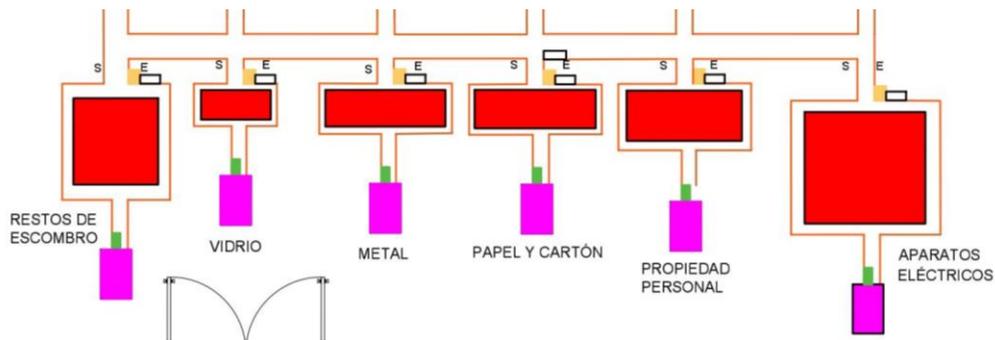


Fig. 7.15 Celdas inferiores en la zona de residuos no voluminosos (elaboración propia).

Zona de residuos peligrosos

En esta zona se encuentran las celdas de almacenamiento de los residuos peligrosos, biológico-infecciosos y contaminados. El almacenamiento de este tipo de residuos se hará de forma manual ([Fig. 7.16](#)).

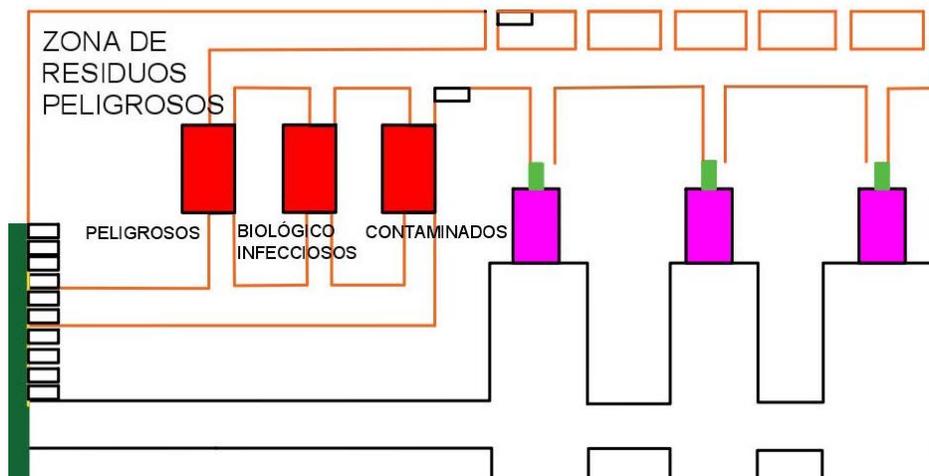


Fig. 7.16 Zona de residuos peligrosos (elaboración propia).

7.4.1. Área de residuos peligrosos y residuos contaminados

Ambas áreas deben estar separadas de la oficina y de las áreas de almacenamiento, y el acceso debe estar restringido a personal autorizado. Estas áreas deben tener letreros que indiquen la naturaleza del peligro, deben tener ventilación forzada para evitar la acumulación de vapores peligrosos y deben ser a prueba de explosiones. Los muros deben estar contruidos con materiales no inflamables. El área debe tener sistemas de extinción de incendios, equipos de seguridad en caso de emergencia, y debe tener sistemas establecidos para reducir el riesgo de posibles emisiones, fugas, incendios, explosiones e inundaciones.

Dentro del área, los residuos deben almacenarse en contenedores apropiados, y se debe garantizar que los residuos similares se almacenen juntos, evitando la incompatibilidad de acuerdo con la NOM-053-SEMARNAT-1993 (DOF, 1993a) y NOM-054-SEMARNAT-1993 (DOF, 1993b), todos los residuos deben estar registrados y debidamente etiquetados.

7.4.2. Área de residuos biológico-infecciosos

El área de RBI debe ser techada y refrigerada, o tener refrigeradores horizontales para el almacenamiento, debe ser de fácil acceso para la recolección y el transporte de residuos cada 15 días, y se debe evitar cualquier riesgo de inundación o entrada de roedores, vectores, depredadores u otra fauna. El acceso al área debe estar restringido solo al personal autorizado, y debe tener la señalización apropiada, indicando la peligrosidad. Los residuos dentro de esta área deben separarse, etiquetarse y acondicionarse de acuerdo con la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002 (DOF, 2002). La [Tabla 7.8](#) muestra la clasificación de los RBI que se espera que lleguen al sitio. Los trabajadores en el sitio temporal deben poder identificar estos residuos adecuadamente y transferirlos utilizando el equipo de protección adecuado al área asignada para este tipo de residuo.

Tabla 7.8 Separación y acondicionamiento de RBI esperado a que llegue al sitio temporal.

Clasificación	RBI	Almacenamiento
Patológico	Restos de animales	Bolsas de polietileno amarillas
No anatómico	Materiales curativos u otros elementos con presencia de sangre o fluidos corporales.	Bolsas de polietileno rojas
Residuos punzocortantes	Agujas de jeringas desechables, agujas hipodérmicas de sutura de acupuntura y para tatuajes, cuchillos, lancetas, escalpelos y estilete de catéter, entre otros.	Contenedor rígido de polietileno rojo

Según la (PAHO, 2000), la disposición de residuos sanitarios y otro tipo de residuos es el factor más importante en el control de la creación de vectores transmisores de enfermedades. En ausencia de otras opciones, es recomendable que los restos de animales en espera de ser incinerados tengan una aplicación de queroseno como protección en contra de depredadores y vectores; sin embargo, es

difícil la incineración de grandes cantidades de restos de animales, a menos que se tengan o se construyan incineradores especiales, y estos requieren enormes cantidades de combustible.

7.4.3. Funcionamiento del sitio temporal, incluyendo consideraciones generales

El sitio temporal se alimenta por la actividad de recolección, la cual da inicio con una separación en el sitio de desastre para que de esta forma se tenga una división en residuos voluminosos, no voluminosos y RD.

Los residuos voluminosos son los descritos en las celdas de muebles, línea blanca de gran volumen y electrodomésticos. Una vez que se tenga la división, serán transportados en camiones con contenedor.

Mientras que, los residuos no voluminosos engloban a los artículos pertenecientes a las demás celdas de almacenamiento. Estos residuos serán transportados en camiones de volteo sin brindar algún manejo especial hasta este punto.

Entrada de residuos al sitio

El objetivo es llenar la bitácora propuesta, ilustrada en la [Fig. 7.17](#), para así llevar un control de la procedencia, hora de entrada y firma del responsable del camión. Una vez que los camiones pasen por el proceso de registro y pesado se dará la designación del lugar por el cual ingresaran y en donde podrán descargar los residuos.



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Lugar de procedencia

	Calle	Número	Colonia	Alcaldía	Fecha de ingreso	Tipo de residuo	Peso	Hora
1								
2								
3								

Fig. 7.17 Bitácora de ingreso (elaboración propia)

7.4.4. Almacenamiento

Residuos voluminosos

Una vez que se tiene el control en la bitácora, se procederá a mandar los camiones con los residuos voluminosos a su zona de descarga para que posteriormente los montacargas con la ayuda de la rampa móvil transporten los residuos a la celda correspondiente.

Este se hará con un previo registro de los artículos que ingresen para tener un conteo más preciso, posteriormente se procederá a llevar a cabo el acomodo a nivel de piso mediante la colocación de

pallets ([Fig. 7.25](#)) por debajo de los objetos para evitar el contacto directo con el suelo y que un futuro el traslado sea sencillo con la ayuda de los montacargas.

Finalmente se llevará a cabo una revisión con el objetivo de buscar los artículos que podrían tener en su interior algún artículo como el caso de refrigeradores, roperos, buros, alacenas, etc. Si se llega a encontrar algún objeto, se procede a guardar en un contenedor para después hacer uso del montacargas y así llevarlos a sus celdas correspondientes.

Residuos no voluminosos

Por otro lado, los residuos no voluminosos serán descargados directamente en una plataforma para que se tenga una revisión en cuanto a sus dimensiones y los que tengan un volumen pequeño sean transportados con los montacargas. Una vez ahí, se hará una búsqueda exhaustiva para separar los residuos peligrosos, biológico- infecciosos y contaminados para ser llevados a su celda correspondiente.

Residuos peligrosos

Para los movimientos de entrada y salida se deberá tener un control mediante la bitácora propuesta ([Fig. 7.18](#)), de acuerdo al Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA), artículo 21 en materia de residuos peligrosos, en la cual se debe indicar la fecha del movimiento, origen y destino de los residuos, así como su clasificación, además, para un control más completo se implementará el uso de etiquetas para identificar los residuos en los contenedores de plástico, las cuales se generaron a partir de los requisitos en el artículo 14 del mismo reglamento (DOF, 1988) ([Fig. 7.19](#)).



GOBIERNO DE LA
CIUDAD DE MÉXICO

Residuos peligrosos

	Clave del residuo	Tipo	Peso	Fecha de ingreso	Procedencia	Generador	Fecha de disposición	Lugar de disposición final	Responsable
1									
2									
3									

Fig. 7.18 Bitácora propuesta para celdas de almacenamiento de residuos peligrosos

Especie animal: Desconocida  **Residuo biológico:** _____ 

No. Identificación: _____ No. Identificación: _____
 Tipo de residuos: Cadáver tejidos orgánicos Tipo de residuos: No anatómico sólido
 Cantidad: _____ (peso aproximado). Cantidad: _____ (peso aproximado).
 Procedencia: _____ Procedencia: _____
 Responsable: _____ Responsable: _____
 Fecha: _____ Fecha: _____

Residuo punzocortante: _____ 

No. Identificación: _____
 Tipo de residuos: Sólido
 Cantidad: _____ (peso aproximado).
 Procedencia: _____
 Responsable: _____
 Fecha: _____

a) Nombre del lugar generador
 b) Fecha de generación
 c) Clasificación del residuo (tipo del residuo y estado físico)
 d) Peso del residuo

Fig. 7.19 Etiquetas para identificación de residuos peligrosos

Una vez que los residuos hayan llegado por medio de los montacargas, se colocarán en los contenedores de plástico (Fig. 7.28) que estarán colocados sobre mesas. Una vez llenos los contenedores, serán llevados mediante pallets, sin antes haber sido contabilizado y etiquetado para su control.

Residuos orgánicos y biodegradables y alimentos envasados

Los residuos orgánicos que serán transportados por los montacargas se vacían en los contenedores de polietileno (Fig. 7.27) hasta que llegue al 80% de su capacidad, para posteriormente ser etiquetado con el número, peso y registro, para finalmente ser enviados a las recicladoras.

Por otro lado, los alimentos envasados se guardarán en contenedores de plástico (Fig. 7.27). Al llenarse, serán transportados a la celda de separación para ser examinados en cuanto a la condición, si está totalmente sellado y su caducidad. Al terminar, si la revisión lo indica, se procederá a pesarlos y transportarlos con ayuda del montacargas a su celda de almacenamiento para una posterior salida a albergues. En el caso contrario de que se encuentren en mal estado, el contenido será llevado a la celda de almacenamiento de residuos orgánicos y biodegradables. En cuanto a los envases, estos se lavarán para identificar a qué celda pertenece y finalmente serán depositados en ella. En este sentido, se espera que los residuos provengan de los refrigeradores y alacenas o electrodomésticos.

Restos de escombros

Se contemplará como la última celda del sitio temporal, a la cual solo se encontrarán los residuos de la demolición, restos de vidrio, porcelana, cerámicos, etc. El proceso consistirá en que una vez que se encuentren en los contenedores (Fig. 7.27) pasarán a ser etiquetados, pesados, registrados, y transportados a la celda. Asimismo, es preciso mencionar que no se requiere que la celda se encuentre techada por las características de los residuos que albergará.

Artículos personales

A pesar de que se espera que la mayoría de los artículos descritos sean identificados en la zona de tránsito de montacargas, se tendrá una revisión en las celdas de almacenamiento de muebles, papel y cartón, y electrodomésticos, con la finalidad de asegurar la recuperación de la máxima cantidad de artículos y posteriormente, regresarlos a sus dueños, quienes deberán informar previamente sus características.

7.4.5. Maquinaria y equipo propuesto

A continuación se muestran los distintos equipos requeridos para el manejo de los residuos fuera y dentro del sitio temporal ([Tabla 7.9](#)). También se proponen diferentes contenedores para el almacenamiento de determinado residuos de acuerdo a su tipo ([Tabla 7.10](#)), y finalmente se propone equipos complementarios que podrían ser útiles para ordenar y mejorar la disposición temporal de los residuos ([Tabla 7.11](#)).

Tabla 7.9 Equipo y maquinaria requerida para el sitio temporal (elaboración propia).

Nombre del equipo	Función	Capacidad	Imagen
Báscula mecánica	Registro del peso de residuos a la entrada y salida del sitio temporal	hasta 100 toneladas	
Camión de volteo	Transporte de los residuos no voluminosos	16 m ³ y 20 toneladas	
Camión con contenedor	<i>Transporte de residuos voluminosos</i>	33.2 m ³ y 28 toneladas	

Fig. 7.20 Báscula de piso para el registro a la entrada y salida del sitio temporal, (Torrey, 2019).

Fig. 7.21 Camión para el transporte de los residuos no voluminosos, (International, 2019).

Fig. 7.22 Tráiler para el transporte de residuos voluminosos, (International, 2019).

Rampa móvil
Acceso de montacargas al tráiler para descarga
n/a



Fig. 7.23 Rampa móvil, (Marcadolibre, 2019).

Montacargas eléctrico
Descarga de residuos voluminosos
2 200 kg



Fig. 7.24 Montacargas eléctrico, (Hyster, 2019).

Tarima o Pallet
Facilitar el movimiento de residuos
2 494.75 kg



Fig. 7.25 Pallet de madera, (Uline, 2019)

Tabla 7.10 Contenedores requeridos para celdas de almacenamiento.

Tipo	Material	Función	Ventajas	Capacidad [m3]	Capacidad de carga [kg]	Ejemplo
A	Plástico	Albergar a los artículos de las celdas de metal, artículos personales, plástico, papel y cartón, textil, residuos no valorizables y vidrio.	Se pueden estibar, son resistentes y permiten el etiquetado.	-	-	 Fig. 7.26 Contenedor de plástico, (Uline, 2019).
B	Polietileno	Almacenamiento de los residuos biodegradables y restos de escombros.	Cuenta con ruedas	1.2	130	 Fig. 7.27 Contenedor de polietileno, (Alproshop, 2019).

C	Poliétileno	Almacenamiento de los residuos peligrosos, biológico- infeccioso y contaminados.	Cuenta con ruedas	1	-
---	-------------	--	-------------------	---	---



Fig. 7.28 Contenedor polietileno para RP, (intecoAstur, 2019).

Tabla 7.11 Equipo complementario para el sitio temporal.

Equipo	Función	Capacidad	Dimensiones	Ejemplo
Racks	Para las celdas de almacenamiento de los artículos personales, metales, plástico, papel y cartón, textil, residuos no valorizables y vidrio	Almacenar 6 pallets con dos contenedores cada uno.	Ancho: 1.21 [m] Largo: 2.43 [m] Altura: 2.43 [m]	 <p>Fig. 7.29 Rack para tarimas y contenedores, (Uline, 2019).</p>
Prensa	Mejorar almacenamiento de papel, cartón, textil y PET	Formar pacas de 1 [m ³] gracias a la capacidad de compactar de 1 a 5.	Altura: 2 [m] Ancho: 1.3 [m] Largo: 1.3 [m]	 <p>Fig. 7.30 Prensa hidráulica, (YouTube, 2019).</p>

7.4.6. Condiciones de seguridad

Siempre se debe tomar en cuenta las medidas de seguridad al ser considerado un centro de trabajo, por lo que, en primera instancia se deberán tener suficientes salidas de emergencia, de tal modo que la distancia por recorrer desde el punto más alejado del interior hacia cualquier punto de la ruta de evacuación, no sea mayor de 40 m o que el tiempo máximo de evacuación de los ocupantes a un lugar seguro sea de tres minutos como los estipula la NOM-002-STPS-2010 (DOF, 2010).

Para la señalización dentro de las instalaciones se considera el código de colores de la NOM-026-STP-2008 (DOF, 2008a). Como se muestra en la [Tabla 7.12](#)

Tabla 7.12 Código de colores.

Letreros	Descripción
Verde	Salvamento y seguridad
Rojo	Peligro o restricción, extintores
Amarillo	Precaución
Azul	Obligación o información

Como el sitio temporal funcionará durante las 24 horas, se requiere que se tengan dispositivos de iluminación para una completa visibilidad, según la NOM-002-STPS-2010.

Además, de acuerdo con la NOM-002-STPS- 2010, existen cinco tipos de fuego ([Tabla 7.13](#)), así como los agentes extintores recomendados por clase de fuego ([Tabla 7.14](#)).

Tabla 7.13 Descripción de las clases de fuegos.

Clase de fuego	Descripción
Clase A	Es aquel que se presenta en material combustible sólido, generalmente de naturaleza orgánica, y que su combustión se realiza normalmente con formación de brasas
Clase B	Es aquel que se presenta en líquidos combustibles e inflamables y gases inflamables;
Clase C	Es aquel que involucra aparatos, equipos e instalaciones eléctricas energizadas
Clase D	Es aquel en el que intervienen metales combustibles, tales como el magnesio, titanio, circonio, sodio, litio y potasio
Clase K	Es aquel que se presenta básicamente en instalaciones de cocina, que involucra sustancias combustibles, tales como aceites y grasas vegetales o animales. Los fuegos clase K ocurren en los depósitos de grasa semi polimerizada, y su comportamiento es distinto a otros combustibles.

Tabla 7.14 Clase de fuegos y agentes extintores (NOM-002-STPS-2010).

Agente extintor	Fuego Clase A	Fuego Clase B	Fuego Clase C	Fuego Clase D	Fuego Clase K
Agua	Sí	No	No	No	No
Polvo Químico Seco, tipo ABC	Sí	Sí	Sí	No	No
Polvo Químico Seco, tipo BC	No	Sí	Sí	No	No
Bióxido de Carbono (CO2)	No	Sí	Sí	No	No

Agentes limpios	Sí	Sí	Sí	No	No
Espuma Mecánica	Sí	Sí	No	No	No
Agentes Especiales	No	No	No	Sí	No
Químico Húmedo	Sí	Sí	No	No	Sí

Por lo tanto, dada la cantidad y características de los residuos que se espera que lleguen al sitio temporal, de acuerdo a la NOM-002-STPS-2010, se cataloga al sitio como un centro de trabajo de alto riesgo de incendio, por lo que se propone tener la presencia de extintores cada 23 m de tipo A, C y D y cada 10 m los de tipo B y K en las respectivas áreas en donde se pudieran suscitar las diferentes clases de fuego.

Equipo de protección

La [Tabla 7.15](#) muestra el equipo de protección necesario para el personal que acceden al área de RBI, de acuerdo con la Norma Mexicana NOM-017-STPS-2008 "Selección, uso y gestión de equipos de protección personal en los lugares de trabajo" (DOF, 2008b).

Tabla 7.15 Equipo de protección personal requerido para el personal del área de RPBI.

Área anatómica	Equipo de protección	Observaciones
Cabeza	Capucha	Exposición a baja temperatura y / o partículas. Esta protección podría usarse debajo del casco si es necesario.
Ojos y cara	Gafas de protección	Riesgo de proyecciones de líquido o partículas.
Oídos	Ninguno	No aplica
Sistema respiratorio	Mascarilla desechable	Protección contra partículas y polvo.
Extremidades superiores	Guantes de látex desechables	Barrera física
Tronco	Bata	Bata de laboratorio o de hospital
Extremidades inferiores	Botas de plástico	Área de trabajo húmeda

7.4.8. Personal requerido

Para todas las actividades que involucran el almacenamiento y manejo de los residuos que se espera que lleguen al sitio temporal de separación, se propusieron diferentes puestos, cada uno con las características, conocimientos y habilidades que se esperan que tenga el personal, así como sus tareas a desarrollar ([Tabla 7.16](#)).

Tabla 7.16 Perfil del personal requerido.

Puesto	Tareas	Edad	Sexo	Escolaridad	Idiomas	Experiencia	Conocimientos	Habilidades
Operador montacargas	Transportar, cargar, subir o bajar de los racks a los contenedores que almacenan los residuos.	20 a 45	M	Preparatoria	Español	Manejo de montacargas	Manejo de montacargas, clasificación y almacenamiento de contenedores, medidas de seguridad y mecánica básicas en motores Diésel	Orden y organización, capacidad de trabajo bajo presión, sentido de responsabilidad, y buena comunicación con personas.
Operados celda almacenamiento	Auxiliar en el manejo y disposición de los residuos dentro de las diferentes células del sitio temporal. Separar los objetos en las células correspondientes según su clasificación. Acomodar, etiquetar, pesar, contar y registrar los residuos.	20 a 45	I	Preparatoria	Español	Indistinto	Destreza visual para la identificación y clasificación del residuo. Destrezas manuales para el movimiento y separación del residuo.	Proactivo, observador, responsable, capacidad de trabajo bajo presión y con buena comunicación con otras personas.
Encargado de las celdas de almacenamiento	Dirigir el pesaje, conteo y registro de entrada y salida de los residuos en la célula que le ha sido asignada. Controlar y organizar la célula de almacenaje.	30 a 45	I	Licenciatura	Español	Jefe de almacén o puestos similares	Supervisión de personal y administración de inventarios	Liderazgo, proactivo, observador, responsable, capacidad de trabajo bajo presión y con buena comunicación con otras personas
Recepcionista y despachador del sitio	Encargado de recibir y registrar los camiones a la entrada y salida	20 a 45	I	Preparatoria	Español	Indistinto	Captura y registro de información	Proactivo, observador, responsable, capacidad de trabajo bajo presión y con buena comunicación con otras personas.
Guardia de seguridad	La seguridad del sitio. Controlar el acceso de personas, vehículos y equipos a las instalaciones del sitio temporal. Revisar las áreas del sitio periódicamente y reportar las anomalías en las operaciones del sitio como recepción, clasificación, y salida de los residuos. Controlar el cumplimiento de normas y reglamentos en el sitio.	20 a 45	M	Preparatoria	Español	Guardia de seguridad o puestos similares	Vigilancia y control de personas	Buena condición física, responsable y con capacidad de trabajo bajo presión
Experto en restauración de arte	Revisar los residuos para detectar posibles obras de arte como pinturas, esculturas, libros u otro artículo con valor cultural que pudiera llegar al sitio	20 a 50	I	Licenciatura, maestría o doctorado	Español	Especialista en arte o restauración	Artísticos y técnicos para examinar y detectar obras de arte	Proactivo, observador, responsable y con capacidad de trabajo bajo presión

7.4.9. Recomendaciones para establecer un sitio temporal

Para establecer un sitio temporal, se requiere tomar en consideración varios factores que benefician el manejo y reciclaje de los residuos generados durante el sismo, por lo que a continuación se enlistan los pasos recomendados a seguir (California Government, 1997).

1. Determinar las necesidades del sitio en cuanto a infraestructura y capacidad.
2. Para el desarrollo, tomar en cuenta los criterios de proximidad entre las celdas de almacenamiento.
3. Desarrollar criterios para evaluar los posibles sitios para instalarlo, tomando en cuenta la extensión de terreno requerida, ubicación, lejanía con zona urbana, etc.
4. Revisar las normas y leyes sobre el manejo de los residuos.
5. Identificar permisos o acuerdos.
6. Realizar una revisión ambiental del sitio.
7. Preparar un plan de desarrollo y operación del sitio.
8. Preparar una inspección y manuales para la gestión del sitio.
9. Preparar un plan para la instalación del sitio.

7.5. Compañías mexicanas de procesamiento de residuos reciclables

Hay 596 compañías de procesamiento de residuos y centros de recolección de residuos registrados en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT (2010) y la Secretaría del Medio Ambiente de la Ciudad de México SEDEMA (2019), de los cuales 191 corresponden únicamente a la recolección de residuos. La [Tabla 7.17](#) muestra los resultados de las entrevistas realizadas para estimar si hay suficiente capacidad para recibir los residuos generados por el sismo de septiembre de 2017 y derivarlos en un proceso de reciclaje. Los pesos y volúmenes de los residuos fueron contabilizados de las [Tablas 7.1](#) , [7.2](#) (RD por sismo) y [7.5](#) (artículos domésticos).

Con respecto a los cadáveres de animales, los Centros Municipales de Rabia son los centros públicos autorizados para el manejo de animales que se envían a enterrar en pozos o rellenos sanitarios de acuerdo con NOM-042-SSA2-2006 (DOF, 2006).

Tabla 7.17 Resultado de análisis de recicladoras mexicanas.

Residuos por sismo	Cantidad Peso (ton)	Resultados de la entrevista				Capacidad de recepción de las compañías recicladoras ^e
		Total de recicladoras	Muestra	No respondieron	Respondieron	
Línea blanca de gran volumen y artículos eléctricos	20 905 ^a	94	42 (45%)	31	11	1100%
Residuos orgánicos y	1 220 ^b	8	8 (100%)	2	6	600%

biodegradables						
Refrigeradores (122 unidades)	7 381 ^d	6	6 (100%)	3	3	300%
RD por sismo	364 600	1	1 (100%)	0	1	100% ^f
Metales (0.8% de RD por sismo)	2 917 ^c	296	286 (97%)	227	59	5900%
Metales (Metal estructural)	6 291 ^g	296	286 (97%)	227	59	5900%

^a Plancha, licuadora, horno de microondas, televisor o pantalla de visualización, impresora, computadora de escritorio, computadora portátil, estufa, lavadora.

^b 10 kg por refrigerador (cantidad asumida arbitrariamente)

^c Metales procedentes de RD por sismo y metal estructural estimado.

^d Un refrigerador por vivienda.

^e Las empresas de reciclaje fueron capaces de recibir el total de residuos del sismo.

^f La planta de concreto reciclado tiene una capacidad de proceso de 2,000 toneladas por día (Concretos Reciclados, 2019).

^g Metales procedentes de la estimación de metal estructural.

Por su parte, Karunasena *et al.* (2009) desarrollaron un análisis de residuos basado en el tsunami de Asia en 2004, considerando el caso de Sri Lanka. El análisis concluyó que los residuos de la construcción no fueron recuperados ni reusados en valores óptimos en Sri Lanka. La mayoría de los materiales reutilizables y reciclables colocaron en rellenos sanitarios, debido a un conocimiento insuficiente sobre el reciclaje y a la falta de capacidad en el país. Karunasena *et al.* (2009) señalan que es casi imposible tener una industria de manejo de residuos por desastre específica. Por otra parte, (Domingo and Luo, 2017) estudiaron la gestión de residuos de construcción y demolición después del sismo de Canterbury e identificaron una capacidad insuficiente para el procesamiento de residuos. Contrario a esto, la [Tabla 7.17](#) ilustra que las compañías de reciclaje tienen la capacidad de recibir y procesar más del 100% de cada categoría de residuos generados en la Ciudad de México por el sismo de septiembre de 2017; en lo que respecta a línea blanca, residuos orgánicos y biodegradables, refrigeradores, RD por sismo y metales principalmente. Las 59 recicladoras de metales que respondieron a la entrevista (20% del total) indicaron que cada uno de ellos podría recibir y procesar fácilmente la cantidad total generada (9 208 ton). Esto representa una capacidad de recepción 59 veces mayor que los residuos generados. Finalmente, los residuos metálicos son enviados a empresas de fundición de metales en China. Sin embargo, no hay información de materiales ni cantidades que realmente se mandan a un proceso de reciclaje.

Por otro lado, la Agencia de Gestión Urbana AGU, reportó que todo el metal proveniente del concreto armado fue regresado a los dueños, después de los trabajos de demolición (AGU, 2018) y los escombros fueron enviados a vertederos autorizados controlados y no controlados llamados "tiros". En términos de RD, de acuerdo con el CEO de la empresa "Concretos Reciclados" cuenta con una capacidad para procesar 2 000 ton al día de residuos de la construcción y demolición, y menciona que podrían ampliar las operaciones si recibieran por encima de su capacidad, sin embargo, la empresa recibe menos de 600 toneladas diarias (8.57% del total de ciudad) y a pesar de la infraestructura establecida la empresa no había recibido ningún residuo de la demolición de edificios colapsados o demolidos cinco meses después del sismo de septiembre de 2017, porque no se había tomado ninguna medida para separar los residuos mixtos (Enrique Granell, comunicación personal, 5 de febrero de 2018).

Es de destacar que Al-Zahraa et al. (2010); Hoffmann *et al.* (2012); Wagih *et al.* (2013), estudiaron el rendimiento mecánico de los áridos gruesos de hormigón reciclado (RCA) y destacaron la posibilidad de utilizar áridos reciclados para producir hormigón estructural; a ese respecto, se cree comúnmente que los RCA tiene una alta porosidad y una alta absorción de agua, en comparación con el concreto hecho con agregado natural (NSA) (Hasan *et al.*, 2019), sin embargo, según Shayan and Xu (2003) puede usarse para producir concreto estructural de alta resistencia (50 MPa) con propiedades de durabilidad. En este contexto, Hasan *et al.* (2019) investigaron la viabilidad del uso de materiales reciclados en concreto enfocándose en el mecanismo de fractura de las muestras. Llegaron a la conclusión de que las resistencias a la compresión, a la flexión y a la división del concreto hecho de agregado de piedra de concreto reciclado (RSA) fueron mayores que las del agregado de ladrillo reciclado (RBS). Se ha observado una falla en el agregado que no es aceptable para concreto de buena calidad en concreto RBA. Por lo tanto, el uso de RBA con NSA no es apropiado para producir concreto de buena calidad, pero puede reemplazarse efectivamente el agregado de piedra natural con hasta 30% de RSA.

Sin embargo, el principal problema radica en motivar a las compañías de la construcción para que usen este material en edificios nuevos, en lugar de solo enviar RD por sismo a instalaciones de reciclaje. De hecho, el CEO menciona que las compañías de la construcción no usan material reciclable en ninguna parte de sus sitios de construcción. En otras palabras, esta empresa acumula el 95% del material reciclado debido a conflictos en la legislación existente y la falta de un plan de manejo de residuos, elaborado antes del desastre. De acuerdo con la Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2013, este residuo presenta una generación diaria en el país de 16 724 toneladas, solo en la Ciudad de México la generación diaria es de 7 000 toneladas de residuos de la construcción y demolición (GODF, 2015), de los cuales, según la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), 49% corresponde a escombros, 39% a excavaciones (de la construcción de nuevos edificios) y 12% a otros (CMIC, 2014). Por lo tanto, 3 430 toneladas por día de escombros y concreto son susceptibles de ser procesadas para su valorización.

Los automóviles y las motocicletas no se enumeran en la [Tabla 7.17](#), debido a las complejidades en su estimación, sin embargo, se realizaron entrevistas con dos empresas de reciclaje de automóviles, quienes indicaron que podían recibir hasta 500 unidades para desmantelamiento por mes y entregar los metales derivados y plásticos a otros centros de reciclaje, mientras que los neumáticos, textiles y líquidos de los vehículos se envían a los vertederos.

7.6. Propiedad Personal

Según JSMCWM (2012), es deseable permitir la posibilidad de que las personas recuperen bienes personales con valor sentimental, como álbumes de fotos, pero en este estudio se propone incluir carteras, joyería, teléfonos celulares, computadoras portátiles, documentos de identidad, documentos personales, pinturas, esculturas de metal y piedra, lentes y libros ([Tabla 7.6](#)). Las fases de manejo son las siguientes:

- a) Los equipos de voluntarios (2 o 3 personas), en comunicación con las autoridades, deben reunir los bienes personales en las oficinas del gobierno local o del municipio, teniendo el cuidado de no dañarlos.
- b) Los artículos deben registrarse en una base de datos que incluya una fotografía del objeto, la dirección donde fue encontrado y la dirección en donde están resguardados.
- c) Los propietarios tendrán la oportunidad de recuperar sus bienes personales, informando previamente las características.
- d) Finalmente, cuando se entrega el objeto, se debe registrar el nombre y la identificación del propietario.

7.7. Gestión externa de residuos peligrosos, biológico-infecciosos y residuos contaminados autorizados por el gobierno.

Los residuos peligrosos, residuos biológico-infecciosos y residuos contaminados deben de tener un manejo externo autorizado por el gobierno, estos residuos que se manejan en el sitio temporal deben ser procesados por compañías autorizadas por la SEMARNAT antes de enviarlos a su disposición final (confinamiento, relleno sanitario, tratamiento o incineración), de acuerdo con las regulaciones pertinentes.

Los residuos peligrosos y los residuos contaminados deben identificarse claramente y empacarse en contenedores seguros para evitar cualquier tipo de derrame. Cada envío de residuos peligrosos no debe exceder un peso neto de 200 kg, en el caso de los RBI deben ser colectados cada quince días, de acuerdo con la legislación pertinente.

7.8. Marco legal y decisiones regulatorias en condiciones post-sismo

Esta investigación se basa en un análisis de los aspectos de política pública del manejo de residuos por desastre en México, desde una perspectiva federal y local, con un enfoque específico en la Ciudad de México. Así como la revisión de las estrategias de manejo de residuo por desastre generales, incluidas las desarrolladas por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP- OCHOA, 2011); la Agencia de Protección Ambiental (US EPA, 2008) y California Government (1997).

Según la Oficina de Coordinación de Asuntos Humanitarios de las Naciones Unidas, la eliminación y la gestión segura de los residuos por desastres, incluidos los residuos por sismo, es una parte importante de la respuesta y recuperación de los eventos de desastre (UNEP- OCHOA, 2011). La [Tabla 7.18](#) muestra las guías y planes de manejo de escombros donde diferentes organizaciones prestaron las opciones de manejo de residuos por desastres. En particular la guía PAHO (2003) fue desarrollada específicamente para América Latina y el Caribe.

Tabla 7.18 Guías para la gestión de residuos por desastre (elaboración propia).

Nombre de la guía	Cita	Autor	Tipo de residuos
Guidelines for Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after Emergencies	WHO (1999)	World Health Organization	Residuos en general
Handbook for Emergencies. United Nations High Commissioner for Refugees	UNHCR (2000)	The UN Refugee Agency	Residuos en general
Solid waste management in disaster situations	PAHO (2003)	Pan American Health Organization	Clasificación de residuos por desastre de acuerdo a diferentes desastres
Solid Waste Management in Emergencies	WHO (2005)	World Health Organization	Residuos en general
Initial clearing of debris and solid waste	JEU (2006)	Joint Environmental Unit	Residuos en general
Public Assistance Debris Management Guide	US FEMA (2007)	The Federal Emergency Management Agency's (FEMA)	Residuos por desastre en términos generales
OXFAM's Technical Brief.	(OXFAM, 2008a, 2008b, 2008c, 2008d)	OXFAM international	Residuos de albergues y residuos domésticos, residuos generados por el hombre y otros residuos de desastres, en el contexto de la asistencia a los países en desarrollo.
Planning for Natural Disaster Debris	US EPA (2008)	Environmental Protection Agency	Residuos por desastre en términos generales
Disaster Waste Management	UNEP-OCHOA (2011)	The United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs, Environmental Emergencies Section	Residuos por desastre en términos generales
Technical Notes on Drinking-Water, Sanitation and Hygiene in Emergencies	WHO (2011)	World Health Organization	Residuos sólidos por desastre y excreta en términos de asistencia para países en desarrollo
Strategies for Separation and Treatment of Disaster Waste	JSMCWM (2012)	Japan Society of Material Cycles and Waste Management (JSMCWM)	Clasificación de residuos por desastre de acuerdo a diferentes desastres

Si bien existen pautas para la gestión de residuos de desastres a nivel internacional, los países en desarrollo deben adaptarlas a su propio contexto (Asari *et al.*, 2013). De hecho, la mayoría de las normas no abordan los componentes institucionales que influyen en la efectividad de un sistema de manejo de residuos por desastres, como las consideraciones legislativas específicas de cada país (Brown *et al.*, 2011). Además, Asari *et al.* (2013) concluyeron que es necesario identificar desastres específicos con alto riesgo, las opciones de respuesta de gestión de residuos y cuáles son prioridades. Debido al hecho de que México es propenso a la actividad sísmica (Pérez- Campos, 2017), en este país se debe priorizar la gestión de residuos de desastres específicos para los sismos.

La Norma Ambiental NADF-007-RNAT-2013 establece las especificaciones de clasificación y gestión para residuos de la construcción y demolición en la Ciudad de México (GODF, 2015); sin embargo, no existe un estándar único que se refiera a los residuos generados por el desastre. Mientras que algunos residuos representan un riesgo potencial para la salud y el medio ambiente en situaciones normales; esto podría exacerbarse después de los sismos, cuando los volúmenes de residuos y la complejidad de la separación aumentan significativamente (Brown *et al.*, 2011).

Además, el Gobierno Federal desarrolló el Programa Nacional para la Prevención y Gestión Integral de Residuos 2009–2012 ([Fig. 7.30](#)), el cual se refiere a la gestión de residuos durante situaciones de riesgo y desastre. Dicho programa apunta que se deben preparar procedimientos generales, directorios e información necesaria para enfrentarse con la generación de residuos extraordinaria en situaciones de riesgo de desastre con eficiencia y efectividad, para preparar y comunicar adecuadamente a la población. Sin embargo, esta propuesta fue parte de una política emergente y reactiva en vez de ser preventiva y propiamente planeada para integrar una propuesta técnica, de hecho, en la Ciudad de México, Protección Civil es quien contrata agencias privadas para la remoción de residuos en las primeras dos fases (prevención y preparación), pero el gobierno local lidera la última fase de recuperación.

Asimismo, los residuos de sismo incluyen las clasificaciones diversas definidas en la LGPGIR, residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y peligrosos. En razón de ello, es necesario desarrollar un programa de manejo que incluya la articulación de ambos tanto de la federación como de la CDMX, pues la gestión de aquéllos recae en las facultades de estos últimos órdenes de gobierno, como se puede observar en la [Fig. 7.30](#), ello facilitaría el manejo integral de este tipo de residuos.

Además de todo esto, a fin de evitar los impactos relevantes en los riesgos a la salud, así como los efectos en suelo y agua, los gobiernos locales también deben de desarrollar planes de manejo de residuos por desastre que lleven a una apropiada disposición de ellos, así como lo recomienda Kawamoto and Kim (2019).

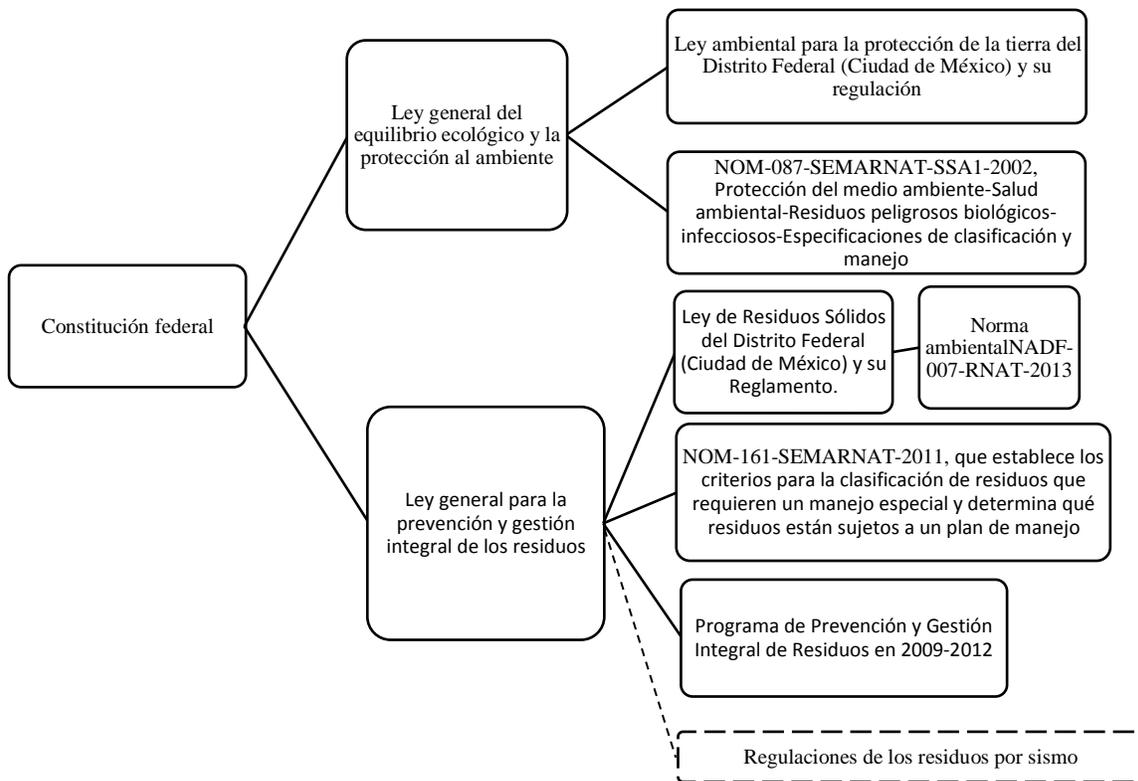


Fig. 7.30 Marco legal mexicano para la gestión integral de residuos de manejo especial.

Entonces es posible notar que, al momento de este estudio, ni el Gobierno Federal ni el Gobierno de la Ciudad de México tienen una estrategia articulada para la gestión sostenible de los residuos por sismo, como Chávez and Bojórquez (2018) refieren, esta situación remarca la necesidad de fortalecer las capacidades institucionales en términos de regulación y política pública para integrar un programa de manejo de residuos por desastre.

De hecho, 10 días después del sismo de septiembre de 2017, la SEMARNAT emitió, de manera reactiva y emergente, criterios para la gestión de residuos de la construcción y demolición (SEMARNAT, 2017) (de hecho, no se refiere a los tipos de residuos de desastres propuesto en las directrices internacionales). En consecuencia, de acuerdo con el Director de Análisis y Gestión de Riesgos del Centro Mexicano de Prevención de Desastres (CENAPRED), los residuos después del sismo fueron retirados de las áreas de desastre, pero no fueron procesados para su reciclaje, apenas algunos fueron eliminados en rellenos sanitarios, y otros fueron abandonados en vertederos incontrolados lejos de la ciudad.

Estas observaciones, junto con la revisión de las compañías mexicanas de procesamiento de residuos reciclables, muestran que es esencial contar con una estrategia sostenible de residuos por sismo en lugar de llevar a cabo la recolección y transporte de residuos reactivos desde el sitio del desastre a vertederos. La estrategia debería establecer una política pública para utilizar un porcentaje de residuos reciclados por la industria de la construcción. Del mismo modo, las

autoridades locales deberían establecer y operar sitios de recolección temporales donde se puedan separar los residuos del desastre, para facilitar la entrega a las compañías de reciclaje y descargar los vertederos.

7.9. Propuesta de diagrama de flujo para la gestión de residuos por sismo en la Ciudad de México

Finalmente, con base en los hallazgos de este estudio, en la [Fig. 7.31](#) se presenta la propuesta de un diagrama de flujo para el manejo de residuos por sismo.

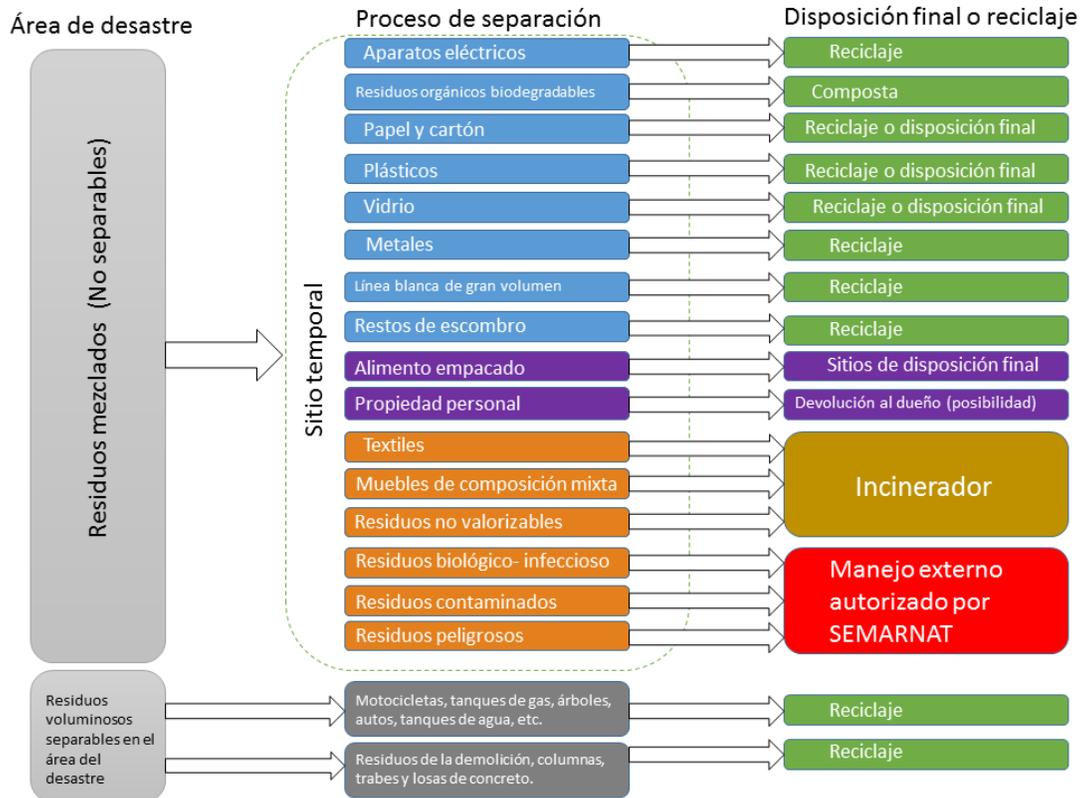


Fig.7.31 Diagrama de flujo propuesto para el manejo de los residuos en la Ciudad de México.

El diagrama de flujo tiene tres columnas ([Fig. 7.31](#)). La primera columna indica la separación de residuos en el lugar del desastre. La separación distingue los residuos mezclados no separables, que se envían al sitio de procesamiento de residuos temporal; y residuos voluminosos que sí pueden ser separados.

La segunda columna indica, dentro del cuadrado punteado, el sitio temporal donde se realiza la separación de residuos y las clasificaciones de las celdas de almacenamiento. Fuera de la casilla discontinua están las categorías de residuos voluminosos, como vehículos, losas, tanques de agua, cilindros que contienen gas comprimido, árboles, etc. Se sugiere que estos objetos se envíen a las

compañías de reciclaje directamente desde el lugar del desastre, debido a su difícil manejo y además de que no tendría sentido planear un transporte doble de estos artículos que no serán procesados en el sitio temporal de residuos.

La última columna indica el destino de cada tipo de residuo, es decir, reciclaje, incineración, almacenamiento, relleno sanitario o gestión externa autorizada por la SEMARNAT hablando en particular de los residuos peligrosos. Esta columna también incluye la posibilidad de que las personas puedan recuperar objetos personales de valor. Los autores consideramos que una base de datos y la construcción de una fuente de información adecuadas para el manejo de residuos a través de un diagrama de flujo como (Brown and Milke, 2016) menciona, es necesaria pero está lejos de los objetivos de este proyecto, por lo que se sugiere una futura investigación.

8. Conclusiones

Se desarrolló una propuesta técnica de gestión de residuos por sismo, en el contexto particular de la Ciudad de México, tomando en cuenta guías internacionales, así como los problemas y desafíos descritos por otros estudios.

Además, el estudio desarrolló una estimación de residuos de la demolición, artículos domésticos y restos de animales, provenientes de edificios colapsados y programados para su demolición. En cuanto a residuos de la demolición, resultó en una cantidad en peso que solo varió en 5.92% a la reportada por la Agencia de Gestión Urbana (AGU) que fue la encargada de la remoción de escombros después del sismo.

Se presentó una propuesta de sitio temporal de separación de residuos, así como consideraciones de seguridad y generales con respecto a su funcionamiento, donde se sugiere que la administración de la propiedad personal se administre en cuatro fases, para permitir la posibilidad de que las personas recuperen objetos personales de valor. El sitio temporal tiene el objetivo de reducir el tiempo de gestión de los residuos hasta su disposición final y por lo tanto, permite controlar las enfermedades transmitidas por el crecimiento de vectores que transportan enfermedades infecciosas después del sismo. El manejo de los residuos biológico-infecciosos en el sitio temporal podría permitir una disposición apropiada, para reducir el riesgo a la población y al ambiente.

Se revisó la capacidad instalada para la gestión de residuos por sismo, en base a lo anterior, es posible concluir que las empresas de procesamiento de residuos reciclables en México enfocadas en productos de línea blanca, residuos orgánicos y biodegradables, escombros y metales tienen una capacidad de recepción y procesamiento superior al 100% de los residuos estimados a raíz del sismo.

Del análisis del marco legal actual en México, se notó una escasa regulación en la gestión de residuos por sismo, tampoco se cuenta con un plan de reúso de residuos de la demolición que motive a las compañías para que hagan uso de materiales reciclados en nuevas construcciones, aunque hay algunas regulaciones que pueden ser aplicadas tangencialmente para su manejo, lo cierto es que la gestión integral y sostenible de este tipo de residuos, así como la promoción de su reutilización y, cuando corresponda, el reciclaje es una tarea pendiente para el gobierno mexicano y, por lo tanto, para la Ciudad de México, que debe abordarse con el uso de política pública participativa.

La gestión efectiva de los residuos por sismo es un componente crítico de las acciones de respuesta después de un evento sísmico, por lo tanto, es esencial que exista una estrategia sostenible de manejo de residuos post desastre a nivel del gobierno nacional y regional, en vez de enfocar los esfuerzos solamente en una recolección de residuos del sitio de desastre.

Finalmente, aunque otras ciudades y municipios se ven afectados por los sismos, el análisis de estas regiones va más allá de los objetivos de este trabajo. Los autores recomiendan futuras investigaciones para abordar las diversas necesidades de otros municipios afectados por sismos en México.

9. Anexos

ANEXO 1: Consideraciones adicionales para la identificación y reciclaje de residuos valorizables

Papel y cartón

Para poder llevar a cabo el reciclaje de estos materiales, la NADF-024-AMBT- 2013 establece que los diversos residuos de papel y cartón deberán estar secos y limpios; para evitar la mezcla con restos de comida, servilletas y papel sanitario. Así también, es necesario retirar todos los objetos ajenos al papel y cartón como son; las grapas, cinta, broches o clips, entre otros.

Se enlistan a continuación los artículos pertenecientes a esta categoría, según la NADF-024-AMBT-2013:

- Cajas y empaques de cartón y corrugados
- Periódicos
- Folders
- Papel bond Papel para embalaje
- Revistas, papel de propaganda y publicidad
- Envases multicapas
- Cuadernos o libretas
- Cartulinas
- Papel kraft
- Libros
- Directorios
- Tarjetas de cartón

Con la finalidad de privilegiar un tratamiento adecuado deberán de entregarse de manera separada los residuos enlistados anteriormente de acuerdo a la siguiente clasificación:

- Archivo blanco
- Mixto: que incluye colores pasteles y libros, éstos últimos deberán ser separados, quitando la pasta y la goma.
- Revistas
- Periódico
- Envases Multicapas: Estos envases son, generalmente utilizados para leche, jugos y otros productos alimenticios, reciben este nombre por estar formados por 6 capas de materiales: polietileno, aluminio, polietileno, cartón y dos capas más de polietileno (SEMARNAT, 2010).

Plástico. El plástico tiene diferente valor en función de sus características y propiedades por lo para atender a las especificaciones establecidas para su entrega en los centros de reciclaje se llevarán a cabo las siguientes subclasificaciones.

Tereftalato de Polietileno (PET). Son objetos fabricados con PET, tales como botellas de refrescos, agua y bandejas.

Cloruro de polivinilo (PVC). Incluye; tuberías, estructura de ventanas y puertas, componentes de electrodomésticos, tales como, goma junta cierra puerta de refrigeradores, lavadoras, cables y topes de televisión.

Polietileno de alta densidad (PEAD). Incluye: garrafones, envases, cajas, tapones, tapas, cubetas, envases de productos de limpieza de hogar, botellas de champú, detergente, cloro, envases de leche, zumos, yogur, agua y bolsas de basura y de supermercado.

Polipropileno (PP). Presente en bandejas, toppers, tapas, algunos contenedores de cocina, etc.

Polietileno de baja densidad (PEBD). Incluye bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver, etc.

Poliestireno (PS). Presente en tazas desechables de bebidas calientes, bandejas de carne y bandejas de refrigerador.

Policarbonato (PC). Principalmente incluye discos compactos, dado que, algunos centros de reciclaje únicamente reciben estos artículos.

Vidrio. Los residuos de vidrio tales como, vasos, platos, cristalería y envases vacíos de alimento y bebidas deberán estar libres de fisuras y sin daño parcial o total.

Metales. Las categorías de los metales tienen diferente valor, por lo que se puede realizar diversas subclasificaciones, con el fin de aumentar la valorización de cada uno de los residuos atendiendo al mercado que exista para dichos residuos (NADF-024-AMBT- 2013.)

- Metal ferroso. Incluye fierro, acero, hierro fundido, acero inoxidable. Algunos ejemplos son: estantería, sillas, mesas, cuchillos, cucharas, tenedores, ollas, sartenes, tubería, perfiles etc.
- Metal no ferroso. Incluye Cobre, Aluminio, Estaño, Plomo, Zinc, Níquel, Cromo, Titanio, Magnesio, Latón, Bronce, Antimonio, Plata, Oro, y Platino. Algunos ejemplos son: cables eléctricos, chapas, latas de bebida, papel aluminio, partes de equipos eléctricos y electrónicos, etc.

ANEXO 2: Guía sobre entrevista realizada a compañías de reciclaje registradas por la SEMARNAT y la SEDEMA

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

1. Los residuos del sismo se encuentran mezclados en un almacén en la CDMX.
2. Materiales de recepción: ¿Qué materiales reciben? ¿En qué condiciones reciben los materiales?
3. Capacidad de recepción: ¿Qué capacidad de recepción tienen? ¿Cada cuánto tiempo pueden recibir materiales?
4. Transporte: ¿Cuentan con transporte? Por la distancia, ¿es por nuestra parte?
5. Disposición final: ¿Qué hacen con los materiales? ¿Se reciclan o se comercian?

ANEXO 3. Variables discretas y continuas

De acuerdo con Hines and Montgomery (1996) la medida de la variable aleatoria, varianza y desviación estándar se definen a continuación:

Medida de la variable aleatoria. Es el primer momento alrededor del orden, denotado por la letra griega μ , donde:

$$\mu = \sum_i x_i p_x(x_i) \text{ para } X \text{ discreta}$$

$$\mu = \int_{-x}^x x f_x(x) dx \text{ para } X \text{ continua}$$

Esta medida brinda una indicación de la tendencia central de una variable aleatoria

Varianza. Es la medida que describe la diseminación o dispersión de la probabilidad asociada con los elementos R_x , denotada con la letra griega σ^2 , donde

$$\sigma^2 = \sum_i (x_i - \mu)^2 p_x(x_i) \text{ para } X \text{ discreta}$$

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 f_x(x) dx \text{ para } X \text{ continua}$$

Desviación estándar. Es la raíz cuadra de la varianza y se denota por medio de σ , donde

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}$$

En dónde un valor pequeño de σ indica poca dispersión, mientras que un valor grande indica una dispersión más grande.

10. Referencias

AGU (2018) *Reporte de los planes de demolición, recolección y disposición final generados por el sismo de 2017 en la Ciudad de México*.

Al-Zahraa, F. I., El-Mihilmy, M. T. and Bahaa, T. M. (2010) 'Flexural strength of concrete beams with recycled concrete aggregates', *Journal of Engineering and Applied Science*, 57(5), pp. 355–375.

Alproshop (2019) *Catálogo de contenedores*. Available at: <https://alproshop.com/manejo-de-residuos/>.

Anglés, M., Rovalo, M. (2019) 'The Oxford Handbook of Comparative Environmental Law', in Lee, E., Viñuales, J. E. (ed.). United Kingdom: Oxford University Press.

Asari, M. *et al.* (2013) 'Strategy for separation and treatment of disaster waste: A manual for earthquake and tsunami disaster waste management in Japan', *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 15(3), pp. 290–299. doi: 10.1007/s10163-013-0154-5.

Bautista, A. (2017) *Afectación al suministro de agua de las redes de tuberías de distribución ante un sismo*. UNAM. Available at: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/12429>.

Baycan, F. (2004) 'Emergency Planning for Disaster Waste', 90(312).

Benouar, D. (2009) 'Integrated disaster management of the Algiers-Boumerdes (Algeria) Earthquake of 21 May 2003', in USTHB Department of Civil Engineering (ed.) *IDRC International Disaster and Risk Conference*. Available at: https://idrc.info/fileadmin/user_upload/idrc/former_conferences/idrc2009/presentations/Benouar_Djilali_IDRC_Chengdu_2009.pdf.

Blight, G. (2011) 'Yesterday, Today and Tomorrow', in *Waste: A Handbook for Management*. Lanfills. doi: 10.1016/B978-0-12-381475-3.10030-0.

Boonmee, C., Arimura, M. and Asada, T. (2018) 'Location and allocation optimization for integrated decisions on post-disaster waste supply chain management: On-site and off-site separation for recyclable materials', *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Elsevier Ltd, 31(March), pp. 902–917. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.07.003.

Brown, C. (2012) *Disaster waste management: New Zealand experiences and future planning*, *Reporte University of Canterbury*. Available at: https://www.eqc.govt.nz/sites/public_files/1794-disaster-waste-management.pdf.

Brown, C. and Milke, M. (2016) 'Recycling disaster waste: Feasibility, method and effectiveness', *Resources, Conservation and Recycling*, 106, pp. 21–32. doi: 10.1016/j.resconrec.2015.10.021.

Brown, C., Milke, M. and Seville, E. (2011) 'Disaster waste management: A review article', *Waste Management*, 31(6), pp. 1085–1098. doi: 10.1016/j.wasman.2011.01.027.

California Government (1997) *Integrated Waste Management Disaster Plan: Guidance for local government on disaster debris management*. Available at: <https://www.calrecycle.ca.gov/Disaster/DisasterPlan/Attachments/>.

Chávez, R. and Bojórquez, E. (2018) 'Seismic hazard maps based on the intensity measure I Np', *KSCE Journal Civil Engginer*, 22, pp. 247–256. doi: <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1371-6>.

CMIC (2014) *Plan de manejo de residuos de la construcción y la demolición*. Available at: <https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/Flayer/PM RCD Completo.pdf>.

Comisión para la reconstrucción, recuperación y transformación de la ciudad de México, en una C. cada vez más resiliente. (2018) *Sexto informe de gobierno*. CDMX. Available at: <http://gaceta.diputados.gob.mx/Gaceta/64/2018/nov/CDMX-20181122.pdf>.

Comisión para la reconstrucción (2019) *Lista de compañías para la rehabilitación y reconstrucción en la CDMX*. Available at: <https://www.plataforma.cdmx.gob.mx/> (Accessed: 15 May 2019).

Concretos Reciclados (2019) *Proceso e instalaciones*. Available at: <http://www.concretosreciclados.com.mx/es/proceso.php> (Accessed: 15 May 2019).

CRED (2019) *EM-DAT, the international Disasters Database, Brussels, Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*. Available at: <https://goo.gl/VHRSfA>. (Accessed: 7 May 2019).

DOF (1988) *Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)*. Diario Oficial de la Federación (in Spanish). México.

DOF (1993a) *NOM-053-SEMARNAT-1993 Que establece el procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente*. Diario Oficial de la Federación Mexicana.

DOF (1993b) *NOM-054-SEMARNAT-1993 Que establece el procedimiento para determinar la incompatibilidad entre dos o más residuos considerados como peligrosos por la norma oficial mexicana nom-052-ecol-1993*. Diario Oficial de la Federación Mexicana.

DOF (2002) *NOM-087- SEMARNAT-SSA1-2002. Protección ambiental-salud, ambiental-residuos peligrosos biológico-infecciosos-clasificación y especificaciones de manejo*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2003) *Ley general para la prevención y gestión integral de residuos. (LGPGIR)*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2005) *NOM-052-SEMARNAT-2005. Que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos*. Diario oficial de la Federación.

DOF (2006) *Prevención y control de enfermedades. Especificaciones sanitarias para los centros de prevención y control de zoonosis relativa a perros y gatos*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2008a) *NOM-026-STPS-2008. Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2008b) *NOM-017-STPS-2008. Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2010) *NOM-002-STPS-2010, Condiciones de seguridad-Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2013a) *NMX-B-457-CANACERO-2013. Que establece las especificaciones y los métodos de prueba para la varilla corrugada de acero de baja aleación en los grados 42 y 56, producida a partir de palanquilla*. Diario Oficial de la Federación. México.

DOF (2013b) *NOM- 161- SEMARNAT- 2011. Que 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...* Diario Oficial de la Federación. México.

Domingo, N. and Luo, H. (2017) 'Canterbury earthquake construction and demolition waste

- management: issues and improvement suggestions', *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22(March), pp. 130–138. doi: 10.1016/j.ijdr.2017.03.003.
- Dugar, N., Karajit, S., Khatiwada, N., Sharya, S., Guimire, A. (2017) 'Post disaster waste management: lessons learnt from 2015 Nepal earthquake', *Global waste management*, pp. 465–483. doi: https://doi.org/10.1007/978-981-13-7071-7_41.
- Eerland, D. W. (1995) 'Experience with the construction and demolition waste recycling in the Netherlands – Its application to earthquake waste recycling in Kobe', in International Symposium on earthquake waste (ed.) *IETC*. Osaka/Shiga UNAP, Japan.
- Faleschini, F. *et al.* (2017) 'Demolition Waste Management After Recent Italian Earthquake', *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 24(October), pp. 178–184.
- FEMA (2009). *Defining Disaster*. PowerPoint Presentation.
- GODF (2015) *NADF- 007- RNAT- 2013. Que establece la clasificación y especificaciones de manejo para residuos de la construcción y demolición, en la CDMX*. Available at: https://www.cmic.org.mx/comisiones/Sectoriales/medioambiente/PROY-NADF-007-RNAT-2013/Gaceta_DF_NADF-007-RNAT-2013.pdf.
- Google (2019) *Google Earth*. Available at: <https://www.google.com/intl/es-419/earth/> (Accessed: 13 November 2019).
- GRID (2018) *Global Report on internal displacement, May 2018. Geneve: internal Displacement Monitoring Centre- Norwegian Refugee Council*. Available at: <http://www.internal-displacement.org/global-report/grid2018/>.
- Groover, M. P. (2007) *Work Systems: The Methods, Measurement & Management of Work*. Prentice Hall.
- Hasan, A., Kibria, M. G. and Mahmud Hasan, F. M. (2019) 'Effects of incorporating recycled brick and stone aggregate as replacement of natural stone aggregate in concrete', *International Journal of Engineering and Technology Innovation*, 9(1), pp. 38–48.
- Hernández, J. (2017a) *Entrevistado por Alejandro Domínguez. Por terremoto, hay 998 mil hogares y negocios sin energía eléctrica: CFE para Milenio, 16 de febrero de 2018*.
- Hernández, J. (2017b) *Entrevistado por Pascal Beltrán. Informe de la CFE sobre la restauración del servicio [Transmisión televisiva]. Ciudad de México: Excélsior TV, 19 de septiembre de 2017*.
- Hines, W. W. and Montgomery, D. C. (1996) *Probabilidad y estadística para ingeniería y administración*. Segunda ed. Edited by S. A. de C. . M. Compañía Editorial Continental.
- Hoffmann, C. *et al.* (2012) 'Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: Influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material', *Construction and Building Materials*, 35(June), pp. 701–709. doi: 10.1016/j.conbuildmat.2011.10.007.
- Hyster (2019) *Montacargas eléctrico*. Available at: <https://www.hyster.com/latin-america/es-mx/rango-de-productos/montacargas-electricos-de-4-ruedas/e2.2-3.5xn/>.
- INEGI (2014) *Bienestar Subjetivo en México. Módulo BIARE Ampliado*. Available at: <https://www.inegi.org.mx/investigacion/bienestar/ampliado/default.html> (Accessed: 21 October 2019).
- INEGI (2016) *National Household Income and Expenditure Survey (in Spanish): INEGI*. Available at: <https://www.inegi.org.mx/programas/enigh/nc/2016/> (Accessed: 15 May 2019).

INEGI (2018) *Mapa digital de México*. Available at: <http://gaia.inegi.org.mx/mdm6/?v=bGF0OjZLjMyMDA4LGxvbjotMTAxLjUwMDAwLHo6MSxsOmMxMTFzZXJ2aWNpb3N8dGMxMTFzZXJ2aWNpb3M=> (Accessed: 13 November 2019).

intecoAstur (2019) *Contenedores residuos RP*. Available at: <http://www.intecoastur.com/productos/>.

International (2019) *Catálogo camiones*. Available at: <https://mexico.internationaltrucks.com/camiones>.

ISC (2018) *Censo de propiedades afectadas. Ciudad de México. Instituto para la Seguridad de las Construcciones en la Ciudad de México*. Available at: <https://www.plataforma.cdmx.gob.mx/storage/app/archivos/paginaid-5/catid-147/135debd4837026bf06c7bfc5d1e0c6a31611af1d.pdf> (Accessed: 15 May 2019).

JEU (2006) 'Initial clearing of debris and solid waste', in *Joint UNEP/OCHA Environment Unit*.

JSMCWM (2012) 'Strategy of separation and treatment of disaster waste. Focusing on the Great East Japan Earthquake', in *Japan Society of Material Cycles and Waste Management*. Kyoto.: EPRC.

Karunasena, G., Amaratunga, D., Haigh, R., Lill, I. (2009) 'Post disaster waste management strategies in developing countries: Case of Sri Lanka', *International Journal of Strategic Management*, 13, pp. 171–190. doi: <http://dx.doi.org/10.3846/1648-715X.2009.13.171-190>.

Kawamoto, K. and Kim, K. (2019) 'Efficiencies of bonding, bridging and linking social capital: Cleaning up after disasters in Japan', *International Journal of Disaster Risk Reduction*. Elsevier Ltd, 33(September 2018), pp. 64–73. doi: 10.1016/j.ijdr.2018.09.010.

Kuramoto, N. (1995) 'The actual state of damage and measures undertaken in Hyogo prefecture', in *International Symposium on earthquake waste (ed.) IETC*. Osaka/Shiga UNAP, Japan.

Lauritzen, E. K. (1995) 'Solving disaster waste problems', in *International Symposium on earthquake waste (ed.) IETC*. Osaka/Shiga UNAP, Japan.

Lauritzen, E. K. (1998) 'Emergency construction waste management', *Safety Science*, 30(1–2), pp. 45–53. doi: 10.1016/S0925-7535(98)00032-0.

Ley 10/1998 de Residuos (1998). Available at: <https://www.boe.es/boe/dias/1998/04/22/pdfs/A13372-13384.pdf>.

Marcadolibre (2019) *Rampa Para Carga Movil O Fijay Descarga Camiones Deposito*. Available at: https://articulo.mercadolibre.com.uy/MLU-455653146-rampa-para-carga-movil-o-fijay-descarga-camiones-deposito-_JM?quantity=1.

Martel, G. (2008) *Caracterización de la residuos de la construcción y demolición de edificaciones para su aprovechamiento*. UNAM. Available at: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2613/martelvargas.pdf?sequence=1>.

Memon, M. A. (2015) 'Disaster waste recovery and utilization in developing countries-Learning from earthquakes in Nepal', *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability*, pp. 143–147. doi: 10.3208/jgssp.ESD-KL-7.

Ministry of the Environment, Japan (2018) *Disaster Waste Management Guideline for Asia and the Pacific*. Japan. Available at: <https://www.env.go.jp/press/files/jp/110165.pdf>

Miranda, M. L. (2011) *Aplicación de métodos geofísicos en la determinación de lentes de biogás en*

un relleno sanitario, caso de aplicación Bordo Poniente. UNAM.

OXFAM (2008a) *Composting of Organic Materials and Recycling. Technical Briefing Note 16.* Available at: <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/composting-of-organic-materials-and-recycling-126187>.

OXFAM (2008b) *Domestic and Refugee Camp Waste Management Collection and Disposal. Technical Briefing Note 15.* Available at: <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/domestic-and-refugee-camp-waste-management-collection-and-disposal-126686>.

OXFAM (2008c) *Handling and Storage of Hazardous wastes. Technical Briefing Note 18.* Available at: <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/handling-and-storage-of-hazardous-wastes-126687>.

OXFAM (2008d) *Large Scale Environmental Clean-up Campaigns. Technical Briefing Note 17.* Available at: <http://policy-practice.oxfam.org.uk/publications/largescale-environmental-clean-up-campaigns-126688>.

PAHO-WHO (2017) *Earthquake Mexico– Situation analysis. 26 September 2017.* Washington, D.C. Available at: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=mexico-earthquake-september-2017-1232&alias=2544-paho-who-situation-report-mexico-earthquake-26-september-2017-544&Itemid=1179&lang=en.

PAHO (2000) 'Natural disasters and health protection', xi, p. 131.

PAHO (2003) *Solid waste management in disaster situations (in Spanish).* Washington, D.C.

Pérez- Campos, X. (2017) *Expertos de la UNAM alertan ante posibles réplicas del 7 de septiembre de 2017.* Dirección general de comunicación social, UNAM.

Perló-Cohen, M. (2019) 'Experiencias del grupo de trabajo de la comisión para la reconstrucción después del sismo de 2017', in *Sismos, desastres y reconstrucción.* Ciudad de México.

Peterson, M. (2004) 'Restoring waste management following disasters.', in *2004 international conference and student competition on post- disaster reconstruction "Planning for reconstruction" Coventry.* UK: April 22-24.

PROFECO (2017) *Brújula de compras 2017.* Available at: <https://www.gob.mx/profeco/documentos/brujula-de-compra-93655?state=published> (Accessed: 15 May 2019).

Puente, L. F. (2017) *Actualización total 369 fallecidos por sismo 19/09/17. [Publicación Twitter].* Available at: https://twitter.com/luisfeliipe_p/status/915591538570272769?lang=e (Accessed: 15 May 2019).

Rafee, N. *et al.* (2008) 'Strategic management of municipal debris aftermath of an earthquake', *International Journal of Environmental Research*, 2(2), pp. 205–214. doi: <http://10.22059/IJER.2010.195>.

Raiz, L. and Jungreis, I. (2018) 'Revit Autodesk'. Massachusetts. Available at: <https://www.autodesk.mx/education/free-software/revit%0A%0A>.

Reinhart, D. and McReanor, A. (1999) *Disaster debris management – planning tools. Final Report.*

Reyes, S.-J., Gouzeva, T. and Santos- Reyes, G. (2014) 'Earthquake Risk Perception and Mexico City's Public Safety', *Procedia Engineering*, 84, pp. 662–671. doi: 10.1016/j.proeng.2014.10.484.

SACMEX (2018) *Censo de daños por fugas en la red hidráulica, como resultado del sismo del 19 de septiembre de 2017*. Available at:

<https://www.plataforma.cdmx.gob.mx/storage/app/archivos/paginaid-5/catid-154/3d5bdf107de596ce77e8ce48a61b585f52bbb61d.pdf> (Accessed: 15 May 2019).

Saffarzadeh, A. *et al.* (2017) 'Tasks and problems involved in the handling of disaster waste upon April 2016 Kumamoto Earthquake, Japan', *Natural Hazards*. Springer Netherlands, 89(3), pp. 1273–1290. doi: 10.1007/s11069-017-3021-1.

SEDEMA (2016) *Plan de gestión integral de residuos sólidos*. Available at:

<https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/programas/residuos-solidos/pgirs.pdf>.

SEDEMA (2017) *Ciudad de México, inventario de residuos sólidos*. Available at:

https://www.sedema.cdmx.gob.mx/storage/app/media/IRS_2017_FINAL_BAJA.pdf (Accessed: 15 May 2019).

SEDEMA (2019) *Directorio de centros de acopio de residuos urbanos en la CDMX*. CDMX.

Available at:

http://data.sedema.cdmx.gob.mx/nadf24/images/infografias/planes_de_manejo_autorizados.pdf.

SEDUVI (2018) *Censo de propiedades afectadas. Ciudad de México. Ministerio de Desarrollo Humano y Vivienda*. Available at:

<https://www.plataforma.cdmx.gob.mx/storage/app/archivos/paginaid-5/catid-147/135debd4837026bf06c7bfc5d1e0c6a31611af1d.pdf> (Accessed: 15 May 2019).

SEMARNAT (2010) *Directorio de Centros de Acopio de Materiales Provenientes de Residuos en México 2010*. Available at:

http://www.semarnat.gob.mx/archivosanteriores/transparencia/transparenciafocalizada/residuos/Documentos/directorio_residuos.pdf (Accessed: 15 May 2019).

SEMARNAT (2017) *Criterios para el manejo de los residuos de construcción y demolición generados por el sismo del 19 de septiembre para los estados de México, Morelos, Puebla y Ciudad de México*. Available at:

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/259191/Criterios_RIC_Sismo_19_septiembre.pdf (Accessed: 15 May 2019).

SEMARNAT (2018) *Residuos*. Available at:

https://www.google.com/search?ei=orBeXfaDIZDctQWAtKjwAQ&q=residuos+peligrosos+cdmx&oq=residuos+peligrosos+cdmx&gs_l=psy-ab.3..0j0i22i30i3.7888.9538..9775...0.3..0.110.484.2j3.....0...1..gws-wiz.....0i71j35i39.eSttY_NXMjs&ved=0ahUKEwj23PDV4ZbkAhUQbq0KH.

Shayan, A. and Xu, A. (2003) 'Performance and Properties of Structural Concrete made with Recycled Concrete Aggregate', *ACI Materials Journal*, 100, pp. 371–380.

Siddik, E., McEntire, D. A. and Afedzie, R. (2009) 'Transforming debris management: Considering new essentials', *Disaster Prevention and Management: An International Journal*, 18(5), pp. 511–522. doi: 10.1108/09653560911003705.

SMIE (2017a) *Normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de concreto*. Available at: <http://www.smie.org.mx/layout/normas-tecnicas-complementarias/normas-tecnicas-complementarias-diseno-construccion-estructuras-concreto-2017.pdf>.

SMIE (2017b) *Reglas para la rehabilitación sísmica de edificios de concreto dañados por el sismo del 19 de septiembre de 2017*. Available at: <http://www.smie.org.mx/layout/reglamentos-construccion/ciudad-de-mexico-standards-rehabilitation-seismic-buildings-damaged-2017.pdf>.

Solis, G. Y. *et al.* (1995) 'Disaster Debris Management, Final Report', in *The Disaster Preparedness*

Resources Centre (ed.). British Columbia: The University of British Columbia for Emergency Preparedness Canada.

Tabata, T., Zhang, O., Yamanka, Y., Tsai, P. (2018) 'What is the quantity of consumer goods stocked in a Japanese household? Estimating potential disaster waste generation during floods.', *Resources, Conservation and Recycling*, 133, pp. 86–98. doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.012>.

Torrey (2019) *BÁSCULA CAMIONERA PORTÁTIL*. Available at: <https://www.torrey.net/mexico/producto/359-bascula-camionera-portatil/>.

Uline (2019) *Contenedores de Plástico para Almacenamiento - 25.2 x 15.5 x 11"*, Azules. Available at: https://es.uline.mx/Product/Detail/S-9745BLU/Totes-Plastic-Storage-Boxes/Round-Trip-Totes-252-x-155-x-11-Blue?pricode=WB7128&gadtype=pla&id=S-9745BLU&gclid=Cj0KCQiAtrnuBRDXARIsABiN-7Dx-q-bZdWRehF45hDKfmXd8i8HkCEtisKFKhEpi3cAOXzGhFybL8MaAqd8EALw_wcB&gclsrc.

UNEP- OCHOA (2011) *Disaster Waste Management Guidelines. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. Emergency Preparedness Section*. Available at: <http://www.paho.org/disasters/index.php> (Accessed: 10 January 2019).

UNHCR (2000) *Handbook for Emergencies. United Nations High Commissioner for Refugees*. Geneva. Available at: [https://www.ifrc.org/PageFiles/95884/D.01.03. Handbook for Emergencies_UNHCR.pdf](https://www.ifrc.org/PageFiles/95884/D.01.03.Handbook%20for%20Emergencies_UNHCR.pdf).

UNISDR (2015) 'Chart of the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction', *Unisdr*, p. 2030. Available at: <https://www.unisdr.org/we/coordinate/sendai-framework>.

UNOCHA (2017) *México: Earthquake 8.2 degrees Richter Situation Report No. 01 of the Office of the Resident Coordinator. National Adviser in Response to OCHA Disasters in México*. Available at: https://www.paho.org/disasters/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=mexico-earthquake-september-2017-1232&alias=2531-terremoto-mexico-informe-situacion-1-13-setiembre-2017-coordinador-residente-onu-531&Itemid=1179&lang=en (Accessed: 5 December 2019).

US EPA (2008) *Guidance about planning for natural disaster debris. USA*. Available at: <https://www.epa.gov/homeland-security-waste/guidance-about-planning-natural-disaster-debris>.

US FEMA (2007) *Public assistance: Debris management guide. USA*. Available at: https://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1826-25045-7418/fema_325__debris_management_guide_2007.07.25.pdf.

USEPA (2008) 'Planning for Natural Disaster Debris. United States Environmental Protection Agency (EPA), 2008.', *United States Environmental Protection Agency*, (March), pp. 1–94. Available at: <http://www.epa.gov/wastes/conservation/imr/cdm/pubs/pndd.pdf%5Cn>.

Wagih, A. M. *et al.* (2013) 'Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete', *HBRC Journal*. Housing and Building National Research Center, 9(3), pp. 193–200. doi: 10.1016/j.hbrj.2013.08.007.

Walker, J. (2019) 'AutoCAD'. California: Autodesk.

WHO (1999) *Guidelines for Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and after emergencies*. Geneva. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/medicalwaste/unwantpharm.pdf.

WHO (2005) *Solid Waste Management in Emergencies*. Geneva. Available at: https://www.who.int/water_sanitation_health/hygiene/emergencies/solidwaste.pdf.

WHO (2011) *Technical notes on drinking-water, sanitation and hygiene in emergencies*. UK.
Available at:
https://www.pseau.org/outils/ouvrages/wedc_who_technical_notes_water_sanitation_hygiene_in_emergencies.pdf.

Wilson, D. C., Velis, C. and Cheeseman, C. (2006) 'Role of informal sector recycling in waste management in developing countries', *Habitat International*, 30(4), pp. 797–808. doi: 10.1016/j.habitatint.2005.09.005.

YouTube (2019) *Prensa hidráulica*. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=yR6aJx76kdo>.