



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**AVANCES Y PERSPECTIVAS DEL TRATAMIENTO DE RESIDUOS
HOSPITALARIOS EN TIEMPOS DE LA PANDEMIA DE COVID-19**

TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

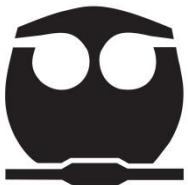
QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO

PRESENTA:

ULISES ADAIR JIMÉNEZ VÁZQUEZ

ASESORA DEL TEMA:

DRA. ALEJANDRA CASTRO GONZÁLEZ



CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO

PRESIDENTE: Profesora: **GONZALEZ MONZON NORMA TRINIDAD**

VOCAL: Profesor: **LUNA PABELLO VICTOR MANUEL**

SECRETARIO: Profesora: **CASTRO GONZALEZ ALEJANDRA**

1er. SUPLENTE: Profesora: **VALDES GOMEZ LUZ MARIA DEL ROCIO**

2° SUPLENTE: Profesora: **FLORES MARROQUIN ELSA**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**Laboratorio de Producción y Utilización de Biocombustibles (LAEL),
Departamento de Sistemas Energéticos, División de Ingeniería Eléctrica,
Facultad de Ingeniería, UNAM, Ciudad Universitaria**

ASESORA DEL TEMA:

Dra. Alejandra Castro González

SUSTENTANTE:

Ulises Adair Jiménez Vázquez

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres por siempre haberme apoyado a lo largo de toda mi vida estudiantil, no sólo económicamente, sino con sus palabras de aliento, amor y motivación.

A mi hermana por siempre iluminar mis días con sus comentarios bien acertados.

A mis mejores amigos César, Jorge y Diego, por haber sido y seguir siendo una parte importante de mi vida.

Al Mtro. Carlos Álvarez Limón, por haberme impulsado a titularme rápidamente, por ser un tutor y un ejemplo a seguir, ya que siempre me brindó atención, comprensión y paciencia al momento de contestar mis interrogantes sobre empleos, la carrera y la vida.

A mis profesoras de inglés en primaria y secundaria, ya que sin ellas no tendría la habilidad en el idioma que tengo hoy.

Al profesor Jesús de computación en primaria, sus enseñanzas me permitieron entender de mejor manera el uso de las computadoras y profundizar en su utilidad de manera autodidacta.

A mis profesores de la Preparatoria 3 “Justo Sierra” Rubén y Juana, por haberme ayudado a madurar y comprender mejor la elección de carrera.

A mis profesores de la Facultad de Química, ya que sin su guía y enseñanzas no habría podido culminar satisfactoriamente esta etapa de mi vida.

A la Dra. Alejandra Castro, por darme la oportunidad de titulación, responder amablemente a mis interrogantes durante la escritura de este documento y guiarme en todo este proceso.

“Camina hacia el futuro” - Walt Disney

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE TABLAS	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
GLOSARIO	IV
RESUMEN	VII
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVO GENERAL	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS	4
1.1 Estadísticas	4
1.2 Residuos de COVID-19 domiciliarios	7
1.3 Caracterización	9
1.3.1 Características físicas de los residuos hospitalarios	9
1.3.2 Características químicas de los residuos hospitalarios	10
1.4 Riesgos	12
1.5 Clasificación	17
CAPÍTULO 2. MANEJO DE LOS RESIDUOS	22
2.1 Normatividad	22
2.2 Acuerdos y convenciones internacionales	23
2.3 Logística del manejo de residuos hospitalarios	26
CAPÍTULO 3. CONVERSIÓN DE LOS RESIDUOS A ENERGÍA	30
3.1 Ejemplos de los tratamientos de conversión de los residuos hospitalarios a energía en el mundo	30
3.2 Tipos y características de los residuos relacionados específicamente de COVID-19	33
3.2.1 Categorización del plástico utilizado en el equipo de protección personal y otros objetos de uso diario	37

3.2.2 Mascarillas	39
3.2.3 Guantes	40
3.2.4 Ropa de protección médica	41
3.2.5 Caretas y protección ocular	41
3.2.6 Aguas residuales	42
3.2.7 Otros residuos	44
3.3 Tratamientos termoquímicos para los residuos de COVID-19	44
3.4 Tratamientos bioquímicos para los residuos de COVID-19	49
3.5 Tratamientos químicos para los residuos de COVID-19	54
3.6 Tratamientos físicos para los residuos de COVID-19	55
CAPÍTULO 4. CAMBIOS EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA PANDEMIA POR COVID-19	58
CAPÍTULO 5. AFECTACIONES SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES DEBIDO AL COVID-19 SOBRE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS Y OTROS	64
CAPÍTULO 6. LAS PERSPECTIVAS DEL MANEJO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESPUÉS DE COVID-19	69
CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN	76
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES	80
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1 Residuos biomédicos por COVID-19 producidos en diferentes países	6
Tabla 1.2 Uso diario estimado de mascarillas en el mundo con casos confirmados de COVID-19 acumulados.	8
Tabla 1.3 Categorización y análisis de parámetros físicos, proximales y principales	11

Tabla 1.4	Infecciones potenciales causadas por la exposición a residuos del cuidado de la salud	13
Tabla 1.5	Riesgos asociados a residuos hospitalarios	15
Tabla 1.6	Permanencia del virus de COVID-19 en muestras o superficies	16
Tabla 1.7	Clasificación de residuos peligrosos para la salud	18
Tabla 1.8	Clasificación CRETIB	20
Tabla 1.9	Categorías de los residuos biomédicos, su segregación, tratamiento y opciones de disposición para pacientes con COVID-19	21
Tabla 3.1	Lista de las 10 características preferidas del producto separadas por grupo	34
Tabla 3.2	Acercamientos tecnológicos para el tratamiento de residuos contaminados con COVID-19	47
Tabla 3.3	Opciones de tratamientos para residuos biomédicos	57
Tabla 4.1	Cambios principales de las prácticas durante la pandemia	63
Tabla 5.1	Causas y consecuencias del impacto de la pandemia por COVID-19	68

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Figura 1.1	Residuos biomédicos después de la pandemia (toneladas/día)	7
Figura 1.2	Uso diario total de mascarillas por región (piezas)	8

GLOSARIO

Aguja hipodérmica: Es un tubo hueco, delgado con una punta afilada. Se usa habitualmente junto con una jeringa para inyectar sustancias al cuerpo (solución salina o medicamentos) o para extraer fluidos del mismo (sangre) (Norn y col., 2006).

Antineoplásicos: Son medicamentos utilizados para tratar el cáncer. También se les conoce como anticancerígenos, quimioterapia o medicamentos citotóxicos (CDC, 2019).

Bacteremia: Se conoce así a la presencia de bacterias en el torrente sanguíneo. Es posible que ocurra espontáneamente, durante ciertas infecciones tisulares, con el uso de catéteres intravenosos o genitourinarios o luego de procedimientos dentales, gastrointestinales, etcétera (Bush, 2020).

Bactericida: Es una sustancia que destruye bacterias. Los bactericidas son sustancias químicas como los desinfectantes, antisépticos o antibióticos (McDonell y Rusell, 1999).

Candidemia: También llamada candidiasis, es una infección causada por un hongo llamado *Candida*. Puede ser localizada (es decir que sólo se presenta en una parte del cuerpo) o invasiva (que puede afectar múltiples partes del cuerpo) (CDC, 2021).

COVID-19: Es la enfermedad causada por el nuevo coronavirus conocido como SARS-CoV-2. La OMS tuvo noticia por primera vez de la existencia de este nuevo virus el 31 de diciembre de 2019, al ser informada de un grupo de casos de «neumonía vírica» que se habían declarado en Wuhan (República Popular China) (OMS, 2020).

Dioxina: Un compuesto altamente tóxico obtenido como subproducto en ciertos procesos de manufactura (como producción de herbicidas) y en incineración. Es considerado un contaminante ambiental persistente ($C_4H_4O_2$) (OL, 2021a).

Esputo: Es la secreción o flema que se produce en los pulmones, bronquios, tráquea, laringe, faringe y que se arroja de una vez en cada expectoración (RAE, 2020).

Fungicida: Es una mezcla de componentes químicos con propiedades biocidas u organismos biológicos utilizados para destruir hongos parasíticos o sus esporas (Haverkate y col., 1969).

Furano: Componente orgánico heterocíclico, constituido por un anillo aromático de 5 miembros, con cuatro átomos de carbono y uno de oxígeno, es tóxico y carcinogénico para los humanos (Eagleson, 1945).

Genotoxicidad: Es un daño al ADN o a los cromosomas de una célula a través de un agente o sustancia química conocida como genotoxina (Phillips y Arlt, 2009).

Necropsia: Es la examinación del cuerpo de un animal luego de su muerte (Fadden y Peaslee, 2019).

Pepenedor (o chatarrero): Persona que vive de recoger desechos de papel, metal, etc., que todavía se pueden aprovechar para ser vendidos (OL, 2021b).

pH: Es la medida cuantitativa de la acidez o basicidad de soluciones acuosas u otras soluciones líquidas, es el valor de concentración del ion hidrógeno, una solución con un pH menor a 7 es ácida y mayor a 8 es básica (Britannica, 2020).

Residuos municipales: Se conoce comúnmente así a la basura o desperdicios, incluye todos los residuos sólidos u objetos presentes en la vida diaria que se usan y posteriormente se desechan, como por ejemplo empaques de productos, muebles, ropa, botellas, residuos alimenticios, periódicos, pintura, zapatos, etc. Los residuos municipales también contienen una variedad de patógenos, principalmente enterovirus que se encuentran frecuentemente en pañales desechables (Buragohain y col., 2020).

Residuos biodegradables: Los materiales y las sustancias pueden considerarse como biodegradables si se descomponen fácilmente por bacterias y otros organismos naturales y si no contribuyen a la contaminación. Los residuos biodegradables se encuentran fácilmente en los residuos sólidos municipales como residuos de cocina, jardín, comida, papel, etc., los cuales usualmente pueden degradarse por microbios (bacterias, hongos, etc.), componentes abióticos como temperatura, UV, oxígeno, entre otros. Se degradan en dióxido de carbono, metano, agua y otras mezclas básicas naturales a través de procesos

como degradación aerobia, fertilización de la tierra y de otras maneras. La única manera en la cual los residuos biodegradables afectan al medio ambiente es cuando se encuentran en exceso. Pueden generar una gran cantidad de población microbiana alrededor del residuo lo cual da como resultado la transmisión de enfermedades a humanos, animales, etcétera., generar malos olores, liberar ciertos gases al momento de ser incinerados, ser un espacio para la reproducción de vectores biológicos como ratas y mosquitos que finalmente cargan con enfermedades infecciosas. Los residuos biodegradables también pueden ser utilizados como una fuente de energía y poder a través de la incineración y de degradación anaerobia (Buragohain y col., 2020).

Septicemia: Es la presencia y multiplicación de bacterias en la sangre, también se le conoce con el nombre de “envenenamiento sanguíneo” (Aryal, 2018).

Vehículo de transmisión: Este término se refiere a la transmisión de patógenos a través de vehículos como agua, comida y aire (LL, 2005).

RESUMEN

El presente trabajo muestra las perspectivas, alternativas y acciones que se han tomado con respecto al tratamiento y disposición de los residuos de la pandemia por COVID-19. En Wuhan los residuos incrementaron de 40 a 240 toneladas por día, en México se obtienen alrededor de 385.75 toneladas/día de residuos biomédicos, dándole así el puesto número 10 en una tabla comparativa que se mostrará más adelante, sin embargo, el porcentaje de incremento de residuos biomédicos fue de un 1105.47%, mientras que en países como Estados Unidos el porcentaje fue de 226.68% con el valor de 8055.33 toneladas/día. Los residuos que no reciben un tratamiento adecuado dan pauta a la transmisión de enfermedades como hepatitis B, hepatitis C y VIH de pacientes a profesionales de la salud en un 30%, 1-3% y 0.3% respectivamente a nivel mundial y en México estos porcentajes son de 6-35%, 1-7% y 0.3% respectivamente.

La caracterización de residuos hospitalarios como celulosa, goma, plásticos y tejidos permite el análisis de parámetros físicos como % humedad, parámetros proximales como % materia volátil, fibra, carbón fijo y parámetros principales como % hidrógeno, azufre, entre otros. Normatividades de diversos países como India, China, Indonesia, Nepal, etcétera serán presentadas con el fin de conocer qué guías o circulares liberaron para la gestión de residuos durante la pandemia para así analizarlas y compararlas con las mexicanas en busca de alternativas que puedan ser aplicadas en la nación.

Además, hay que adentrarse en el extenso mundo del tratamiento de residuos hospitalarios, poner en perspectiva la gran variedad de tratamientos con los que contamos no sólo los habituales como la incineración (que reduce la masa y volumen de los residuos entre un 85% y un 90%) y el calor húmedo, sino otras alternativas no tan conocidas que permitan realizar una autocrítica hacia nuestros métodos de disposición final de residuos y concluir si de verdad siguen siendo la mejor y única opción en muchos casos, como ejemplo se tiene el tratamiento

bacteriano de las cenizas provenientes de incineración, que es capaz de reducir la alcalinidad, dureza y cloruros en un 50%, 25% y 60% respectivamente, así como reducir los metales aluminio, cromo, plomo y plata en un 50%, 42%, 57% y 40% respectivamente en un medio con glucosa y de 10%, 32%, 60% y 60% en un medio con melaza. Otros tratamientos son de naturaleza física (como el encapsulado) y química (esterilización con hipoclorito de sodio), tomando en cuenta desechos como los de aguas residuales donde el 99.9% del coronavirus presente se reduce en 10 días a temperatura ambiente y en 100 días a 4°C. Finalmente puntualizar el impacto negativo de la pandemia en el sector ambiental y económico al revisar la composición del equipo de protección personal, donde, por ejemplo, los contenedores y empaques fabricados con polietileno de baja densidad conforman el 56% de todos los residuos plásticos, mientras que el 75% de estos residuos son originarios de hogares residenciales, el equipo de protección personal adquirido en cantidades millonarias y los empleos que se perdieron por la pandemia que tuvieron que recibir compensaciones monetarias, lo cual se relaciona con la afectación del sector alimentario y social por el incremento del 92.5% en las compras de comida en línea y 44.5% en compras de artículos de uso diario debido a la pandemia por COVID-19, dando así un área de oportunidad en el reciclaje de estos materiales y el uso de nuevo.

INTRODUCCIÓN

El residuo biomédico es aquel generado durante el diagnóstico, tratamiento o inmunización de seres humanos y/o animales o en investigación biológica y de la salud; involucra a todas las personas que generan, recolectan, reciben, almacenan, transportan o manejan residuos biomédicos de cualquier naturaleza (MEFCC, 2016; MEF, 1998).

Del total de residuos biomédicos, alrededor del 75% y el 90% son residuos generales, que es similar a la producción de residuos sólidos domésticos y municipales habituales (Bazrafshan y Mostafapoor, 2010; Chaerul y col., 2008; Pruss y col., 1999); no son residuos peligrosos, por lo que no requieren de un manejo, tratamiento o disposición especial, se puede disponer de ellos igual que los residuos sólidos municipales (Bazrafshan y Mostafapoor, 2010; Lee y col., 2004; Pruss y col., 1999). Según documentos oficiales publicados por el gobierno de México: “entre el 75% y el 90% de los residuos producidos por los centros de salud son residuos generales (no infecciosos, no peligrosos), comparables con los residuos domésticos.” concordando así con lo que dictan las estadísticas internacionales anteriormente mencionadas (INECC, 2020).

Sin embargo, alrededor del 10%-25% restantes son considerados peligrosos y pueden provocar una gran variedad de riesgos a la salud y al ambiente (Harhay y col., 2009). Existe una gran ironía en el proceso de ofrecer instalaciones para el cuidado de la salud, ya que dichos lugares pueden generar productos que son potencialmente más dañinos (Vivek y col., 2019). De acuerdo a datos del Informe de la Situación del Medio Ambiente en México del año 2015, en el periodo 2004-2014, su volumen de generación fue de 150 076 toneladas, lo que representó el 6.8% del total de los RP generados a nivel nacional (SEMARNAT, 2015).

El equipo de protección personal es la defensa más confiable y económica contra la infección y transmisión del virus. Al inicio de la pandemia, para prevenir la diseminación del virus, el equipo de protección personal (EPP), como guantes y mascarillas, era usado principalmente por profesionales de la salud, pero con la creciente difusión viral, dicho equipo debe ser utilizado por toda la población en muchos países, por lo que millones de EPP son producidos y usados diariamente por ciudadanos ordinarios durante la pandemia (Liang y col., 2021).

El temor que se tiene de contraer la enfermedad de COVID-19 resulta habitualmente en un mal uso del EPP, agravando el problema al generar una gran cantidad de residuos biomédicos, los cuales son difíciles de almacenar y transportar cuando los recursos y la mano de obra disponible se han visto limitados en estos tiempos de crisis. Además, el uso indiscriminado y disposición de mascarillas de un solo uso (incluso hay veces que los involucrados son mascarillas N95) en la comunidad empeoran la situación.

La disposición regularmente se lleva a cabo junto con los residuos no infecciosos generales provenientes de casa y áreas residenciales, donde no se encuentra por ningún lado la separación de residuos por códigos de colores; también es importante mencionar que el COVID-19 se puede transmitir a través de fomites, por lo que el desecho indiscriminado de estos residuos puede alcanzar a la comunidad más susceptible (WHO, 2020d).

Por lo tanto, un manejo adecuado de los residuos hospitalarios es necesario para confirmar que el impacto en la salud pública y el ambiente se mantenga al mínimo; a pesar de que la porción de residuos infecciosos y peligrosos es relativamente pequeño, cualquier manejo inapropiado donde los residuos infecciosos se mezclan con los residuos generales puede convertir todos los residuos en potencialmente peligrosos e infecciosos y causar que ese tipo de residuo se incremente (Chaerul y col., 2008).

OBJETIVO GENERAL

Discutir los diferentes avances y perspectivas sobre el manejo de residuos hospitalarios en la pandemia por COVID-19, analizando los tipos de tratamientos aplicados tanto a esos residuos como a los habituales.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Discutir las características de los residuos hospitalarios, puntualizando las más importantes.
- ✓ Analizar las normas y reglamentos que rigen el manejo de residuos hospitalarios en el mundo, haciendo un enfoque en los avances de dicha gestión que se han tenido actualmente, estableciendo qué normatividades cuentan con un contenido potencial para ser aplicado en México.
- ✓ Categorizar y poner en perspectiva la variedad de generación y tratamientos de residuos peligrosos-biológico infecciosos, permitiendo así la comparación entre los residuos habituales y aquellos catalogados como residuos COVID-19.
- ✓ Establecer el impacto negativo que ha tenido la pandemia en diversos sectores (económico, social, ambiental, alimentario, etc.) de la población, impulsando así la posibilidad de generar nuevas estrategias para la disminución del mismo.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES DE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS

1.1 Estadísticas

Hay estimaciones que indican que aproximadamente un 10% del total de los residuos peligrosos generados en México reciben un manejo adecuado, dando como resultado un 90% de residuos que no son tratados con base en las normativas correspondientes (Álvarez, 2008).

Pero hablando a nivel mundial, existe un gran incremento en el uso de equipos de protección personal (mascarillas, guantes y otros objetos protectores) y una mayor distribución de residuos infecciosos de hospitales, instalaciones del cuidado de la salud y de hogares en cuarentena, los residuos plásticos y alimenticios también se vieron incrementados, dando como resultado que las instalaciones de tratamiento de residuos se vieran sobrecargadas, forzando así tratamientos de emergencia y disposición (por ejemplo usar incineradores municipales y hornos industriales) para aumentar la capacidad de recepción de desechos; a pesar de que el virus del COVID-19 puede ser fácilmente destruido por combustión en las instalaciones incineradoras no especializadas en RPBI, hay un riesgo sanitario para los trabajadores cuando estas plantas no están diseñadas para recibir y almacenar dichos desechos (Hantoko y col., 2021).

Gracias a las recomendaciones que se les dan a los trabajadores hospitalarios (médicos, enfermeras, químicos, etc.) sobre el uso del EPP, mil millones de mascarillas, caretas, etcétera son producidos y usados diariamente durante la pandemia (Hantoko y col., 2021).

Según modelos propuestos por la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estimó que globalmente son necesarios 89 millones de mascarillas, 76 millones de guantes y 1.6 millones de lentes protectores, por lo que es de suma

importancia que la producción de los mismos se incremente en un 40% para cubrir la demanda (WHO, 2020e). Durante 2016-2020, el mercado global de equipo de protección personal (EPP) creció un 6.5%, de aproximadamente 40 mil millones de dólares a 58 mil millones de dólares (Singh y col., 2020, WHO, 2020c).

En la ciudad de Wuhan, donde se reportó el COVID-19 por primera vez, los residuos médicos incrementaron dramáticamente de 40 toneladas por día a 240 toneladas por día, excediendo la capacidad de tratamiento de residuos hospitalarios de 49 toneladas por día (Tang, 2020), mientras que, en países como Malasia, los residuos clínicos incrementaron un 30% en Marzo de 2020 (Agamuthu y Barasarathi, 2020).

Durante la pandemia por COVID-19, la producción de desperdicio médico ha incrementando en gran medida en la inmensa mayoría de países, la Tabla 1.1 muestra datos de algunos países (entre ellos México), mientras que la Figura 1.1 muestra la representación gráfica de los residuos después de la pandemia.

Según estimaciones a nivel global, fueron requeridos alrededor de 129 mil millones de mascarillas en respuesta al COVID-19 mensualmente y la demanda de guantes alcanzó 65 mil millones mensuales (Prata y col., 2020). Hasta el 20 de octubre de 2020, China había proporcionado 17.9 mil millones de mascarillas, 1.73 mil millones de ropa protectora y 0.54 mil millones de kits de detección de COVID-19 a 150 países y 7 organizaciones internacionales, aún así no puede cumplir con la demanda de equipos de protección personal en el mundo (Xi Jinping, 2020). No hay que olvidar claro que Asia tiene el 54% del consumo total de mascarillas a nivel mundial, por ser el continente con la mayor población (Hantoko y col., 2021).

Tabla 1.1 Residuos biomédicos por COVID-19 producidos en diferentes países
(Modificado de Chandra, 2021)

Nombre del país/ciudad	Residuos biomédicos producidos (toneladas/día)		Porcentaje de incremento	Número de habitantes	Residuos por habitantes (kg/persona.día)	Referencia
	Antes de la pandemia	Después de la pandemia				
Brasil	693.00	2774.35	300.34%	212,559,417	0.0131	Urban y Nakada, 2021; Haque y col., 2020
Sudáfrica	133.00	469.12	252.72%	59,308,690	0.0079	Haque y col., 2020; UNEP, 2020a
India	608.00	2160.34	255.32%	1,380,004,385	0.0016	
Bangladesh	179.91	359.83	100.01%	164,689,383	0.0022	Haque y col., 2020; Shammi y col., 2020
Colombia	101.36	550.63	443.24%	50,882,891	0.0108	Becerra, 2020; Haque y col., 2020
Italia	15.03	45.09	200.00%	60,461,826	0.0007	AFP, 2020; Haque y col., 2020
Manila	47.00	280.00	495.74%	13,923,452	0.0201	UNEP, 2020a
Jakarta	35.00	212.00	505.71%	10,770,487	0.0197	
Kuala Lumpur	35.00	210.00	500.00%	7,996,830	0.0263	
Estados Unidos de América	2465.75	8055.03	226.68%	331,002,651	0.0243	Calma, 2020; Haque y col., 2020
México	32.00	385.75	1105.47%	128,932,753	0.0030	Haque y col., 2020; UNEP, 2020a
Irán	68.00	81.31	19.57%	83,992,949	0.0001	Haque y col., 2020; Zand y Heir, 2020
Argentina	133.33	454.41	240.82%	45,195,774	0.0101	Haque y col., 2020; Rocha, 2020
Bangkok	27.00	160.00	492.59%	10,539,415	0.0162	UNEP, 2020a
Ha Noi	26.00	154.00	492.3%	4,678,198	0.0329	UNEP, 2020a
Egipto	104.00	128.54	23.60%	102,334,440	0.0013	Haque y col., 2020; UNEP, 2020a

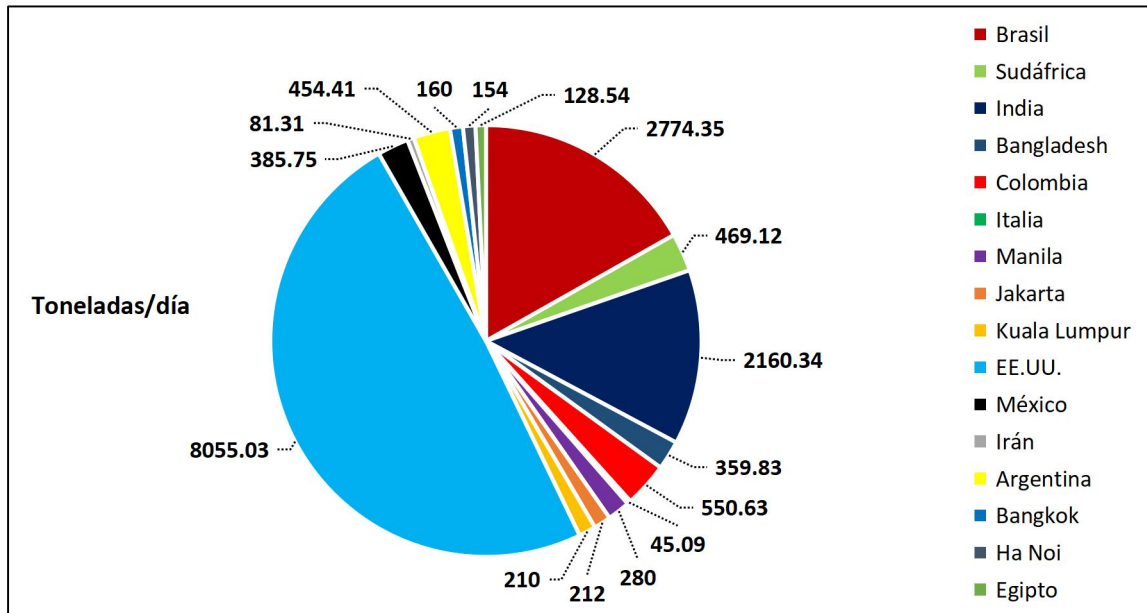


Figura 1.1 Residuos biomédicos después de la pandemia (Haque y col., 2020; UNEP, 2020a)

De acuerdo a la población total y el porcentaje de población urbana, el número de mascarillas usados diariamente en el mundo se estima que es de 7 mil millones (Worldometer, 2021a), lo cual es mayor al estudio que Prata y col. (2020) realizaron, gracias a la rápida propagación del virus. La Tabla 1.2 señala la cantidad estimada de mascarillas que se han usado en el mundo debido a la pandemia por COVID-19 y su representación gráfica se encuentra en la Figura 1.2.

1.2 Residuos de COVID-19 domiciliarios

Los residuos infecciosos no se encuentran confinados a hospitales y centros de salud solamente, ya que personas con síntomas leves o que son asintomáticos también generan residuos cargados del virus (mascarillas, guantes, pañuelos, etc.) (Bhakta y col., 2020). Como el virus puede sobrevivir en cartón, plástico y metales por horas o incluso días (van Doremalen y col., 2020), tirar dichos desperdicios indiscriminadamente puede poner en peligro la vida de los trabajadores involucrados en el manejo de residuos; la situación se vuelve más crítica en países en desarrollo donde los trabajadores encargados del manejo de

residuos no están equipados con el equipo de protección personal adecuado, lo cual les proporciona un riesgo alto de infección (Bhakta y col., 2020). Por ejemplo, la ciudad de Nueva York ha presentado un incremento en la generación de residuos sólidos de origen residencial de un 5% hasta un 30% (WA, 2020).

Tabla 1.2 Uso diario estimado de mascarillas en el mundo con casos confirmados de COVID-19 acumulados (Worldometer, 2021a; Worldometer, 2021b)

Región	Población ^a	Casos de COVID-19 ^a	Población urbana (%) ^b	Uso diario total de mascarillas (piezas) ^c	Mascarillas descartadas (toneladas/día) ^d	Desperdicios médicos (toneladas/día) ^e
Asia	4,628,322,315	22,315,871	50.90%	3,769,305,693	11,308	55,630
África	1,358,208,732	3,356,223	43.80%	951,832,679	2,855	8,367
Europa	747,882,582	28,216,000	74.50%	891,476,038	2,674	70,338
Norte América	591,669,479	28,558,410	82.60%	781,950,383	2,346	71,192
Sudamérica	432,731,157	14,926,579	85.50%	591,976,223	1,776	37,210
Oceanía	42,567,863	49,677	67.80%	46,177,618	139	124

^aLa información se obtuvo el 21 de enero de 2021 (Worldometer, 2021a). ^bLa población urbana se tomó de Worldometer (2021b). ^cUso diario total de mascarillas se estimó de acuerdo a Nzediegwu y Chang (2020). ^dLa masa de mascarillas descartadas se calculó basado en el supuesto (3 g/mascarillas). ^eLa generación de desperdicios médicos se estimó basado en el estudio realizado por Sangkham (2020).

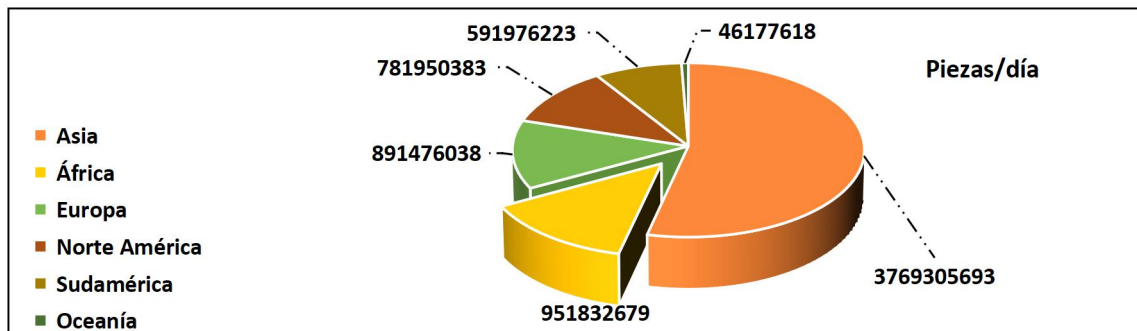


Figura 1.2 Uso diario total de mascarillas por región (Worldometer, 2021a; Worldometer, 2021b)

1.3 Caracterización

Las características físicas y químicas de los residuos hospitalarios son importantes para definir específicamente el equipo requerido para su tratamiento. La determinación de las características físicas y químicas de los residuos médicos se lleva a cabo separando los residuos en categorías como papel (papeles, cartón, filtros y placas desechables), textiles (algodón, sábanas sucias, mascarillas y pañales), plástico, tejidos, vidrio (viales de inyección y vidrio roto), residuos de alimentos, goma (hule o caucho; nylon, guantes, bolsas de sangre y esponjas), metal (navaja del escapelo, jeringas y latas) y madera. Los materiales separados se llevan entonces al laboratorio para análisis proximales y principales.

Los parámetros físicos que se determinan son el contenido de humedad y la densidad, mientras que los parámetros proximales y principales se determinan según las características químicas. Los análisis proximales incluyen el porcentaje de materia volátil, cenizas, carbón fijo, grasas, fibra y contenido proteico, mientras que los análisis principales incluyen el análisis elemental para la determinación del porcentaje de carbono, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, azufre y cloro en el residuo; determinar estas características es importante para definir el tratamiento más adecuado al que deben someterse los residuos (WHO, 1999; Li y Jenq, 1993), la clasificación y valores obtenidos de algunos residuos hospitalarios en un estudio se encuentran en la Tabla 1.3.

1.3.1 Características físicas de los residuos hospitalarios

➤ La densidad es la relación entre la masa del residuo y su volumen:

$$\rho = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \text{ (Ecuación 1.1)}$$

los resultados obtenidos de esta ecuación sirven para valorar el volumen del vehículo de transporte, el tamaño del tratamiento y las instalaciones de disposición que se requieren para los residuos.

- El contenido de humedad (M_c) es la relación entre el peso seco del residuo (W_d) y el peso del residuo antes del proceso de secado (W_w), para asegurar la exactitud de la ecuación, el proceso se realiza a 105°C por 24 horas; este parámetro es esencial para el diseño de vertederos sanitarios y el compostaje.

$$M_c = \frac{W_w - W_d}{W_w} * 100\% \text{ (Ecuación 1.2)}$$

Según un estudio sobre residuos hospitalarios, parece ser que la celulosa es la que cuenta con mayor contenido de humedad y los plásticos son los que tienen el menor (Olanrewaju, 2019).

1.3.2 Características químicas de los residuos hospitalarios

Medida y cálculo del valor calorífico: El valor calorífico de los residuos hospitalarios es un dato específico y necesario para el proceso de incineración, ya que determina el diseño y los parámetros que tendrá el incinerador. Los valores caloríficos (tanto el valor superior como el inferior) de los residuos biomédicos se obtienen según la ecuación presentada en un estudio sobre residuos hospitalarios en Egipto (Abd El-Salam, 2010).

$$\text{Valor calorífico superior (VCS)} = 81\left(C - 3 * \frac{O}{8}\right) + 57 * 3 * \frac{O}{8} + 345\left(H - \frac{O}{10}\right) + 25S \text{ (kcal/kg) (Ecuación 1.3)}$$

$$\text{Valor calorífico inferior} = \text{VCS} - 6(9H+M) \text{ (kcal/kg) (Ecuación 1.4)}$$

Donde C, O, H, S y M son los porcentajes de carbono, oxígeno, hidrógeno, azufre y humedad del residuo sólido respectivamente (Abd El-Salam, 2010). A mayor valor calorífico tenga el residuo hospitalario, mejor es el uso de incineración para su disposición, ya que los incineradores requieren de una menor demanda de combustible para el proceso por la alta cantidad de componentes combustibles con los que cuenta el residuo (Li y Jenq, 1993).

Tabla 1.3 Categorización y análisis de parámetros físicos, proximales y principales (Olanrewaju, 2019)

Residuo	Parámetros físicos			Parámetros proximales						Parámetros principales				
	Masa del residuo (kg)	% Humedad	% Densidad	% Cenizas	% Grasas	% Fibra	% Carbon fijo	% Materia volátil	% Proteína	% H	% N	% S	% O	% C
Celulosa (comida, textil, papel)	64.05	2.29	0.85	64.01	0.00	18.72	33.23	63.91	3.61	1.930	0.588	0.060	0.420	14.810
Goma	22.20	2.07	0.75	37.90	0.00	43.51	19.65	37.79	1.72	1.539	0.280	0.010	0.501	1.950
Plásticos	7.25	1.23	0.51	23.64	0.00	52.67	16.09	30.96	1.89	0.727	0.308	0.030	0.593	6.152
Tejidos	4.40	2.31	0.64	53.84	0.00	24.61	3.17	37.75	2.23	4.653	4.096	0.310	0.867	19.959

Existen dos métodos para calcular el valor calorífico; el primero es estimar dicho parámetro a partir de un análisis elemental, el segundo es medirlo con una bomba calorimétrica. Sin embargo, existen diferencias entre el valor verdadero y los valores obtenidos con estos dos métodos debido a la complejidad química con la que cuenta el residuo, el primer método es complicado y el otro método no es práctico cuando se tienen muestras insuficientes (Zeng y col., 2014).

1.4 Riesgos

Hablando del tratamiento de estos residuos, los riesgos que existen varían según la disposición, por ejemplo la incineración puede producir emisiones peligrosas localizadas, mientras que la disposición en un relleno sanitario plantea el problema de su comportamiento a largo plazo; a pesar de que se establecen en lugares apartados, dada la gran superficie que requieren, no se debe olvidar que al concluir los tratamientos y disposición de residuos, siempre quedarán restos que finalmente se deben depositar en el suelo (Álvarez, 2008).

La exposición a residuos peligrosos originarios del cuidado de la salud puede resultar en el contagio de alguna enfermedad o provocación de heridas. Los residuos infecciosos suelen contener una gran variedad de microorganismos patogénicos; los patógenos en dichos residuos pueden entrar al cuerpo humano haciendo uso de diferentes rutas: A través de un pinchazo, abrasión o cortada en la piel; membranas mucosas, por inhalación y por ingestión; los fluidos corporales son los vehículos de transmisión principales (Padmanabhan y Barik, 2019).

Todos los individuos expuestos a residuos peligrosos originarios del cuidado de la salud se encuentran en un riesgo potencial, incluyendo aquellos que manejan los residuos, específicamente: doctores, enfermeras, auxiliares del cuidado de la salud, el personal de mantenimiento del hospital, visitas, trabajadores que apoyan tanto al labor hospitalario como a los que se encuentran en lavanderías y transporte (Padmanabhan y Barik, 2019).

Para ejemplificar de mejor manera este tema, la Tabla 1.4 mostrará algunas de las infecciones potenciales que pueden adquirir las personas de este sector, especificando el vehículo de transmisión

Tabla 1.4 Infecciones potenciales causadas por la exposición a residuos del cuidado de la salud (Padmanabhan y Barik, 2019)

Tipo de infección	Ejemplos de organismos causales	Vehículos de transmisión
Infección gastrointestinal	Enterobacterias (<i>Salmonella enterica</i> , <i>Shigella</i> spp., <i>Vibrio cholerae</i> , <i>Clostridium difficile</i>), helmintos	Heces y/o vómito
Infecciones respiratorias	<i>Mycobacterium tuberculosis</i> , virus del sarampión, <i>Streptococcus pneumoniae</i> , virus del COVID-19	Inhalación de secreciones, saliva
Infección ocular	Virus del herpes	Secreciones oculares
Infecciones genitales	<i>Neisseria gonorrhoeae</i> , virus del herpes	Secreciones genitales
Infecciones de la piel	<i>Streptococcus</i> spp.	Pus
Ántrax	<i>Bacillus anthracis</i>	Secreciones de la piel
Meningitis	<i>Neisseria meningitidis</i>	Fluido cerebroespinal
Síndrome de Inmunodeficiencia Adquirida (SIDA)	Virus de inmunodeficiencia humana (VIH)	Sangre, secreciones sexuales, fluidos corporales
Fiebre hemorrágica	Virus como el Ébola, Lassa, Junin y Marburg	Todos los productos y secreciones provenientes de la sangre
Septicemia	<i>Staphylococcus</i> spp.	Sangre
Bacteremia	<i>Staphylococcus</i> spp. Coagulasa negativa, <i>Enterobacter</i> spp., <i>Enterococcus</i> spp., <i>Klebsiella</i> spp., y <i>Streptococcus</i> spp.	Secreción nasal, contacto con piel
Candidemia	<i>Candida albicans</i>	Sangre
Hepatitis viral A	Virus de hepatitis A	Heces
Hepatitis viral B y C	Virus de hepatitis B y C	Sangre y fluidos corporales
Influenza aviar	Virus H5N1	Sangre y heces

Los residuos hospitalarios contienen microorganismos potencialmente dañinos que pueden infectar pacientes hospitalarios, trabajadores de la salud y el público en general. Otro riesgo potencial puede ser la diseminación de microorganismos resistentes a antibióticos de las instalaciones de salud al ambiente. Existen más riesgos asociados como: quemaduras por radiación, heridas por objetos punzocortantes e intoxicación por los productos farmacéuticos que se desechan (antibióticos y antineoplásicos) (Padmanabhan y Barik, 2019).

Poniendo el enfoque en el ambiente: los vertederos pueden contaminar agua potable si no se construyen adecuadamente y la incineración inadecuada causan la liberación de contaminantes (Padmanabhan y Barik, 2019). Se ha encontrado que, debido a la disposición inadecuada de residuos hospitalarios, los casos de hepatitis B, hepatitis C y VIH han sido transmitidos de pacientes a profesionales de la salud en un 30%, 1-3% y 0.3% respectivamente, mientras que datos de México indican que estos porcentajes son de 6-35%, 1-7% y 0.3% respectivamente (Singh y col., 2020; Jiménez y col., 2015).

Un estudio anterior estimó que alrededor de la mitad de la población está en riesgo por los peligros que conlleva un manejo de residuos biomédicos no regulados (Harhay y col., 2009); como ejemplo está el brote del virus Hepatitis B en Gujarat, India en 2009 y las heridas infecciosas que recibieron los chatarreros debido a los residuos biomédicos generados por vacunaciones en masa (1.6 millones) en Afganistán (Chartier y col., 2014) y no sólo dichos pepenadores se encuentran en riesgo, sino que también los residuos pueden poner en riesgo a las personas que se encuentran en situación de calle (Ramteke y Sahu, 2020).

En cuanto a los riesgos asociados con los residuos hospitalarios, los principales grupos de individuos que se encuentran en riesgo son los profesionales y trabajadores de la salud, chatarreros y el público. Las infecciones microbianas causadas por la exposición a residuos biomédicos y muestras pueden ser locales o sistémicas (Pennsylvania Code, 2021; WHO, 2004; NRC, 1989). El mercurio,

desinfectantes y pesticidas pueden causar daño multisistémico; además, un manejo inadecuado de objetos filosos puede causar heridas por agujas, que a su vez causarían infecciones con patógenos de transmisión sanguínea como VIH, Hepatitis B y Hepatitis C, etcétera (IPEN, 2014; Harhay y col., 2009; WHO, 2004). Los peligros de desechos radioactivos y citotóxicos incluyen dolor de cabeza, cansancio, vómito, destrucción de tejidos, genotoxicidad, muerte y disturbios ecológicos. Puede causar cáncer, malformación fetal, desórdenes cardíacos y/o respiratorios (Castegnaro y col., 1985), estos riesgos se encuentran organizados en la Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Riesgos asociados a residuos hospitalarios (Pennsylvania Code, 2021; IPEN, 2014; Harhay y col., 2009; WHO, 2004; NRC, 1989; Castegnaro y col., 1985)

Individuos en riesgo	Riesgo al que pueden exponerse	Daño causado
Profesionales, trabajadores de la salud, chatarreros y población en general	Infecciones microbianas	Local o sistémico
	Mercurio, desinfectantes y pesticidas	Multisistémico
	Heridas con agujas	Infección con patógenos como VIH, Hepatitis B y/o Hepatitis C
	Desechos radioactivos y citotóxicos	Destrucción de tejidos, genotoxicidad, cáncer, desórdenes cardíacos y/o respiratorios, muerte y disturbios ecológicos.

Generalmente el virus del COVID-19 permanece activo de 2 a 9 días en las superficies materiales (Kampf y col., 2020). Pero la supervivencia de dicho virus varía dependiendo del fomite o de la muestra, en muestras séricas sobrevive de 11 a 21 días, en muestras de heces sobrevive de 17-31 días y en muestras respiratorias (como esputo) sobrevive de 13 a 29 días (Zheng y col., 2020). Otra de las preocupaciones asociadas a la disposición de residuos es la emisión de contaminantes microbianos en forma de aerosoles debido a la trituración y/o

molienda de los residuos (WHO, 2015), la supervivencia del virus se encuentra clasificada en la Tabla 1.6.

Tabla 1.6 Permanencia del virus de COVID-19 en muestras o superficies (Kampf y col., 2020; Zheng y col., 2020)

Material	Supervivencia
Superficies materiales	2 a 9 días
Muestra sérica	11 a 21 días
Muestra de heces	17 a 31 días
Muestras respiratorias	13 a 29 días

Existen dos prácticas que se suelen llevar a cabo para disponer incorrectamente de los residuos peligrosos:

Comercio de residuos globales - Los países desarrollados del mundo a menudo venden sus residuos tóxicos y peligrosos a países más pobres en vías de desarrollo. En esta práctica, los países ricos usualmente exportan sus problemas a los países pobres, principalmente Asia y África (Buragohain y col., 2020).

Colonialismo tóxico: Es la práctica en la cual las regiones más prósperas usan a los estados subdesarrollados como una manera fácil de deshacerse de sus residuos tóxicos. Aquí, las regiones más desarrolladas exportan residuos que, de hecho, pueden ser utilizados para un beneficio y cuentan con los recursos para ello. Pero las regiones que importan estos residuos en la mayoría de los casos no entienden la manera de manejarlos y por lo tanto no cuentan con la protección adecuada (Johnson y col., 2007).

Como el polímero de polipropileno, polietileno, cloruro de polivinilo y tereftalato de polietileno se usan para fabricar el equipo de protección personal, es importante señalar que si no se siguen los procedimientos adecuados, puede existir un daño potencial al medio ambiente (Goswami y col., 2021). Además, es importante promover controles de la calidad del aire mucho más estrictos para limitar la

emisión de contaminantes tóxicos como dioxinas, gases ácidos, etcétera durante el proceso desecho-energía (Bhakta y col., 2020).

1.5 Clasificación

Según la OMS, los residuos peligrosos para la salud se clasifican en: residuos filiosos, residuos infecciosos, residuos patológicos, residuos farmacéuticos, residuos citotóxicos, residuos químicos, residuos líquido-infecciosos, residuos radioactivos y residuos generales del cuidado de la salud (WHO, 2004). En la Tabla 1.7 se verá a mayor profundidad las características que determinan la clasificación de cada residuo.

Basados en lo que se conoce actualmente sobre los residuos hospitalarios en territorio nacional, éstos pueden ser considerados como RPBI. Primero que nada es necesario definir lo qué es un RPBI, según la NOM-087-ECOL-SSA1-2002:

Son aquellos materiales generados durante los servicios de atención médica que contengan agentes biológico-infecciosos, éstos a su vez se definen como cualquier microorganismo capaz de producir enfermedades cuando está presente en concentraciones suficientes, en un ambiente propicio, en un hospedero susceptible y en presencia de una vía de entrada y que puedan causar efectos nocivos a la salud y al ambiente (SEMARNAT, 2002).

En México los RPBI se pueden clasificar en (SEMARNAT, 2002):

Sangre: También incluidos sus componentes sólo en su forma líquida, así como los derivados no comerciales, incluyendo las células progenitoras, hematopoyéticas y las fracciones celulares o sin células de la sangre resultante (hemoderivados).

Tabla 1.7 Clasificación de residuos peligrosos para la salud (Padmanabhan y Barik, 2019)

Tipo de residuo	Descripción
Residuos filosos	Objetos punzocortantes usados y no usados (agujas hipodérmicas, intravenosas u otras agujas, jeringas con agujas removibles y no removibles, equipos de infusión, escalpelo, pipetas, cuchillos, vidrio roto).
Residuos infecciosos	Residuos de los cuales se sospecha contienen patógenos y que poseen un riesgo de transmisión de infecciones (residuos contaminados con sangre y otros fluidos corporales, cultivos microbiológicos de laboratorio, heces y otros materiales que han estado en contacto con pacientes infectados con enfermedades altamente infecciosas).
Residuos patológicos	Tejidos humanos, órganos o fluidos; partes del cuerpo; fetos, productos sanguíneos no utilizados.
Residuos farmacéuticos y citotóxicos	Medicamentos que expiraron y no se necesitan más, objetos contaminados con medicamentos o que los contienen. Sustancias que contienen residuos citotóxicos (antineoplásicos) con propiedades genotóxicas (medicamentos utilizados en quimioterapia).
Residuos químicos	Residuos que contienen sustancias químicas (reactivos de laboratorio, desinfectantes que expiraron y que ya no se necesitan, disolventes; residuos con alto contenido de metales pesados como baterías, termómetros rotos, etc.).
Residuos radioactivos	Residuos que contienen sustancias radioactivas (líquidos sin usar provenientes de la radioterapia o de investigación en el laboratorio, vidrio contaminado, empaques o papel absorbente, orina y heces de pacientes que fueron tratados con radioisótopos).
Residuos generales del cuidado de la salud	Residuos que no generan un peligro biológico, químico, radioactivo o físico.

Cultivos y cepas de agentes biológico-infecciosos: Así como utensilios desechables usados para contener, transferir, inocular y mezclar cultivos de agentes biológico-infecciosos.

Patológicos: Como los tejidos, órganos y partes que se extirpan o remueven durante las necropsias, la cirugía o algún otro tipo de intervención quirúrgica, que

no se encuentren en formol; las muestras biológicas para análisis químico, microbiológico, citológico e histológico, excluyendo orina y excremento. Los cadáveres y partes de animales que fueron inoculados con agentes enteropatógenos en centros de investigación y bioterios.

Residuos no anatómicos: Recipientes desechables que contengan sangre líquida; materiales de curación, empapados, saturados, o goteando sangre o cualquiera de los siguientes fluidos corporales: líquido sinovial, líquido pericárdico, líquido pleural, líquido cefalorraquídeo o líquido peritoneal.

Materiales desechables que contengan esputo, secreciones pulmonares y cualquier material usado para contener éstos, de pacientes con sospecha o diagnóstico de tuberculosis o de otra enfermedad infecciosa según sea determinado por la SSA (Secretaría de Salud) mediante memorándum interno o el Boletín Epidemiológico.

Materiales desechables que estén empapados, saturados o goteando sangre, o secreciones de pacientes con sospecha o diagnóstico de fiebres hemorrágicas y materiales absorbentes utilizados en las jaulas de animales que hayan sido expuestos a agentes enteropatógenos.

Objetos punzocortantes: Los que han estado en contacto con humanos o animales o sus muestras biológicas durante el diagnóstico y tratamiento, únicamente: Tubos capilares, navajas, lancetas, agujas de jeringas desechables, agujas hipodérmicas, de sutura, de acupuntura y para tatuaje, bisturís y estiletes de catéter.

De hecho, según la NOM-052-SEMARNAT-2005, existe otra clasificación para los residuos peligrosos conocida como CRETIB, un acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa: Corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico ambiental, inflamable y biológico-infeccioso.

Ahora, haciendo uso de la Tabla 1.8 se definirán las características de cada una de las letras, tomando en cuenta diversos parámetros como el pH o la temperatura, ya que éstos pueden ser determinantes para considerar si un residuo es corrosivo o no por ejemplo (SEMARNAT, 2005).

Tabla 1.8 Clasificación CRETIB (SEMARNAT, 2005)

Característica	Parámetros para considerarlo como tal
Corrosivo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un líquido acuoso y presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5 ✓ Es un sólido que cuando se mezcla con agua destilada presenta un pH menor o igual a 2.0 o mayor o igual a 12.5 ✓ Es un líquido no acuoso capaz de corroer el acero al carbón, tipo SAE 1020, a una velocidad de 6.35 milímetros o más por año a una temperatura de 55°C (328K).
Reactivo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un líquido o sólido que después de ponerse en contacto con el aire se inflama en un tiempo menor a cinco minutos sin que exista una fuente externa de ignición ✓ Cuando se pone en contacto con agua reacciona espontáneamente y genera gases inflamables en una cantidad mayor de 1 litro por kilogramo del residuo por hora ✓ Es un residuo que en contacto con el aire y sin una fuente de energía suplementaria genera calor ✓ Posee en su constitución cianuros o sulfuros liberables, que cuando se expone a condiciones ácidas genera gases en cantidades mayores a 250 mg de ácido cianhídrico por kg de residuo o 500 mg de ácido sulfhídrico por kg de residuo.
Explosivo	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuando es capaz de producir una reacción o descomposición detonante o explosiva solo o en presencia de una fuente de energía o si es calentado bajo confinamiento.
Tóxico Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Cuando el extracto del Procedimiento de Extracción de Constituyentes Tóxicos (PECT) contiene cualquiera de los constituyentes tóxicos señalados en la Tabla 2 de esta Norma (NOM-052-SEMARNAT-2005) en una concentración mayor a los límites.
Inflamable	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es un líquido o una mezcla de líquidos que contienen sólidos en solución o suspensión que tiene un punto de inflamación inferior a 60.5°C, medido en copa cerrada, quedando excluidas las soluciones acuosas que contengan un porcentaje de alcohol, en volumen, menor a 24%. ✓ No es líquido y es capaz de provocar fuego por fricción, absorción de humedad o cambios químicos espontáneos a 25°C ✓ Es un gas que, a 20°C y una presión de 101.3 kPa, arde cuando se encuentra en una mezcla del 13% o menos por volumen de aire, o tiene un rango de inflamabilidad con aire de cuando menos 12% sin importar el límite inferior de inflamabilidad. ✓ Es un gas oxidante que puede causar o contribuir más que el aire, a la combustión de otro material.
Biológico-Infecioso	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Según lo que establezca la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002

Tabla 1.9 Categorías de los residuos biomédicos, su segregación, tratamiento y opciones de disposición para pacientes con COVID-19 (CPCB, 2020; BMW rule, 2016)

Categoría de residuo	Código de colores (bolsas no cloradas)	Pre-tratamiento requerido o no	Opción para disposición final
Residuos sucios como objetos contaminados con sangre (excepto bolsas de sangre) y fluidos corporales como ropa, yesos, cotonetes, etc.	Amarillo	No requerido	Incineración o entierro
Residuos líquidos generados debido a desinfectantes descartados, secreciones infectadas, fluidos corporales aspirados, líquido proveniente de lavado de pisos, laboratorios, limpieza del hogar, etc.	Amarillo	Sistema de separación de residuos	El desperdicio químico líquido debe ser tratado previamente antes de mezclarse con aguas residuales.
Material de protección personal como mascarillas, batas, cofias, etc. (Aquellos fabricados con fibra, excepto aquellos fabricados con plásticos desechables)	Amarillo	No se requiere	Incineración
Ropa blanca, colchones, sábanas contaminadas con fluidos corporales o sangre.	Amarillo	No se requiere	Desinfección química sin cloro seguida de incineración
Desperdicios de laboratorio microbiológico como cultivos, cepas, especímenes, vacunas, cajas petri y dispositivos usados para cultivos, bolsas de sangre, etc.	Amarillo	Tratamiento previo para esterilizar con sustancias químicas no cloradas o con autoclave, microondas, hidroclave en una bolsa de plástico segura y en un contenedor designado para tal fin	Tratamiento previo seguido de incineración.
Residuos generados de objetos desechables como tubos, botellas, tubos intravenosos, catéteres, bolsas de orina, jeringas (sin agujas) y guantes.	Rojo	No requerido	Autoclave, trituración seguido por reciclaje.
Objetos puntiagudos desechados que pueden causar perforaciones y cortadas como agujas, jeringas con agujas fijas, bisturís, etc.	Contenedores blancos (translúcidos), a prueba de perforaciones, derrames, seguros y resistentes.	No requerido	Autoclave o esterilización con calor seco seguido de trituración, mutilación o encapsulado en un contenedor metálico o en concreto o enviado para disposición final a fundidoras de hierro o vertederos sanitarios o agujeros de concreto designados para residuos.
Vidrio contaminado, roto o descartado incluyendo viales médicos y ampollitas, excepto aquellos contaminados con desperdicios citotóxicos.	Cajas de cartón con marcas color azul	No se requiere	Desinfección seguida de reciclaje.

Es importante mencionar la clasificación que se está dando a los residuos de COVID-19, la cual se encuentra establecida en la Tabla 1.9.

CAPÍTULO 2. MANEJO DE LOS RESIDUOS

2.1 Normatividad

India fue uno de los primeros países en implementar las normas del manejo de residuos biomédicos en 1998 bajo la Ley de Protección Ambiental de 1986 (MEF, 1998); estas normas sufrieron una actualización en 2016 que ataban cabos sueltos de la vieja normatividad para regular la disposición de diversas categorías de residuos biomédicos (MEFCC, 2016).

Si se busca un enfoque nacional, las autoridades regulatorias principales son la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), las cuales son apoyadas por diversas normas, entre ellas, la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (creada en 1988) y la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, la cual habla acerca de los programas existentes para dicha gestión de residuos, así como planes de manejo y autorizaciones para un correcto manejo (DOF, 2015b; Álvarez, 2008).

Mientras el INECC realiza las funciones administrativas y normativas derivadas de la política y de la gestión ambiental, la PROFEPA realiza las funciones de inspección y vigilancia del cumplimiento de la normatividad y de las resoluciones derivadas de los actos de autoridad del INECC (SEMARNAT, 2003)

Sin embargo, tener estas dependencias no significa que los problemas e irregularidades ambientales se acaben, se puede tomar como ejemplo el caso de la empresa DYSA en el año 2000, la cual era la encargada de recolectar y transportar residuos hospitalarios, en lugar de darles el tratamiento adecuado lo único que hizo fue abandonarlos en un baldío de su propiedad en la Delegación Tláhuac. Se descubrió por denuncias de olores fétidos por parte de vecinos y sólo se investigó que no causara una epidemia por la descomposición de residuos

(Álvarez, 2008). El manejo de residuos biomédicos no regulados es un problema de salud pública, ya que no sólo es considerada una amenaza para la salud humana, sino también para el ambiente y las futuras generaciones (Chartier y col., 2014).

2.2 Acuerdos y convenciones internacionales

A.1 Convención de Basilea

Regula los movimientos transfronterizos de residuos peligrosos y otros residuos bajo el “consentimiento informado previo” como una legislación nacional para prevenir y castigar el tráfico ilegal de residuos (peligrosos y no peligrosos) (Chartier y col., 2014).

A.2 Convención de Estocolmo (2006)

Es un tratado global para proteger la salud humana y el ambiente de contaminantes orgánicos persistentes. Los COP son dibenzo-p-dioxinas policloradas y dibenzofuranos que son estables y se distribuyen ampliamente, pueden acumularse en el tejido graso de 7 a 11 años (por ser su tiempo de vida media) y son tóxicos para el humano y la vida silvestre (WHO, 2016; WHO, 2007; SSC, 2006); las emisiones en aire de dioxinas y furanos no debe ser mayor a 0.1 ng I-TEQ/Nm³ (ng de nanogramo; I de internacional; CTE, Cantidad de Toxicidad Equivalente; Nm³ es un metro cúbico a una temperatura de 273K y presión de 1 atm) (WHO, 2007).

A.3 Convenio de Aarhus de la Comisión Económica de Naciones Unidas para Europa (1998).

Este acuerdo se enfoca en el acceso a la información, participación pública en la toma de decisiones y se encarga del acceso a la justicia en situaciones ambientales (Chartier y col., 2014).

A.4 Asociación Internacional de Residuos Sólidos

Es una asociación independiente, sin fines de lucro e internacional que busca promover y desarrollar el manejo de residuos de una forma profesional y sustentable a nivel mundial (WHO, 2007; SSC, 2006; WHO, 2004).

Gracias a la pandemia, diversos países prepararon guías, planes y avisos asociados con el manejo de residuos de COVID-19, entre ellos:

Afganistán: El Ministerio de Salud Pública de Afganistán emitió dos planes nacionales: El Plan Preliminar de Compromiso con los Accionistas y el Plan de Compromiso Ambiental y Social, ambos en marzo de 2020 (UNEP, 2020a).

China: El Ministerio de Ecología y el Medio Ambiente de la Población de la República de China emitió: El Aviso en el Manejo Ambiental de Residuos Médicos Ocasionados por COVID-19, Aviso para Emitir el Plan de Trabajo para el Manejo Comprensivo de Residuos en Instituciones Médicas, así como en Instituciones para COVID-19 y la Guía para el Manejo y Técnicas de Emergencia del Tratamiento y Disposición de Residuos Médicos Causados por COVID-19, entre enero y febrero de 2020 (UNEP, 2020a).

India: Además de las ya existentes Reglas para el Manejo de Residuos Biomédicos (versión 2016): Guías para el Manejo, Tratamiento y Disposición de Residuos Generados durante el Tratamiento/Diagnóstico/Cuarentena de Pacientes con COVID-19 emitidas por la Mesa Central de Control de la Contaminación (UNEP, 2020a).

Indonesia: Todos los asuntos relacionados con COVID-19 se encuentran bajo el control de la Agencia Nacional para el Control de Desastres; sin embargo, el Ministerio del Medio Ambiente y Bosque promulgó: Carta que involucra el Manejo de Desechos del Cuidado de la Salud en las instalaciones de salud durante la

emergencia por COVID-19; la Circular para el Manejo de desechos infecciosos y desechos del hogar de COVID-19 (UNEP, 2020a).

Japón: El Ministerio del Medio Ambiente Japonés solamente notificó a los gobiernos locales que recordaran el uso de las existentes guías y manuales para el manejo de desechos por el cuidado de la salud para que las aplicaran con los residuos de COVID-19 (UNEP, 2020a).

Kenya: El Ministerio de Salud emitió tanto la Guía para el Manejo Seguro y Disposición de Productos Seguros para la Prevención de la Diseminación de COVID-19 y las Recomendaciones Provisionales para la Prevención y Control de la Infección por la Enfermedad del Coronavirus de 2019 (COVID-19) en Ámbitos del Cuidado de la Salud (UNEP, 2020a).

México: El Gobierno de México emitió la Cartilla para Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de Residuos Sólidos Urbanos (UNEP, 2020a).

Nepal: La Unidad de Manejo de Desastres y Emergencias Sanitarias del Ministerio de Salud y Población ha emitido documentos guía provisionales: Guía Provisional para la Extensión del COVID-19 y Otros Servicios de Salud, 2020; Guía Provisional del Consejo Médico de Nepal para la Prevención y Control de la Infección cuando se sospeche de COVID-19; Guías Clínicas Provisionales para el Cuidado de Pacientes con COVID-19 en Centros Hospitalarios; Guía para el Manejo Clínico de COVID-19; Guías para el Uso de Equipo de Protección Personal-COVID-19; Guías para el Manejo de Cadáveres COVID-19 y el Procedimiento Normalizado de Operación para la limpieza y descontaminación de ambulancias (UNEP, 2020a).

Sudáfrica: La Estrategia de Higiene Nacional Pública para COVID-19 y la perspectiva de la respuesta del manejo de desechos a la pandemia por COVID-19 en el Oeste de Sudáfrica, 2020 (UNEP, 2020a).

Sri Lanka: Guía Provisional para el Manejo de Residuos Sólidos Generados por Hogares y Lugares bajo Cuarentena debido al Brote por COVID-19 (UNEP, 2020a).

Tailandia: Guías del Departamento de Salud para: Limpieza del personal, gobiernos locales, transportistas de desechos e Instalaciones de Disposición de Desechos (UNEP, 2020a).

2.3 Logística del manejo de residuos hospitalarios

El manejo de residuos provenientes de hospitales se distribuye en un proceso de diversos pasos: segregación, empaque y transporte.

El pilar del sistema de segregación de residuos es la separación de todos los residuos peligrosos de una mayor cantidad de residuos generales no peligrosos. Los residuos se segregan en diferentes fracciones basados en su peligro potencial y ruta de disposición, de la misma forma, debe haber disponibilidad de contenedores para cada fracción de residuo segregado (Capoor y Bhowmik, 2017).

Todos los residuos biomédicos deben etiquetarse por tipo de residuo, sitio donde se generó y fecha de cuándo se generó. Los residuos biomédicos se transportan a través de una ruta designada, con códigos de colores y en trolebús a prueba de fugas hacia el sitio de residuos comunes, posteriormente se transporta a la instalación de Tratamiento de Residuos Biomédicos Comunes para su tratamiento final y disposición (Capoor y Bhowmik, 2017).

Cada área de cuidado de pacientes debe proporcionar la bitácora de residuos donde se registró la cantidad de bolsas y su tamaño (según el código de color) que se entregaron a los trabajadores sanitarios (UN, 2010).

Para apoyar a la sociedad y superar la intervención manual que se tiene con sustancias peligrosas, existe un modelo de brazo robótico que permitiría segregar los residuos dependiendo del tipo de material y disponer de ellos en contenedores de colores (con programación previa claro) (Karnan y col., 2021); la razón detrás de esta idea innovadora es buscar remover los residuos biomédicos de una manera más segura evitando el contacto directo con los humanos, para así disminuir la diseminación de enfermedades infecciosas (Diya y col., 2018; Joshi y col., 2017; Dugdhe y col., 2016; Ahmad, 2004; Giannoccaro y col., 2013; Balakirsky y Kootbally, 2012; Tsagarakis y col., 2009).

Y claro, no se puede hablar sobre disposición de residuos hospitalarios sin los transportes que los llevarán a los lugares destinados para dicho fin, aquí es donde se ve involucrada la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la cual establecerá obligaciones a los transportistas de reparar los daños que la carga (materiales y residuos peligrosos) pueda ocasionar al medio ambiente; además, se debe tomar a consideración las diferencias del daño ocasionado por un accidente en carretera, barco, avión y/o las diferentes vías de transporte que se utilicen (Álvarez, 2008).

En cuanto a las características de los vehículos recolectores: Deben ser de caja cerrada y hermética, contar con sistemas de captación de escurrimientos, y operar con sistemas de enfriamiento para mantener los residuos a una temperatura máxima de 4°C (cuatro grados Celsius) (SEMARNAT, 2003); además, la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente establece que el transporte de residuos se realizará sólo cuando se haya llevado a cabo el pago y el llenado de los formatos correspondientes (DOF, 2015a). Los

vehículos destinados al transporte de residuos peligrosos tendrán que registrarse y utilizarse solamente para dicho fin (Álvarez, 2008).

Según una propuesta del Banco de Desarrollo Asiático, la recolección de desechos de COVID-19 tendría que ser realizada por personal bien entrenado y vehículos especiales. Un transporte seguro requiere vehículos que puedan ser esterilizados, conductores y recolectores entrenados, rutas bien establecidas y equiparse con sistemas de rastreo de desechos (ADB, 2020a).

El personal de transporte debe usar equipo de protección personal adecuado. El sitio de almacenamiento central se limpia una vez a la semana, es necesario que cuente con piso impermeable y reforzado con un buen drenaje según las guías de la OMS; el vehículo debe ser de un tamaño adecuado para los desechos y es de suma importancia que cuente con artículos para el manejo de residuos biomédicos, equipo de protección personal y equipo de limpieza (Chartier y col., 2014; FGI, 2010; UN, 2009).

Ahora, se describirá paso a paso qué acciones se deben llevar a cabo para el manejo de los residuos contaminados con COVID-19:

Recolección: Todos los desperdicios hospitalarios, incluyendo aquellos que vienen de pacientes con COVID-19 confirmado, deben considerarse infecciosos y colocarse en cajas de seguridad claramente marcadas (WHO, 2020a). Aquellos residuos confirmados con COVID-19 deben ser desinfectados apropiadamente, luego separarlos y empaquetarlos en bolsas apropiadas (de doble capa) (MEEPRC, 2020). Antes de guardar y disponer finalmente de los residuos, deben desinfectarse con hipoclorito de sodio al 1% al menos 30 minutos (Chandra, 2021).

Separación adecuada y almacenamiento: Los residuos se colocarán en diferentes bolsas dependiendo de su naturaleza, se cerrarán adecuadamente para evitar que salga cualquier contenido, se rociarán con una solución al 0.5%

de cloro y se almacenarán (Chartier y col., 2014) en un cuarto especial para que no se mezclen con otros residuos (Chandra, 2021).

Transporte: Residuos contaminados con COVID-19 deben tener código de barras y documentarse antes de transportarse, es necesario que el vehículo se esterilice con hipoclorito de sodio al 1% después de cada viaje (BMW Rule, 2016).

Tratamiento y disposición: Los principales métodos de tratamiento de residuos de COVID-19 son tratamiento químico, esterilización en autoclave e incineración (MEEPRC, 2020), sin embargo, es preferible utilizar los dos primeros métodos, ya que la incineración genera gases peligrosos como furanos y dioxinas, que pueden causar cáncer, diabetes, neurotoxicidad, inmunotoxicidad y cloracné; además, por la formación de gases tóxicos como dioxinas o furanos debido a la incineración de residuos biomédicos (especialmente de aquellos fabricados a partir de CPV ya que es la fuente más grande de producción de dioxinas en el ambiente), se puede causar daño a los sistemas nervioso y reproductivo luego de una exposición crónica y la disposición de estos residuos puede resultar en contaminación del aire, agua y tierra, esto debido a que el lixiviado proveniente de residuos biomédicos es mucho más contaminante que aquel originario de hogares (Zubair y Adrees, 2019; Mattiello y col., 2013; Omrani y col., 2007; Asadi y Moghadda, 2005).

CAPÍTULO 3. CONVERSIÓN DE LOS RESIDUOS A ENERGÍA

3.1 Ejemplos de los tratamientos de conversión de los residuos hospitalarios a energía en el mundo

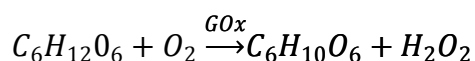
Las tecnologías de tratamiento de residuos incluyen procesos químicos, térmicos, tecnologías de irradiación, procesos biológicos, desinfección y esterilización (Capoor y Bhowmik, 2017). Además, es importante mencionar que los residuos contienen una cantidad significativa de energía almacenada en los enlaces químicos de sus componentes, su conversión en una forma reusable podría ser considerado como un abastecimiento de energía limpia y contribuir a resolver el problema de residuos globales, en el caso de México, se cuenta con la NOM-161-SEMARNAT-2011, la cual clasifica y determina los planes de manejo de residuos considerados como de manejo especial, a través de diversos criterios que permiten la valorización de los mismos (Arcuri y col., 2013; DOF, 2013).

Las celdas de combustible biológicas son una solución innovadora para lograr una economía global sostenible (basándonos en lo establecido en los objetivos de desarrollo sustentable de la Agenda 2030, específicamente en los objetivos 8, 12 y 13); dicha tecnología permite alcanzar los objetivos de producción de energía sostenible y el tratamiento de residuos, a través de la conversión directa de materia orgánica a electricidad usando biocatalizadores (Osman y col., 2011; Rinaldi y col., 2008).

Dentro de las celdas de combustible biológicas, las celdas de combustible enzimáticas han captado la atención, ya que se pueden aplicar a fuentes de poder para dispositivos electrónicos portátiles. Estas celdas se basan en la conversión de energía química en eléctrica a través de enzimas catalíticas, las

cuales requieren de un combustible o fuente de energía que pueda ser oxidado inmediatamente (Osman y col., 2011; Rinaldi y col., 2008).

Los desechos médicos consisten en materiales que no pueden ser utilizados tan fácilmente para la producción de energía, a excepción de la sangre y la saliva (aún cuando se pueden considerar residuos peligrosos biológico infecciosos). Estos fluidos biológicos, de entre todos sus componentes, contienen glucosa, la cual se puede utilizar para producir energía al ser rápidamente oxidable, ya que es la molécula que juega el papel principal en la bioquímica de los animales. El biocatalizador más adecuado diseñado para la conversión de glucosa es la glucosa oxidasa (GOx), una enzima oxidorreductasa que se encuentra habitualmente en bacterias y hongos (como *Aspergillus Niger*), la cual cataliza la oxidación de la β-D glucosa en β-D-gluconolactosa (Mecheri y col., 2013; Mecheri y col., 2011).



Es necesario recalcar que, en México, la disposición de órganos, tejidos y células es llevada a cabo por la COFEPRIS según el artículo 17 bis en la Ley General de Salud (LGS) (DOF, 2021; Álvarez, 2008).

Entonces muchos se preguntan ¿cuál es el método más seguro para la disposición de los residuos hospitalarios? Sin embargo, es una pregunta difícil de responder, ya que depende del residuo y de las condiciones de la región que se encargará de tratarlo. Existen varias compañías dedicadas al manejo y disposición de residuos médicos, no obstante los residuos terminan normalmente en un vertedero. Convertir los residuos hospitalarios en calor y electricidad, con la cantidad mínima de emisiones, parece ser una alternativa viable, eficiente y ecológica. Dicha conversión puede suceder a través de un proceso llamado gasificación, el cuál no es un concepto nuevo, pero quedó en el olvido cuando los combustibles fósiles se volvieron abundantes. La gasificación es el proceso en el

cual se degrada cualquier materia orgánica (es decir, aquella que contiene carbono) en un gas conocido como gas de síntesis (Woods, 2020).

La gasificación plasmática de residuos explota las propiedades termoquímicas de los residuos; debido a las altas temperaturas, los componentes inorgánicos de los materiales tratados se funden, los componentes orgánicos se volatilizan y las moléculas complejas se disocian. Los materiales orgánicos (conteniendo carbono, hidrógeno y oxígeno en sus enlaces principalmente) se degrada en gas de síntesis (CO, H₂, N₂), el cual puede ser utilizado como combustible de alta calidad o en la industria de la síntesis química (Messerle y col., 2018; Hrabovsky y Van Der Walt, 2017).

El gas de síntesis limpio producido por la gasificación plasmática puede convertirse en una amplia variedad de productos energéticos, incluyendo electricidad, a través de turbinas de gas, motores alternativos y (en el futuro) celdas combustibles (pila de combustible) (Zhovtyansky y Valincius, 2018).

El gasificador de plasma puede ser acoplado a un motor de combustión interna para la generación de electricidad; además de que el gasificador se alimenta de residuos biomédicos, una antorcha plasmática (que permite alcanzar temperaturas de 1000 K - 10,000 K y tiene un requerimiento energético de 2.88 a 4.5 kilowatt-hora/kg cuando la temperatura es de 1600 K) usa energía de la red de distribución para transformar los residuos biomédicos en residuos inertes y gas de síntesis, este último es consumido por el motor de combustión interna y genera electricidad, la cuál es distribuida en la red; según un artículo enfocado a la gasificación de plasma en residuos hospitalarios, el balance de energía está definido en 497.1 MJ/h de entrada y 495.9 MJ/h de salida, demostrando así un balance energético positivo (Paulino y col., 2020; Messerle y col., 2018).

3.2 Tipos y características de los residuos relacionados específicamente de COVID-19

Los peligros ambientales de la disposición final de residuos dependen del método de eliminación y de la aptitud de las sustancias residuales para ser eliminadas por dicho método (Álvarez, 2008). En términos de calidad, el equipo de protección personal que usa actualmente el profesional de la salud no está diseñado específicamente acorde a las características del virus del COVID-19, tiene limitaciones en cuanto a su comodidad y seguridad, sobretodo cuando se usa por largos periodos de tiempo (Vidua y col, 2020).

Las recomendaciones de la OMS con respecto al equipo de protección personal para trabajadores hospitalarios incluye una mascarilla N-95 (o equivalente), protección facial u ocular, bata de manga larga y guantes (WHO, 2020c). Este equipo fue diseñado para usarse máximo por 2 o 3 horas, estudios señalan que trabajar con este equipo por más de 4 horas puede generar dolores de cabeza o exacerbar dolores de cabeza pre-existentes (Ong y col., 2020).

Para el caso del equipo de protección personal, existen ciertos atributos conocidos como características preferidas del producto, dichas características se clasifican en 3 grupos principales: Diseño, desempeño del material y utilidad; la innovación de una característica puede modificar la protección deseada, por lo que es necesario tomar en cuenta la evaluación de riesgos del producto (WHO, 2018a), a continuación se presenta la Tabla 3.1 con las 10 características más importantes con las que debe contar el equipo de protección personal. Por otro lado, no se pueden dejar de lado estas características sin antes contar con una pequeña descripción de cada una de ellas:

Proteger las membranas mucosas.

- ✓ El equipo de protección personal debe estar diseñado del tal manera que prevenga la exposición de las áreas mucosas (boca, nariz y ojos) y la piel del profesional de la salud, ya que de otra manera dicho personal se

contaminaría con los fluidos corporales de los pacientes infectados. El EPP debe estar construido de tal manera que impida la contaminación involuntaria (WHO, 2018a).

- ✓ Mascarillas del tipo N95 han mostrado un efecto protector significativo contra epidemias como el SARS (Verbeek y col., 2016; Nishiura y col., 2005; Teleman y col., 2004), mientras que otro estudio ha mostrado una reducción en la transmisión de virus respiratorios en un 99% cuando se usan dichas mascarillas (Jefferson y col., 2011).

Tabla 3.1 Lista de las 10 características preferidas del producto separadas por grupo (WHO, 2018a)

Grupo	Características
Diseño	Proteger las membranas mucosas
	Minimizar el número de uniones que componen al equipo de protección personal (es decir, donde los elementos del EPP se conectan), deben ser cómodas y a prueba de fugas
	Proveer visibilidad sin obstrucciones
	Permitir la capacidad de comunicación
	Basarse en las facciones para tener un tamaño adecuado y comodidad
Desempeño del material	Capaz de proteger durante toda la jornada laboral
	Capaz de resistir desinfecciones continuas (para objetos no desechables)
	Empaque que pueda soportar condiciones de almacenamiento no favorables
Utilidad	Protocolo estandarizado para la colocación y remoción del equipo de protección personal con la menor cantidad de pasos
	Disponer del equipo de protección personal de una manera no tóxica y amigable con el ambiente

Minimizar el número de uniones que componen el equipo de protección personal.

- ✓ Muchos problemas relacionados con el retiro del EPP es con las uniones del mismo. Los sellos alrededor de las uniones (guantes, batas, cofias, lentes, mascarillas, calzado) atrapan salpicaduras contaminadas, lo cual compromete la seguridad del retiro del equipo, aumentando el riesgo al que se somete el profesional de la salud (Fernández y col., 2015; Fraser y col., 2015; Edlich y col., 2003; Meyer y Beck, 1995).

Proveer visibilidad sin obstrucciones.

- ✓ El EPP suele usarse en condiciones calurosas (debido al movimiento que realizan constantemente los profesionales de la salud), por lo que suele existir interferencia con las actividades clínicas diarias a causa del sudor y el empañamiento, limitando así el campo de visión (WHO, 2018a).
- ✓ Es importante que el trabajador de la salud tenga una visión completa aún usando el equipo de protección mientras realiza sus actividades, la visibilidad debe ser tal que el paciente pueda observar quién lo atiende (WHO, 2018a).

Permitir la capacidad de comunicación.

- ✓ Cuando el profesional de la salud se encuentra completamente cubierto por el equipo de protección personal, no se puede comunicar adecuadamente con el paciente, lo cual puede causar que se cometan errores durante el cuidado de la salud (WHO, 2018a).
- ✓ Por lo que es necesario que el EPP permita hablar y escuchar al paciente y a los colegas, lo cual mejoraría de sobremanera la documentación de los expedientes clínicos (WHO, 2018a).

Basarse en las facciones para tener un tamaño adecuado y comodidad.

- ✓ El trabajador de la salud debe estar protegido y al mismo tiempo cómodo durante toda la jornada, aún cuando las condiciones ambientales no sean las habituales (WHO, 2018a).
- ✓ El equipo no debe limitar el movimiento del usuario, de esta manera mejorará el cuidado que se le dará a los enfermos (WHO, 2018a).

Capaz de proteger durante toda la jornada laboral.

- ✓ Los puntos de presión del EPP (codos, rodillas y parte trasera de los pantalones) deben ofrecer protección cuando la presión se aplica, las áreas de menor exposición no necesitan ser resistentes a líquidos (WHO, 2018a).
- ✓ El frente del EPP debe cubrir preferentemente 180° de la superficie corporal, la protección trasera debe exceder el tiempo que requiere para retirarse para

ser considerada adecuada; el EPP debe ser efectivo por más de 40 minutos y hasta 4 horas; aunque claro la situación requiere probablemente que se use por más tiempo (WHO, 2018a).

- ✓ El uso de batas hospitalarias está asociado con una reducción del riesgo del 77% en la transmisión de virus respiratorios a los profesionales de la salud (Jefferson y col., 2011).
- ✓ Los materiales utilizados para la fabricación de EPP debe permitir una buena respiración, durabilidad y repeler líquidos, además de contar con propiedades bactericidas y con la capacidad de eliminar virus (WHO, 2018a).

Capaz de resistir desinfecciones continuas (para objetos no desechables).

- ✓ Tanto la función como la integridad del EPP deben mantenerse luego de múltiples limpiezas y desinfecciones (WHO, 2018a).
- ✓ La desinfección debe realizarse con una solución al 0.5% de cloro, es importante recalcar que la solución debe ser fresca, ya que su capacidad desinfectante es rápidamente oxidada (WHO, 2018a).

Empaque que pueda soportar condiciones de almacenamiento no favorables.

- ✓ El almacenamiento adecuado normalmente requiere de un lugar seco y limpio, bajo condiciones no óptimas, los contenedores y empaques suelen romperse, comprometiendo el EPP y sus contenidos. Por lo que es necesario que los empaques internos y externos se diseñen de tal manera que se mantenga su integridad a altas temperaturas y humedad alta (WHO, 2018a).

Protocolo estandarizado para la colocación y remoción del equipo de protección personal con la menor cantidad de pasos.

- ✓ La colocación y remoción del EPP es un proceso que puede llegar a causar confusión y frustración al profesional de la salud, por lo que se requiere un protocolo que sea fácil de seguir (WHO, 2018a).
- ✓ Además, es necesario que exista un observador entrenado que se asegure que el protocolo se lleva a cabo adecuadamente; existen estudios que

comparan protocolos de colocación y remoción de EPP, éstos mostraron una reducción significativa en la contaminación ambiental y corporal cuando se usaba un sistema reforzado que incluía a un especialista observador de la remoción del equipo (Casalino y col., 2015; Guo y col., 2014).

Disponer del equipo de protección personal de una manera no tóxica y amigable con el ambiente

- ✓ Se genera una cantidad masiva de desechos originarios de hospitales o instalaciones del cuidado de la salud, el principal tratamiento que se les da es la incineración y el entierro (WHO, 2018a).
- ✓ La descontaminación y disposición de los desechos debe evitar dejar rastros tóxicos que impacten negativamente al ambiente, una opción sería utilizar materiales biodegradables para reducir el volumen del desecho (WHO, 2018a).

3.2.1 Categorización del plástico utilizado en el equipo de protección personal y otros objetos de uso diario

Los autores Buragohain y col. (2020) y Bahraini (2018) realizaron la categorización de los plásticos de la siguiente manera:

A) Tereftalato de Polietileno (TPE) - Introducido por J. Rex Whinfield y James T. Dickson en 1940. Es uno de los plásticos más comúnmente usados en el mundo.

B) Polietileno de Alta Densidad (PEAD) - Producido por Karl Ziegler y Erhard Holzkamp en 1953. Se utilizaron presiones bajas y catalizadores para crearlo. Se utiliza para manufacturar una gran variedad de productos actualmente. No se rompe al exponerse al frío o calor extremos. Alrededor del 12% de todo el PEAD se recicla anualmente.

C) Cloruro de Polivinilo (CPV) - Es uno de los materiales sintéticos más antiguos utilizados en la producción industrial. El CPV se descubrió

accidentalmente dos veces: primero por un médico francés llamado Henri Victor Renault en 1838 y de nuevo por un químico alemán llamado Eugen Baumann en 1872. Ambos descubrieron el CPV dentro de botellas de cloruro de vinilo las cuales se dejaron expuestas a la luz del sol. En general, el CPV es uno de los plásticos que menos se recicla, menos del 1% se recicla anualmente. El CPV contiene numerosas toxinas y es peligroso para la salud humana y el ambiente, por lo que se le conoce como “el plástico venenoso”.

D) Polietileno de baja densidad (PEBD) - Es considerado como el abuelo de los materiales, ya que fue el primer polietileno que se produjo. Cuenta con una menor masa al compararlo con el polietileno de alta densidad y por lo tanto se considera como un material diferente para el reciclaje. Los contenedores y empaques que están fabricados con PEBD conforman el 56% de todos los desechos plásticos. El 75% de estos desechos son originarios de hogares residenciales. Sin embargo para nuestra fortuna muchos programas nuevos de reciclaje están evolucionando para manejar estos productos.

E) Polipropileno (PP) - En 1951, Paul Hogan y Robert L. Banks de la compañía de petróleo Philips descubrieron el polipropileno. Durante ese tiempo, de hecho, estaban tratando de convertir el propileno en gasolina, pero terminaron descubriendo un nuevo proceso catalítico para fabricar plástico. Sólo una pequeña porción de este plástico se recicla cada año. En los EE. UU., sólo el 3% de los productos de polipropileno son reciclados.

F) Poliestireno o espuma de poliestireno (PS) - Mientras preparaba medicamentos, el boticario alemán Eduard Simon accidentalmente descubrió el poliestireno en 1839. Lo encontró en la resina natural pero no se dio cuenta. Más tarde, el químico alemán Hermann Staudinger lo investigó y expandió su uso. El poliestireno es ligero y fácil de deformar, por lo que se rompe fácilmente, volviéndolo más y más peligroso para el ambiente.

G) Otros plásticos - Policarbonato, polilactida, acrílico, acrilonitrilo, butadieno, estireno, plástico reforzado con vidrio y nylon son los plásticos restantes; es necesario considerar que hay diferencias entre los plásticos que entran en los programas de reciclaje. Estos plásticos, por ejemplo, no son fáciles de degradar a menos que se expongan a altas temperaturas, lo cual da como resultado que sea prácticamente imposible reciclarlos.

3.2.2 Mascarillas

Provee protección al usuario de salpicaduras y gotas que pudieran caer en nariz, boca y tracto respiratorio. Debe usarse apropiadamente (cubriendo nariz y boca) por todos los profesionales de la salud. Si se anticipa que pueden existir salpicaduras de sangre o fluidos corporales, puede usarse (en conjunto con las mascarillas) una careta. Hay que cambiarlo inmediatamente si se ensucia y no debe colocarse en el cuello del usuario. Es necesario almacenarlo en su empaque original y cuando se deje de utilizar hay que retirarlo con ayuda de los cordones con los que cuenta (NIPCM, 2020; Coia y col., 2013).

Existe una variación de mascarillas llamadas FFP3, los cuales tienen como propósito proteger al usuario de patógenos que se transmiten por el aire (como sarampión, varicela, tuberculosis, etc.) y cuando se llevan a cabo procedimientos que pueden generar aerosoles en pacientes con infecciones del tracto respiratorio como influenza o COVID-19. Todos los profesionales de la salud que requieran de la mascarilla FFP3 deben pasar por una prueba de ajuste (para asegurar que el equipo no tenga fugas) y recibir una capacitación en cuanto a su uso. Deben cambiarse cada vez que se encuentren visiblemente sucios y/o si la respiración se vuelve difícil (NIPCM, 2020; Coia y col., 2013).

El virus puede llegar a sobrevivir hasta 7 días en mascarillas, pero las mascarillas N95 pueden descontaminarse con vapor de peróxido de hidrógeno al 11% (Chandra, 2021).

3.2.3 Guantes

Deben ser utilizados cuando existe la probabilidad de exponerse a sangre, fluidos corporales, secreciones o excreciones y cuando se maneja equipo contaminado. Puede existir el incremento de riesgo de transmitir infecciones a pacientes vulnerables si no se remueven correctamente y se completa el lavado efectivo de manos (o descontaminarlas con alcohol), los guantes deben cambiarse cuando se han contaminado, por ejemplo, cuando hay un cambio de paciente o cuando se le realizará un procedimiento diferente al mismo paciente, siempre se debe proceder al lavado de manos luego de remover los guantes (NICE, 2019). Deben colocarse inmediatamente antes de comenzar con la tarea que los requiere y retirarse lo más pronto posible luego de completar dicha tarea (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

Los tipos de guantes que se utilizan normalmente son:

A) Polietileno: Material delgado y con tendencia a rasgarse, no son la opción adecuada para escenarios del cuidado de la salud (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

B) De vinil (CPV): Son menos efectivos que los guantes de látex al momento de proveer una barrera impermeable contra microorganismos. Generalmente quedan flojos y no son adecuados para procedimientos que requieren de destreza manual. El uso de guantes de vinil en el cuidado de la salud está limitado (Klemeš y col., 2020; NIPCM, 2020; Prata y col., 2020; CDC, 2004).

C) Látex: Mucho más ajustados que los de vinil y proveen una barrera de mayor efectividad contra los microorganismos, actualmente el equipo y las instalaciones médicas se están volviendo libres de látex debido al riesgo de alergia que suelen tener algunos pacientes y trabajadores (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

D) Nitrilo (acrilonitrilo): Comparable al látex en proveer la barrera biológica, sin embargo muestra una elasticidad menor. Los guantes de nitrilo son la elección

común para uso cuando se requiere un ambiente libre de látex (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

E) Neopreno: Tiene propiedades similares al látex y es el reemplazo más popular en situaciones donde se requieren guantes libres de látex y la destreza manual es necesaria (como en una cirugía), sin embargo son una alternativa más cara (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

Los guantes deben almacenarse en su empaque original en una superficie seca y limpia o en la pared, los trabajadores de la salud no deberían llevar los guantes en los bolsillos de su ropa/uniformes (CDC, 2004), ya que, el virus del COVID-19 puede sobrevivir en guantes hasta 8 horas (van Doremalen y col., 2020; Kampf y col., 2020).

3.2.4 Ropa de protección médica

Estas prendas están diseñadas para proteger uniformes/ropa de humedad/suciedad durante el cuidado directo del paciente. En los casos donde hay una extensa contaminación de sangre/fluidos corporales, por ejemplo en unidades de maternidad, urgencias o cuando el paciente requiere de cuidado directo donde hay contacto piel con piel, lo más apropiado es utilizar una bata de manga larga que sea repelente de fluidos (NIPCM, 2020; CDC, 2004).

Deben almacenarse en un área limpia y, si son desechables, deben cambiarse entre pacientes e incluso entre diferentes procedimientos en el mismo paciente; antes de disponer de las batas, deben doblarse y colocarse en el recipiente de desechos (NIPCM, 2020; CDC, 2004). En las batas desechables el virus sobrevive 24 horas (van Doremalen y col., 2020; Kampf y col., 2020).

3.2.5 Caretas y protección ocular

Las caretas están compuestas habitualmente de polipropileno (PP) (Klemeš y col., 2020; Prata y col., 2020).

La protección facial y ocular debe usarse cuando hay riesgo de salpicaduras con fluidos corporales en las membranas mucosas (por ejemplo nariz/ojos). Los ojos pueden protegerse ya sea usando googles o un visor. Lentes personales no son un sustituto adecuado. Si se usa protección facial/ocular reutilizable, debe descontaminarse de acuerdo a las guías del fabricante o lineamientos previamente establecidos. Las manos siempre deben descontaminarse luego de remover el equipo (NIPCM, 2020; Coia y col., 2013).

El equipo de protección ocular/facial adecuado debería: Cubrir toda el área facial (careta) si la protección del área bucal y nasal también es requerida. Cambiarse si se encuentra visiblemente sucio. Retirarse utilizando auriculares o diademas para así evitar el contacto con superficies potencialmente contaminadas. Disponer de dicho equipo luego de su uso si es desechable o colocarse en un contenedor para desinfección y reciclaje posterior. Contar con propiedades para evitar el empañamiento (NIPCM, 2020; Coia y col., 2013).

El virus puede mantenerse activo en este equipo de protección personal por 3 días (van Doremalen y col., 2020; Kampf y col., 2020). Las caretas y los googles pueden descontaminarse con una solución de hipoclorito de sodio al 0.5% y alcohol etílico al 70% (Chandra, 2021).

3.2.6 Aguas residuales

La supervivencia del coronavirus en agua depende de diversos factores como la temperatura, materia orgánica y microorganismos aerobios (Gundy y col., 2009). Debido a la desnaturalización de enzimas virales y proteínas, la carga viral disminuye en agua cuando se aumenta la temperatura (John y Rose, 2005). Se ha observado que el 99.9% del coronavirus se redujo en agua dentro de un lapso de 10 días a temperatura ambiente y en un lapso de 100 días a 4°C (Gundy y col., 2009). La materia orgánica y sólidos presentes en el sistema de aguas residuales respaldan la supervivencia del coronavirus; debido a que el virus es menos soluble por la propiedad hidrofóbica de su envoltura vírica y puede adherirse

fácilmente a los sólidos presentes en las aguas residuales. Por otra lado, si disolventes y/o detergentes están presentes en dichas aguas residuales, éstos pueden desactivar la envoltura vírica y finalmente reducir la carga viral a temperatura ambiente (Gundy y col., 2009).

A pesar de que el coronavirus aún no se ha detectado en agua tratada para consumo ni en aguas freáticas ni superficiales, su presencia en agua para consumo no tratada no se puede evitar (WHO, 2020a).

El riesgo de presencia de coronavirus en reservas de agua regulares es bajo (WHO, 2017b). Sin embargo, el RNA de SARS-COV-2 en excremento de pacientes con COVID-19 se ha reportado (Holshue y col., 2020; Wang y col., 2020a,b). En 2003, la transmisión del virus SARS a través de pipas de drenaje se reportó en los apartamentos Amoy Gardens en Hong Kong (Hung, 2003). De hecho, hay un reporte reciente que sugiere la transmisión de COVID-19 a través del drenaje en Hong Kong, pero no se ha confirmado aún (Gormley y col., 2020). Por lo tanto, la posible transmisión de COVID-19 por el excremento a través del drenaje no puede evitarse del todo y debería desinfectarse apropiadamente antes de la disposición final. En este escenario, aplicación de tecnología como estanque de oxidación con pH elevado, tiempos de retención más largos y luz solar son parte de un proceso que es considerado como una muy buena opción para tratar las aguas residuales y destruir el patógeno (WHO, 2020a). Por otro lado, el cloro (al ser un desinfectante efectivo y barato) puede ser usado como una alternativa al estanque de oxidación para el tratamiento de aguas residuales contaminadas con coronavirus. El cloro que reacciona con el amoníaco presente en las aguas residuales da como producto cloraminas, las cuales son más efectivas como desinfectantes pero son tóxicas para el ser humano (Rutala y Weber, 1997).

Una dosis de cloro entre 0.2-0.5 mg/L por 30 minutos y un pH menor que 8 se ha recomendado para desinfectar el virus SARS en el agua (WHO, 2017b; Bibby y col., 2015). Además del cloro, también se sugiere el tratamiento de agua

contaminada con coronavirus a través del método de luz UV, el cual consiste en colocar una fuente de luz UV (dividida en UVA, UVB y UVC) encima de una muestra a 3 cm de distancia por 15 minutos, permitiendo así la desinfección por la absorción de UVC por parte de las bases nitrogenadas del RNA y el DNA del virus, que causa una fusión fotoquímica de dos pirimidinas adyacentes en dímeros con enlaces covalentes, volviéndolas bases no pareadas, UVB causa una reacción similar pero en menor proporción y UVA causa daño genético a través de la producción de especies reactivas de oxígeno las cuales permiten la oxidación de las bases (Lai y col., 2005; Darnell y col., 2004).

En pueblos y otras áreas rurales donde las instalaciones de abastecimiento de agua potable no están disponibles, las personas pueden utilizar técnicas de desinfección como cloración y hervido contra el patógeno viral (WHO, 2020a).

3.2.7 Otros residuos

Los contenedores para desechar residuos de COVID-19 no deben colocarse en lugares públicos (Chandra, 2021).

Cadáveres generados por el COVID-19: El virus puede permanecer activo en los pulmones y otros órganos después del deceso (WHO, 2020b), cualquier orificio generado en el cuerpo debe ser desinfectado con hipoclorito al 1% para que posteriormente se cierre, colocar el cuerpo en una bolsa que no permita derrames y llevarlo al crematorio o funeraria (CDC, 2020a; Osborn y col., 2020).

3.3 Tratamientos termoquímicos para residuos de COVID-19

Comúnmente las tecnologías de tratamiento térmico han sido ampliamente utilizadas para tratar residuos peligrosos, entre las que destacan la incineración, la pirólisis plasmática, tratamiento con microondas y tratamiento con vapor (Klemeš y col., 2020).

Incineración: Proceso por el cual los residuos son sometidos a temperaturas muy altas para su degradación (Álvarez, 2008), reduciendo la masa y volumen de los mismos aproximadamente entre un 85% y un 90%, para finalmente disponer de las cenizas en un vertedero especial (Wang y col., 2020a), la temperatura de los incineradores debe estar en un rango entre 850°C a 1100°C por 1 hora con 20 minutos para asegurar la completa descomposición de las sustancias (WHO, 2017a; WHO, 2003).

También se considera como un proceso de oxidación seca a una temperatura alta que reduce el residuo orgánico y combustible a materia inorgánica e incombustible, lo cual resulta en una reducción significativa del volumen y peso del residuo. Como desventaja tiene la liberación de dioxinas y furanos y ceniza residual; los residuos que no pueden tratarse con incineración son contenedores de gas presurizado, residuos químicos reactivos, sales de plata, desechos fotográficos o radiográficos, plásticos CPV, metales pesados, baterías, ampollitas selladas o viales, materiales radioactivos ni medicamentos inestables (DOE, 2012; Batterman, 2004; Emmanuel, 2001).

Vitrificación: Este proceso es una alternativa viable que ayuda a transformar una sustancia en vidrio. Usualmente, se hace uso de esta técnica como método de disposición para desechos radioactivos, sin embargo puede adoptarse para inmobilizar permanentemente la contaminación por cenizas peligrosas. Las cenizas pueden mezclarse con sustancias químicas capaces de formar vidrio dentro de un dispositivo fundidor para formar el vidrio fundido. Esta técnica de encapsulación de componentes peligrosos originarios de la ceniza provee de un material duradero y sin fugas capaz de atrapar los contaminantes. Por consiguiente, las cenizas vitrificadas pueden usarse para producir materiales de cerámica-vidrio, el proceso se lleva a cabo a 720°C por 90 minutos para la nucleación (formación inicial del cristal a partir de una disolución, líquido o vapor) y posteriormente a 870°C por 10 horas para el crecimiento del cristal (Vivek y col., 2019; Park y Heo, 2002).

Cabe destacar que, en tratamientos que requieren de la reacción de combustión (como en el caso de la incineración), se pueden obtener subproductos como monóxido de carbono, óxidos de azufre y nitrógeno, etcétera, los cuales son contaminantes del aire. Además, las plantas de tratamiento térmico generalmente se construyen cerca de aglomeraciones urbanas y plantean riesgos sanitarios como fallas de operación que dan como resultado la aparición de dioxinas (Álvarez, 2008).

Pirólisis de plasma: Hace uso de gas ionizado en estado de plasma para modificar la energía eléctrica a temperaturas de varios miles de grados usando antorchas de plasma o electrodos con una mínima cantidad de aire o sin aire. Se usa para degradar residuos patológicos, infecciosos, plásticos, químicamente peligrosos o medicamentos. Es seguro, ecológico, se puede recuperar la energía y tiene emisiones de furanos y dioxinas insignificantes. La producción de mezclas de residuos pueden usarse como material de construcción, sin embargo, sus desventajas son grandes costos de inversión inicial, contaminación por dióxido de carbono, gran aporte de energía eléctrica, flamas de plasma altamente corrosivas que causa un mantenimiento frecuente del sistema (CPCB, 2016; Nema y Ganeshprasad, 2002; Emmanuel, 2001).

La pirólisis plasmática (que trabaja a una temperatura de 540-830°C) da como resultado residuos inertes, reducción del volumen y de masa hasta en un 95% y 90% respectivamente, la duración del proceso depende de las toneladas de residuos insertados, aproximadamente el rango es de 0.3-3 toneladas/hora (Wang y col., 2020a,b; CPCB, 2016).

En breve, la Tabla 3.2 señalará las tecnologías principales para el tratamiento de los residuos biomédicos originarios del tratamiento a pacientes con COVID-19.

Tabla 3.2 Acercamientos tecnológicos para el tratamiento de residuos contaminados con COVID-19 (Modificada de Hantoko y col., 2021)

Criterio	Tecnologías preferidas		Tecnologías secundarias preferidas			Soluciones de emergencia
	Autoclave/Esterilización por vapor	Microondas	Incinerador de doble cámara	Incinerador de ladrillo "De Montfort"	Incineradores de barril con inducción de aire	Entierro
Condición	Estático o móvil	Estático o móvil	Estático o móvil	Estático	Móvil	Estático
Costo	Bajo	Medio	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Escala tecnológica	200-10,000 L/ciclo	30-500 L/ciclo	50-2000 kg/h	15-50 kg	8-25 kg/h	5-10 toneladas de desperdicio
Útil para /tipo de residuo	Residuos sucios (con sangre, fluidos corporales, etc.). Sábanas y equipo de protección personal. Residuos de laboratorio clínico. Instrumentos reutilizables. Portaobjetos desechados.	Igual que por Autoclave/Esterilización vapor.	Residuos sucios. Sábanas y equipo de protección personal. Residuos anatómicos humanos. Residuos químicos. Residuos de laboratorio.	Residuos sucios. Equipo de protección personal. Residuos químicos y de laboratorio.	Igual que Incinerador de ladrillo "DeMontfort".	Residuos sucios. Equipo de protección personal. Residuos del laboratorio clínico. Instrumentos desechables.

Tecnologías de tratamiento con microondas.

Es un proceso basado en vapor donde el tratamiento ocurre a través de la acción del calor húmedo y el vapor generado por la energía de microondas con un ciclo de 30 minutos a 1 hora. El tipo de residuo tratado son cultivos, objetos filosos,

material contaminado con sangre y fluidos corporales, otros residuos infectados, residuos de laboratorio y residuos suaves (gazas, bandas, batas y sábanas).

El tratamiento con microondas no debe usarse en componentes volátiles, antineoplásicos, desechos radioactivos, cadáveres de animales contaminados, partes del cuerpo ni objetos metálicos grandes (Emmanuel y Stringer, 2007). La técnica de microondas de temperatura media tiene como principales ventajas pérdida limitada de calor, menor carga ambiental sin residuos tóxicos luego del proceso de desinfección y un menor gasto de energía (trabaja a temperaturas de 177°C a 540°C) que puede inactivar efectivamente al SARS-CoV-2 (Wang y col., 2020a,b).

Autoclave (tecnologías de tratamiento con vapor).

Las autoclaves esterilizan residuos infecciosos (cultivos, objetos puntiagudos, materiales contaminados con sangre y fluidos), residuos de laboratorio y textiles e instrumentos médicos. A diferencia del autoclave para esterilización de instrumentos, las autoclaves de tratamiento de residuos (autoclaves de prevacío) deben tratar el aire que se retira al inicio del proceso para prevenir la liberación de aerosoles patogénicos, ésto a través de un filtro de partículas de aire de alta eficiencia (Capoor y Bhowmik, 2017). Las condiciones mínimas recomendadas para la esterilización en autoclave son 121°C por 30 minutos, a una presión de 205 kPa (Versalovic y col., 2011; Rutala y col., 2008).

Tecnologías de tratamiento con calor seco.

Hornos de aire caliente se han usado para esterilizar objetos de cristal y otros instrumentos reutilizables y residuos sanitarios infecciosos. El residuo se calienta a altas temperaturas (alrededor de 185°C) por conducción térmica, convección natural o forzada o radiación térmica por largos periodos de exposición (90-150 minutos), más que los periodos de los procesos basados en vapor (Versalovic y col., 2011; Emmanuel y Stringer, 2007).

Nanotecnología: Usada para purificar el aire del ambiente y así mejorar la calidad del mismo en interiores, incluye un instrumento para realizar fotocátalisis con un amplio espectro de luz que llega a ser bactericida y fungicida. Utiliza la energía de la luz para generar especies hidroxilo y anión superóxido, los cuales descomponen y oxidan contaminantes tóxicos en agua y dióxido de carbono (Qu y col., 2013).

Fotocátalisis: Nueva tecnología utilizada para la desinfección y descontaminación de aguas residuales originarias de hospitales, utiliza energía solar o rayos ultravioletas para eliminar microbios y antibióticos de dichas aguas residuales (Alrhoun, 2014).

Actualmente existe una nueva tecnología basada en autoclave de alta temperatura y presión conocida como carbonización hidrotérmica para (como su nombre lo dice) la carbonización de residuos hospitalarios (Shen y col., 2017).

3.4 Tratamientos bioquímicos para los residuos de COVID-19

Hay casos en los que microorganismos son capaces de transformar la materia en un componente más sencillo que pueda ser utilizado por otros organismos o con otros fines, a través de un proceso conocido como biodegradación; éstos microorganismos son conocidos también como reductores o degradadores (integrados principalmente por bacterias y hongos) (Álvarez, 2008; Nason, 2003). La degradación microbiana alude al cambio microbiológico de componentes naturales (regularmente aquellos que influyen negativamente en el bienestar humano) a estructuras menos dañinas o útiles (Buragohain y col., 2020).

Hablando específicamente de degradar plásticos, los pasos de la biodegradación se consideran en total 4:

A. Biodeterioración: Define la acción de ciertos organismos que son responsables de la descomposición física y química de los plásticos. Ésto resulta en una degradación superficial que altera las propiedades del plástico incluyendo

sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. En la mayoría de los casos, los parámetros abióticos ayudan a debilitar la estructura polimérica del plástico. Algunas veces, estos parámetros abióticos pueden ser útiles como un factor simbiótico, o como un iniciador del proceso de biodegradación.

La formación de una biopelícula microbiológica inicia el proceso de biodeterioración. Esta biopelícula crece en la superficie y dentro del plástico. La manera en la cual el biofilm se desarrolla depende de dos factores: las condiciones del ambiente a su alrededor y la composición estructural del plástico (Lugauskas y col., 2003).

Por ejemplo, el poliestireno y el polietileno son hidrofóbicos, por lo que si la superficie de la bacteria también es hidrofóbica existirá la formación de una biopelícula estable. De hecho, se puede citar el caso de la biopelícula que *Rhodococcus ruber* C208 formó en polietileno que mostró un gran nivel de actividad. Incluso luego de incubarlo por 60 días, se adhirió al polietileno sin ninguna fuente de carbono externa (Buragohain y col., 2020). Un alto nivel de deterioro químico y físico puede ser causado por una biopelícula microbiana:

A.1 Deterioro físico: La adherencia a la superficie del plástico y la cohesión de la biopelícula está enfatizada por sustancias poliméricas extracelulares, las cuales son las principales autoras del proceso de formación de la biopelícula. Posteriormente, entran a los poros del material que permite el crecimiento de los microorganismos dentro de los poros y justamente al incrementar el tamaño de los poros, se obtienen fragmentaciones en el material, estas grietas son las responsables del debilitamiento de las propiedades físicas del plástico (Bonhomme y col., 2003).

A.2 Deterioro químico: Pueden existir diversos grupos de microorganismos que puedan desarrollarse en el plástico (Zettler y col., 2013) y la biopelícula que forman en él puede descargar componentes ácidos. Por ejemplo, ácido nítrico (*Nitrobacter* spp.), ácido nitroso (*Nitrosomonas* spp.) o ácido sulfúrico

(*Thiobacillus* spp.), conocidas como bacterias quimiolitotróficas. Algunas comunidades quimioorganotróficas también liberan ácidos orgánicos como ácido glioxálico, cítrico, fumárico, glucónico, glutárico, oxálico y oxaloacético. La liberación de todos estos ácidos dentro de los poros alteran el pH, lo cual da como resultado la degradación gradual que modifica la microestructura de la matriz plástica (Buragohain y col., 2020).

B. Biofragmentación: Se refiere a ciertas acciones catalíticas que rompen los plásticos poliméricos y los convierten en oligómeros, dímeros o monómeros a través de ectoenzimas o radicales libres que los microorganismos liberan. Los plásticos (al ser polímeros) cuentan con pesos moleculares altos. Su movimiento a través de la membrana celular no es posible.

Por ello, existen enzimas extracelulares específicas (exoenzimas) secretadas por microorganismos que apuntan al polímero del plástico y catalizan las reacciones químicas de ahí. El principal problema de la biofragmentación es que los polímeros del plástico están constituidos por una larga cadena de carbonos e hidrógenos que contienen cargas muy bien balanceadas que los hacen estables (Lugauskas y col., 2003).

La carga eléctrica necesita ser desestabilizada por parte de la bacteria para que pueda actuar sobre la estructura. Por esta razón, la bacteria cuenta con ciertas enzimas llamadas oxigenasas que (como su nombre lo dice) agregan oxígeno a la larga cadena de carbonos, produciendo así cargas desiguales que permite que la bacteria degrade el plástico.

Específicamente, las enzimas son las mono-oxigenasas y las di-oxigenasas (con uno o dos átomos de oxígeno respectivamente) las cuales forman grupos alcohol o peróxido. Estos grupos son mucho más manejables a través de la biodegradación.

Otras transformaciones del material son catalizadas por endopeptidasas para los grupos amino, o por esterases y lipasas luego de la formación de grupos carboxilo (Lugauskas y col., 2003).

C. Asimilación: Es la unión de las moléculas formadas en el paso anterior y su transporte hacia el citoplasma a través de rutas metabólicas con las que cuentan los microorganismos. La asimilación por parte de los microorganismos no está asegurada solamente por la formación del monómero.

Para pasar a través de la membrana celular deben utilizar ciertos transportadores. Algunos monómeros pueden permanecer libres en los alrededores de las células microbianas sin absorberse.

Las vías catabólicas dentro de las células se usan para oxidar los monómeros de plástico, produciendo energía, estructuras celulares y biomasa nueva. Existen tres rutas catabólicas esenciales para la producción de energía que mantenga la actividad celular, su estructura y reproducción, dependiendo de si los microbios pueden crecer en condiciones aerobias o anaerobias: fermentación, respiración anaerobia y respiración aerobia (Buragohain y col., 2020).

Aunque claro, puede existir una degradación incompleta de los monómeros incluso después de la absorción de átomos dentro de las células microbianas, lo cual da como resultado la formación de muchos metabolitos secundarios.

Los microorganismos que no pueden metabolizar o no necesitan almacenar estos metabolitos los expulsan. Si cualquier otra célula puede realizar una degradación adicional, entonces pueden hacer uso de esos metabolitos secundarios excretados anteriormente (Buragohain y col., 2020).

D. Mineralización: En este proceso, las moléculas se deterioran de tal manera que resulta en una degradación total de metabolitos primarios y secundarios que

al final resulta en la excreción de metabolitos completamente oxidados como CO₂, N₂, CH₄ y H₂O (Dussud y Ghiglione, 2020).

Las cenizas originarias de incineración de residuos hospitalarios suelen contar con una carga significativa de metales pesados que pueden contaminar el ambiente, desde aguas freáticas hasta suelos fértiles; sin embargo, un tratamiento bacteriano en conjunto con la incineración puede ser la solución, aunque es necesario que dichos microorganismos sean capaces de resistir el medio repleto de dichos metales.

Las cepas que cumplen con dichas características son *Bacillus* sp. KGMD y *Bacillus* sp. KG5. Se trató la ceniza con las bacterias en un medio de glucosa y melaza por 8 días a 37°C (APHA, 2005).

El análisis del lixiviado de cenizas indica que su alcalinidad, dureza y cloruros disminuyen en un 50%, 25% y 60% respectivamente en un tratamiento bacteriano de 5 días, claro mientras esté presente la fuente de carbono adecuada (glucosas y melazas). En cuanto a la reducción de los metales aluminio, cromo, plomo y plata, fue del 50%, 42%, 57% y 40% respectivamente en el medio con glucosa y de 10%, 32%, 60% y 60% en el medio con melaza (Shelly y Anita, 2014).

Aunque claro, no sólo bacterias pueden ayudar en este procedimiento, el hongo *Aspergillus niger* es capaz de disminuir la cantidad de metales como cobre, cromo, níquel, estaño y titanio luego de 10 días de tratamiento, debido a la producción de agentes disolventes como el ácido cítrico y ácido oxálico (Anjum y col., 2014).

También existen los reactores biológicos de membrana, los cuales utilizan el proceso de lodos biológicamente activados con una membrana de filtración para la separación de agua, existen varios tipos de reactor biológico de membrana

como el aeróbico, anaeróbico y de contaminantes orgánicos (Alrhoun, 2014; Judd y Judd, 2011).

3.5 Tratamientos químicos para los residuos de COVID-19

Williams y col. (2011) propusieron la práctica de sanitización de bolsas después de cada uso, lo cual podría llevarse a cabo incluso cuando la pandemia termine. Tecnologías avanzadas como el reciclaje químico pueden complementar el reciclaje mecánico de bolsas de plástico, hule espuma y otros plásticos reciclados para la extracción de combustibles y sustancias químicas (Bhakta y col., 2020).

A. Hipoclorito de sodio (NaOCl, 1-12%): La desinfección química es más apropiada para tratar residuos líquidos. Los desinfectantes utilizados son componentes clorados, aldehídos, polvos a base de cal, gas ozono, sales de amonio y componentes fenólicos (Capoor y Bhowmik, 2017).

El hipoclorito de sodio es efectivo contra bacterias, virus y esporas, pero no puede desinfectar correctamente líquidos con un contenido orgánico alto (sangre o heces). Soluciones de este compuesto no utilizadas deben tratarse con bisulfito de sodio o tiosulfato de sodio y posteriormente neutralizarse con ácidos para verterlo en el drenaje.

El equipo de protección personal debe utilizarse para proteger a los trabajadores de la salud; el dióxido de cloro puede utilizarse en lugar del hipoclorito, es tóxico pero soluble y estable en agua (Capoor y Bhowmik, 2017). Los sistemas de tratamiento a base de cal usan soluciones de hidróxido de calcio. El glutaraldehído y el ácido peracético se usan para desinfectar instrumentos (Chartier y col., 2014; Rutala y col., 2008).

B. Ozono (O₃): Se puede utilizar especialmente para residuos farmacéuticos, tratamiento de agua y de aire. Es un oxidante fuerte y se degrada a una forma

más estable (O₂). Los sistemas de ozono requieren de trituradores y mezcladores para exponer el residuo al agente bactericida (Emmanuel, 2001).

C. Hidrólisis alcalina: Es un proceso que convierte partes del cuerpo, especímenes y cadáveres en una solución acuosa descontaminada, destruyendo componentes químicos peligrosos y residuos contaminados con priones (agentes infecciosos). Luego de que los residuos se cargan en la canasta y se colocan dentro de un tanque sellado herméticamente, se agrega el agente alcalino junto con agua a una temperatura de 127°C o mayor y se mezcla.

Luego de un tiempo de digestión de 6 a 8 horas, se generan subproductos que incluyen componentes minerales de los huesos y dientes, una solución de aminoácidos, azúcares, jabón y sales. También puede destruir agentes citotóxicos (antineoplásicos), compuestos de la quimioterapia y aldehídos (como formaldehído y glutaraldehído) usados comúnmente en hospitales (EC, 2003).

3.6 Tratamientos físicos para los residuos de COVID-19

A. Vertederos/Rellenos sanitarios: Lugares destinados para la disposición final de residuos que ya no pueden ser degradados, debe prevenir la dispersión de basura por el viento, olores desagradables, ruidos y almacenar por separado ciertos residuos (Álvarez, 2008). Deben tener una profundidad mayor de 10 metros del nivel de los mantos freáticos (aguas subterráneas), a más de 1 km de zonas de recarga de acuíferos y reunir ciertas características de impermeabilidad y vida útil de más de 7 años (Baqueiro y col., 2000).

B. Encapsulado: Es una opción más económica para disponer de residuos punzocortantes y de medicamentos o cenizas provenientes de incineración con alto contenido metálico, éstos se disponen en un envase (metálico o de polietileno) hasta ocupar tres cuartos de su capacidad y se vierten sustancias tales como cemento líquido, arena bituminosa o espuma plástica, hasta llenar el recipiente.

Cuando la sustancia se seca, el envase se sella y puede ser dispuesto en un relleno o dentro de las instalaciones del hospital. Este método es simple, seguro de bajo costo y también puede aplicarse a productos farmacéuticos (Chartier y col., 2014; Álvarez, 2008).

C. Entierro ecológico: Incluye un proceso conocido como congelamiento-secado usando nitrógeno líquido y vibración mecánica para desintegrar cadáveres y dejarlos en forma de polvo antes del entierro. El proceso acelera la descomposición, reduce tanto la masa como el volumen y permite la recuperación de partes metálicas (Emmanuel, 2001).

En la Tabla 3.3 se presentará un resumen de los tratamientos vistos hasta el momento.

En general, una combinación de desinfección química e incineración debería ser aplicada, para que posteriormente puedan terminar en rellenos sanitarios, sin embargo éste último depende de cada país, ya que hay algunos que solicitan que los residuos queden irreconocibles (Liang y col., 2021).

En México por ejemplo, las áreas de emergencia y/o frentes de trabajo son los lugares asignados para depositar los residuos sólidos urbanos de forma definitiva (es decir en el sitio de disposición final) dependiendo de su categoría la cual está basada en el tonelaje recibido por día (DOF, 2004).

Tabla 3.3 Opciones de tratamientos para residuos biomédicos (Buragohain y col., 2020; Klemeš y col., 2020; Datta y col., 2018; Capoor y Bhowmik, 2017; Emmanuel, 2001)

Nombre del tratamiento	Descripción
Tratamientos termoquímicos	
Incineración	Degradación de residuos a temperaturas muy altas, dando como resultado una reducción significativa de la masa y el volumen de los mismos.
Vitrificación	Método de disposición para residuos radioactivos que puede ser usado para disponer de cenizas peligrosas a través de la mezcla del residuo con sustancias capaces de formar vidrio.
Pirólisis de plasma	Gas ionizado que degrada residuos patológicos e infecciosos a residuos inertes, así como reducir su masa y volumen.
Microondas	Método para disponer cultivos, objetos filosos, residuos de laboratorio con una menor carga ambiental y sin residuos tóxicos.
Autoclave	Tratamiento con vapor que esteriliza residuos infecciosos, de laboratorio y textiles, se prefiere el uso de autoclaves de prevació.
Calor seco	Hornos de aire caliente que esterilizan objetos de cristal y residuos sanitarios infecciosos.
Nanotecnología y fotocatalisis	Tecnologías utilizadas para la desinfección de aguas residuales y el aire, es un proceso bactericida y fungicida que genera especies hidroxilo y anión superóxido a través de la energía solar.
Tratamientos bioquímicos	
Biodegradación	Proceso por el cual microorganismos son capaces de transformar la materia en un componente más sencillo, se divide en 4 pasos: biodeterioración, biofragmentación, asimilación y mineralización.
Tratamientos químicos	
Hipoclorito de sodio (NaOCl, 1-12%)	Efectivo contra virus, bacterias y esporas en residuos líquidos sin un alto contenido orgánico.
Ozono (O ₃)	Utilizado para el tratamiento de agua, residuos farmacéuticos y aire, al degradarse se convierte en O ₂ .
Hidrólisis alcalina	Proceso que transforma componentes químicos peligrosos, agentes citotóxicos y especímenes en una solución acuosa descontaminada.
Tratamientos físicos	
Vertederos/ Rellenos sanitarios	Almacenamiento de residuos que ya no pueden degradarse, previene dispersión de basura y olores.
Encapsulado	Residuos punzocortantes se disponen en un envase que es llenado posteriormente con cemento líquido para su posterior sellado y almacenamiento.
Entierro ecológico	Proceso de congelamiento-secado junto con vibración mecánica, útil para desintegrar cadáveres.

CAPÍTULO 4. CAMBIOS EN EL MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA PANDEMIA POR COVID-19

Previo a la pandemia, existían indicios de que el ochenta por ciento de los recursos del planeta son usados por el veinticinco por ciento de la población, localizada en los países industrializados (Álvarez, 2008), sin embargo, es muy probable que en la actualidad esta distribución haya sufrido modificaciones, ya que el alza en el consumo de mascarillas y caretas se ha disparado en todo el mundo, no sólo en aquellos que cuentan con un poder adquisitivo mayor al del promedio.

En esta situación crítica, el uso de incineradores enfocados en residuos sólidos municipales para tratar los residuos hospitalarios aún cuenta con opiniones divididas, sin embargo, hay países que han desarrollado instalaciones auxiliares (móviles, actualizadas o que cooperan en el tratamiento de estos residuos), aunque es importante recalcar que estas instalaciones deben apearse a los requerimientos estandarizados de emisiones, para así evitar efectos secundarios en la salud de la población (Liang y col., 2021).

La preocupación acerca de la supervivencia del virus ha cambiado los patrones de comportamiento de la población. Junto con los cambios en el estilo de vida de las personas que incrementan el uso de plástico por conveniencia y seguridad, los consumidores durante la pandemia han cambiado su preocupación sobre el impacto ambiental que tiene el plástico por la preferencia a utilizar empaques de dicho material por salud e higiene (Grodzińska-Jurczak y col., 2020).

Los principales problemas con respecto al manejo de residuos son: Mezclar los residuos, manejo y medidas de seguridad inapropiadas, instalaciones de tratamiento inadecuadas, falta de mecanización y automatización de los procesos,

incremento de los residuos plásticos, riesgo de transmisión y vulnerabilidad de los trabajadores encargados del manejo de residuos (Goswami y col., 2021).

Los residuos del equipo de protección personal como mascarillas contaminadas y guantes deben almacenarse separados de los demás residuos del hogar, además deben ser recolectados por encargados del manejo de residuos o especialistas en residuos municipales (Liang y col., 2021).

Una de las alternativas propuestas para disponer de los residuos de dicho consumo es usar los incineradores municipales de residuos sólidos para aumentar la capacidad de tratamiento, ya que es complicado construir nuevas instalaciones de tratamiento de residuos hospitalarios a corto plazo y durante la pandemia (Hantoko y col., 2021).

Por ejemplo, en España se recomendó que las plantas de cemento co-incineraran residuos, mientras que el gobierno de Noruega permitió que los residuos se transportaran a otro lugar para que los vertederos se encargaran del aumento de residuos hospitalarios (ACRPlus, 2020). Por otro lado, en China, los incineradores municipales se usan como tratamiento de emergencia para residuos hospitalarios durante la pandemia de COVID-19 (Ma y col., 2020) y en Finlandia, a los trabajadores de transporte se les dio la instrucción de evitar trabajar cerca de los almacenes de desechos en las plantas de incineración mientras vacían los camiones, especialmente si las trituradoras están activas (MSAHF, 2020).

México publicó el documento “Panorama de la generación y manejo de residuos sólidos y médicos durante la emergencia sanitaria por COVID-19” donde menciona que el equipo de protección personal debe depositarse en un contenedor exclusivo para residuos sanitarios, además de que debe retirarse antes de abandonar las instalaciones donde se atienden los casos de infección. Transportar las muestras sospechosas de COVID-19 usando un triple

empaque que cumpla con la normatividad internacional relativa al transporte aéreo de sustancias infecciosas: sustancias biológicas, Categoría B, el cual debe tener material absorbente suficiente para contener un derrame, un contenedor secundario resistente a filtraciones y un contenedor terciario rígido (INECC, 2020)

En India, para responder a la pandemia por COVID-19, se han publicado guías para el manejo de residuos generados durante el tratamiento, diagnóstico y cuarentena de pacientes con la enfermedad, dichas guías proponen el uso de bolsas de doble capa (o usar dos bolsas), etiquetado obligatorio de bolsas y contenedores con la leyenda “Residuos de COVID-19”, desinfección regular de los vehículos dedicados a transportar este material y mantener una bitácora de los residuos generados en los pabellones del hospital dedicados a COVID-19 (NCDC, 2020).

Para el caso de Reino Unido, si los residentes se encuentran en cuarentena y/o aislamiento domiciliario, sus mascarillas o equipo de protección personal debe colocarse en una bolsa doble y almacenarse por 72 horas antes de colocarlo en el bote de la basura para recolección, de otro modo, las mascarillas y el equipo de protección personal puede disponerse en una bolsa negra y colocarse en el bote de la basura sin ninguna bolsa extra o almacenamiento especial. Sin embargo, las empresas u organizaciones no necesitan recolectar el equipo de protección personal por separado (GOV.UK, 2020).

En Rumania, el Instituto Nacional de Salud Pública anunció que los residuos originarios de hogares en lugares en cuarentena deben considerarse residuos infecciosos, por lo que es necesario implementar procedimientos estrictos sobre el manejo de residuos; éstos deben recolectarse por operadores especializados en residuos y transportarlos a -4°C hacia incineradores de residuos infecciosos (Mihai, 2020).

En Korea del Sur, las mascarillas usadas provenientes de hogares pueden colocarse en una bolsa de basura regular bajo el programa “Cuota de desechos basada en el volumen”, sin embargo, aquellas que se encuentren sucias o con residuos deben incinerarse o enterrarse, no se permite el reciclaje (Rhee, 2020).

La Agencia Portuguesa del Ambiente recomienda que todos los residuos de equipo de protección personal de ciudadanos ordinarios deben tratarse como residuos mixtos (en lugar de reciclables), colocarse en bolsas de basura selladas y a prueba de fugas para que posteriormente se les lleve a instalaciones de incineración (preferiblemente) o que se entierren diariamente (Patrício y col., 2021).

Los hospitales en Wuhan, China están generando seis veces más residuos durante el pico de la pandemia por COVID-19 que aquellos que se generaban en un día normal antes de la crisis (Calma, 2020). Sin embargo, para contrarrestar dicha problemática, existen guías de disposición de residuos biomédicos que indican que a los trabajadores de la salud que estén involucrados con el manejo y recolección de esos residuos se les debe asegurar su sanitización regular y además se les debe proporcionar el equipo de protección personal adecuado, desde el personal médico hasta el equipo de ambulancia (Goswami y col., 2021).

China no ha asignado alguna guía nacional para el manejo de residuos de equipo de protección personal. Para no quedarse de brazos cruzados, algunas provincias han publicado guías técnicas locales para el manejo de residuos de equipo de protección personal. Por ejemplo, en la provincia de Sichuan, las mascarillas utilizadas deben recolectarse y desinfectarse antes de la incineración. Por otro lado, en Guangdong (para la gente ordinaria) sus mascarillas pueden ser arrojadas directamente al contenedor de basura clasificado como “otros”, pero el reciclaje y la reutilización están prohibidas (Liang y col., 2021).

Como se puede observar, hay muchas medidas de prevención de contagio y de tratamiento de residuos que pueden llevarse a cabo, sólo es cuestión de contar

con los recursos y dirigentes adecuados, en la Tabla 4.1 se mostrarán los principales cambios a las prácticas de disposición de residuos. Una de las sugerencias para llevar a cabo el tratamiento de los residuos es que la superficie de las bolsas deben ser descontaminadas rociándolas con desinfectantes que contengan cloro antes de colocarlas en un contenedor médico (Wang y col., 2020a).

Gracias a la tecnología, al menos en otros países como India, se ha generado un sistema que permite monitorear y rastrear los residuos biomédicos, desde el momento en que se generan hasta la recolección y disposición, lo cuál ha optimizado la eficiencia con la que se manejan los residuos (CPCB, 2020).

Las guías de la CPCB relacionadas con el manejo de residuos biomédicos de COVID-19 indicaron a las autoridades que proporcionaran entrenamiento a aquellos que manejan los residuos en temas como medidas de prevención de infecciones, higiene de manos, etiquetas respiratorias, distanciamiento social, uso de equipo de protección personal, etcétera (CPCB, 2020).

Las guías del Centro para el Control de Enfermedades y Prevención, la Administración Ocupacional de Seguridad y Salud y algunas agencias de los estados pertenecientes a Estados Unidos señalan que los residuos con riesgo potencial de contaminación por COVID-19 deben manejarse como cualquier otro residuo sólido municipal. La ficha técnica de Oregon, EE.UU. “Manejando los residuos sólidos de COVID-19” también señala que las reglas generales del estado consideran a los residuos del EPP, limpieza y desinfección (fuera de la industria médica y del cuidado de la salud) como residuo sólido general (PeRKINS Coie, 2020).

Además de los residuos biomédicos habituales, todos los procedimientos relacionados con COVID-19 generan una gran cantidad de residuos por el uso de equipo de protección personal, el cual consiste (de manera primordial) de guantes,

mascarillas, lentes de protección, caretas, cubierta de zapatos y trajes para residuos peligrosos (Goswami y col., 2021).

Normalmente, alrededor del 75%-90% de los residuos hospitalarios se puede procesar con tratamientos habituales, sin embargo, durante una pandemia, todos los residuos generados deben considerarse como residuos médicos (hasta el papel y basura de oficina) y por lo tanto recolectar y disponer de ellos con precauciones adicionales (UNEP, 2020b; WHO, 2018b).

Antes de la pandemia, la basura diaria doméstica y los residuos biomédicos generados por un hospital se almacenaban de manera separada, durante la pandemia esto cambió por lo que se mencionó anteriormente, ni siquiera las loncheras usadas por pacientes pueden tratarse de manera diferente (Fu, 2020).

Tabla 4.1 Cambios generales de las prácticas durante la pandemia (Goswami y col., 2021; Liang y col., 2021; CPCB, 2020; NCD, 2020; UNEP, 2020b; WHO, 2018b)

Prácticas anteriores al COVID-19	Prácticas posteriores al COVID-19
Residuos biomédicos recibidos en plantas de tratamiento específicas	Por exceso de residuos biomédicos, uso de incineradores municipales y auxiliares (móviles) para cubrir la demanda
Mayor conciencia y reutilización de empaques para transportar alimentos	Incremento en el uso de plástico para los empaques de alimentos
Utilización de bolsas de una capa para transportar cualquier residuo proveniente de residencias	Preferencia por las bolsas de doble capa etiquetadas como “Residuos de COVID-19” en residencias con casos confirmados
Trabajadores de la salud usan equipo de protección personal básico como mascarillas	Trabajadores de la salud usan equipo de protección personal más complejo, entrenamiento en higiene personal y cuentan con sanitización regular tanto de su equipo como de su transporte
75% - 90% de los residuos hospitalarios no requieren un tratamiento especial o excesivo	Todos los residuos generados de hospitales (desde basura de oficina hasta residuos de laboratorio) deben recibir una disposición más estricta y con mayores cuidados

CAPÍTULO 5. AFECTACIONES SOCIOECONÓMICAS Y AMBIENTALES DEBIDO AL COVID-19 SOBRE LOS RESIDUOS HOSPITALARIOS Y OTROS

Al principio de la pandemia, el encierro repentino y el miedo por el virus llevó al resurgimiento de los productos desechables y las compras de pánico (Sarkodie y Owusu, 2020a).

La demanda por comida empacada, productos del cuidado de la salud y comercio electrónico creció rápidamente (Feber y col., 2020). Según el Departamento de Estadística de Korea, las compras en línea de artículos para el hogar y servicios de entrega de comida se incrementó en aproximadamente un 20% (SK, 2020). Todos estos cambios en los hábitos de consumo han incrementado la generación de desechos plásticos (Liang y col., 2021).

Desafortunadamente, las actividades de reciclaje de desechos plásticos se vieron reducidas debido a la pandemia de COVID-19, resultando en un gran reto para el manejo de desperdicios plásticos (Tenenbaum, 2020). Indirectamente, la pandemia por COVID-19 ha dado un mayor nivel de complejidad al manejo de desechos plásticos y parece obstaculizar los esfuerzos por reducir la contaminación por dicho material (Vanapalli y col., 2021; Sarkodie y Owusu, 2020b).

La Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) ha asegurado que todas las ciudades tendrán recolección de desechos garantizada, pero dichos desechos no estarán necesariamente separados, de hecho, ha propuesto que se cierren algunos de los centros de reciclaje (OECD, 2020a).

En países pertenecientes a dicha organización, la respuesta económica al COVID-19 incluía un 100% de apoyo financiero a las empresas locales, 94% de

apoyo a emprendedores y residentes que perdieron su empleo, 80% de asistencia financiera para pagar la renta y un 47% a 67% de apoyo monetario a trabajadores en cuarentena o enfermos (OECD, 2020b). Mientras que organizaciones como el Asian Development Bank en abril de 2020 gastó aproximadamente 200 millones de dólares para apoyar a las compañías encargadas de distribuir medicamentos y otros dispositivos necesarios para combatir al COVID-19, incluidas mascarillas N95, pruebas para COVID-19, guantes, ventiladores, objetos de higiene personal y equipo de protección personal en general (ADB, 2020b)

Se sugiere que en hogares con casos sospechosos o positivos de COVID-19 se limite el uso de sistemas de separación de residuos, para evitar la contaminación del personal recolector, sin embargo, estas prácticas incrementan la generación de residuos mixtos; básicamente cualquier objeto contaminado por COVID-19 o con sospecha de contaminación queda inutilizado para reciclaje totalmente, por el peligro de contagio más que nada, por lo que las únicas alternativas que se podrían considerar con un mayor grado de seguridad son la incineración, la esterilización con vapor y entierros profundos de emergencia (Hantoko y col., 2021).

Precisamente, gracias a la reducción de las actividades de reciclaje por el COVID-19 (Kaufman y Chasan, 2020), el manejo del desperdicio de plástico se ha vuelto un gran reto para la industria del tratamiento de residuos (Ferronato y Torreta, 2019).

El COVID-19 ha tenido un impacto significativo en la generación de no sólo residuos médicos y del cuidado de la salud, sino también en la producción y composición de los residuos sólidos municipales.

Los residuos relacionados con COVID-19 se pueden dividir en aquellos provenientes de hospitales e instalaciones del cuidado de la salud y los que son

generados fuera de dichas instalaciones, es decir, los utilizados para mantener el distanciamiento social y otras medidas de prevención (guantes y mascarillas) (Somani y col., 2020).

A pesar de que la reutilización de EPP durante el tratamiento de pacientes con COVID-19 no es considerada como una actividad recomendada, el Centro para el Control de Enfermedades y Prevención (CCE) lo estipuló como último recurso si no hay disponibilidad de EPP (CDC, 2020b).

Sin embargo, existen métodos para desinfectar el material contaminado con SARS-CoV-2 con el fin de reutilizarlo, dependiendo de la composición y condición del material, algunos ejemplos son: Irradiación Ultravioleta Germicida, desinfección térmica (calor) y vapor de peróxido de hidrógeno (VPH) (MDDI, 2020; Tsai, 2020; Lowe y col., 2020).

Debido a la creciente demanda en pedidos de comida a domicilio, la generación de plástico ha aumentado, algunos ejemplos de dicho plástico es el Polipropileno (PP), Polietileno de baja densidad (PEBD), Polietileno de alta densidad (PEAD), Polietileno teraftalato (TPE), Poliestireno (PS), entre otros (Tenenbaum, 2020).

Por ejemplo, se ha reportado un incremento del 92.5% en las compras de comida en línea y 44.5% en compras de artículos de uso diario al compararlos con los datos de Corea del Sur durante la pandemia por COVID-19 del año 2020, lo cual da como resultado mayor demanda de las bolsas de plástico de un solo uso (Hyun, 2020).

El incremento en la demanda de plásticos está confinado principalmente al empaque de comida y abarrotes, dichos empaques son preocupantes debido a su baja capacidad de reciclaje (UNEP, 2018). Por supuesto México no se queda atrás, de los 7.7 millones de toneladas de desechos de diversos materiales que se producían en 2019, se produjeron aproximadamente 8 millones en 2020 por la

pandemia, es decir 300 mil toneladas más, debido a las importaciones de plásticos para las caretas, ropa médica, mascarillas y otros instrumentos para proteger a la población contra la enfermedad, así como láminas y envases para comida para llevar (Alegría, 2020).

Además del riesgo de transmisión del virus por contacto, existen prácticas inapropiadas de disposición de residuos biomédicos (RBM) que pueden causar efectos adversos ambientales, incluyendo contaminación de la tierra y de aguas freáticas, eliminación de microorganismos benéficos en sistemas sépticos, heridas causadas por objetos filosos, etcétera (Datta y col., 2018).

En el caso de alimentos, el pánico causado por el COVID-19 llevó a las personas a acumular alimentos perecederos sin ser conscientes de su fecha de caducidad, además de que los consumidores han cambiado su preocupación por el impacto ambiental que tienen los desechos plásticos a preferir el empaque con plástico durante la pandemia; además, se ve un incremento en la demanda de comida a domicilio, aquellos que sí llegan a preocuparse por este aspecto lo hacen motivados por un interés socioeconómico en lugar de uno ambiental, estos hábitos han causado dificultades para el manejo de desechos plásticos y un retroceso en las políticas de reducción de productos plásticos de un solo uso. (Jribi y col., 2020; Durante y Laran, 2016).

El encierro total de diversos países detuvo a los sectores económicos dependientes de carbono y energía como lo es la manufactura y el transporte, es decir hubo una reducción del consumo de carbón y gasolina lo que a su vez disminuyó las emisiones de dióxido de carbono en un 25%, así como una reducción del 70% en las emisiones de óxidos de nitrógeno (Myllyvirta, 2020; UCAR, 2020)

En la Tabla 5.1 se mostrará de forma resumida el impacto de la pandemia en diversos sectores, dicho impacto se dividirá en causas y consecuencias.

Tabla 5.1 Causas y consecuencias del impacto de la pandemia por COVID-19
(Liang y col., 2021; Bhakta y col., 2020; CDC, 2020b; Tenenbaum, 2020)

Causa	Consecuencia
Encierro repentino y miedo al virus	Incremento en la demanda de comida empacada y generación de desechos plásticos
Disminución del reciclaje de material para evitar contagios	Aumento de los desechos mixtos que dificultan su tratamiento
Desabasto de equipo de protección personal para profesionales de la salud	Reutilización del EPP por parte de los profesionales aún cuando dicha actividad está contraindicada por el CCE
Pánico por la idea de que podría haber desabasto de alimentos	Acumulación de alimentos perecederos que da como resultado desperdicio alimenticio
Restricción del transporte y confinamiento de ciudades	Interrupción en la cadena de suministro de alimentos, volviendo el proceso difícil y tardado.

CAPÍTULO 6. LAS PERSPECTIVAS DEL MANEJO DE RESIDUOS HOSPITALARIOS DESPUÉS DE COVID-19

La OMS declara que la pandemia de COVID-19 persistirá por un buen tiempo y todos los países se encuentran trabajando en planes de prevención, al igual que en la investigación y desarrollo de vacunas. La propagación de la pandemia de COVID-19 también tendrá un impacto a largo plazo en la sostenibilidad ambiental, según lo que se ha revisado a lo largo de este trabajo, no hay duda de que el brote de COVID-19 ha incrementado de sobremanera la cantidad de residuos hospitalarios, especialmente los infecciosos (Liang y col., 2021). La protección ambiental debe ser tomada en cuenta durante y después de la pandemia por COVID-19 (Patrício y col., 2020; Klemeš y col., 2020), el concepto de Huella de Residuos Plásticos (HRP que por sus siglas en inglés es PWF, plastic waste footprint) puede ser introducido para dar un enfoque en las cargas ambientales que genera el plástico a través de su ciclo de vida (Klemeš y col., 2020).

En países en desarrollo, todos los residuos se descargan en lugares abiertos y con poca sanidad donde personas que busquen materiales reciclables pueden contagiarse, ya que no usan equipos de protección personal, por lo que es necesario replantear dichas prácticas de recolección; México ha planteado que los residuos COVID-19 deberán confinarse en una celda de emergencia separada del resto de los residuos y que en esta celda el acceso deberá ser restringido y los residuos deberán ser cubiertos con tierra al final de cada día, además de que no habrá pepena (Nzediegwu y Chang, 2020; SEMARNAT, 2020). Si no hay personas infectadas con el virus en la vivienda donde se recolectan los residuos, el hogar puede continuar llevando a cabo su recolección de residuos sin diferencia alguna, justo como se hacía antes de la pandemia (Liang y col., 2021). Como se ha revisado anteriormente, el virus puede permanecer activo en diferentes superficies, por lo que es necesario implementar la esterilización de residuos hospitalarios habituales y equipo de protección personal antes de

disponer de ellos para reducir el riesgo de contagio de los trabajadores encargados de desinfectar y de los chatarreros (Bhakta y col., 2020). Debido a la demanda excesiva de disposición de residuos hospitalarios, incineradores móviles pueden utilizarse para disponer de equipo de protección personal desechado como mascarillas, guantes y otros elementos contaminados de un solo uso (Chen y Guo, 2020).

La recolección de residuos se ha visto influenciada debido a la disminución de disponibilidad del personal. La suspensión de las actividades de reciclaje en algunas regiones ha resultado en un incremento de los residuos mixtos, lo cual crea retos importantes para los hábitos de clasificación de residuos y la industria del reciclaje (Dente y Hashimoto, 2020).

Para cubrir la demanda de residuos hospitalarios tanto COVID-19 como no COVID-19, es necesario contar con una mayor cantidad de vehículos transportadores de residuos e incrementar la frecuencia de recolección de hospitales, instalaciones del cuidado de la salud y hogares en cuarentena, se requiere también de un horario de recolección para evitar la mezcla de residuos no contaminados con aquellos que sí lo están, como se realiza en Corea (Rhee, 2020), es necesario hablar de la realidad fríamente, la enfermedad ha llegado para quedarse, puede que las campañas de vacunación ayuden a reducir la cantidad de contagios, pero el COVID-19 seguirá presente en las vidas de las personas como la influenza, la gripe, etc. China puede proveer de estrategias para el manejo de residuos hospitalarios: crear un sistema comprensivo de disposición a través de la combinación de disposición centralizada y disposición de emergencia en el sitio, como equipo de tratamiento móvil y hornos industriales (Liang y col., 2021).

El manejo tendrá diversos cambios a corto, mediano y largo plazo (Hantoko y col., 2021):

A corto plazo: Cualquier residuo que salga de una instalación que aloja pacientes con COVID-19 debe tratarse como residuo peligroso y recibir tratamiento (incineración, autoclave, colocar en vertederos especiales), mejorar el etiquetado y recolección de residuos con sospecha de COVID-19 y disminuir las actividades de reciclaje en hogares sospechosos de COVID-19 para evitar la propagación del virus.

A mediano y largo plazo: Los sistemas de manejo de residuos deben reorganizarse y prepararse mejor para recibir residuos médicos provenientes de hogares, ajustar las cuotas de incineración de residuos basados en la región, capacidad y características de los mismos. Es necesario mejorar la regulación política en cuanto a normas para asegurar que las personas respondan de una manera mucho más responsable y eficaz a problemáticas de este tipo. Ahora, es importante mencionar unas cuantas recomendaciones que podrían ayudar a los políticos y a los reguladores de normas a diseñar un sistema que pueda enfrentar adecuadamente las pandemias en el futuro (Bhakta y col., 2020):

- Los trabajadores de saneamiento deben contar con una mayor protección y ser reconocidos por el gobierno por el papel crucial que tienen (servicios de salud y educación para sus familias).
- El manejo de residuos debe ser parte de la planeación del manejo de desastres (el cual se enfoca actualmente en escombros).
- Asegurar que las personas involucradas en el manejo de residuos estén bien entrenadas para manejar los residuos biomédicos peligrosos (puede lograrse creando una plataforma digital de aprendizaje generalizado).
- Estandarización universal de los códigos de clasificación de residuos basados en la naturaleza y el tipo de residuo.
- Inversión en nuevas tecnologías de tratamiento de residuos.
- Contar con una regulación mucho más compleja de empaques plásticos, ya que su reciclaje es complejo y no es económicamente factible.
- Producción y consumo local de alimentos.

El manejo de los residuos del cuidado de la salud requiere un incremento en la atención y diligencia para evitar problemas sustanciales relacionados con enfermedades y que se encuentran asociados con malas prácticas, incluyendo la exposición a agentes infecciosos y sustancias tóxicas. Los elementos clave en mejorar el manejo de residuos hospitalarios son (Padmanabhan y Barik, 2019):

- ✓ Construir un sistema de fácil comprensión, que asigne responsabilidades y recursos de mejor manera, así como una potencialización en el manejo y disposición de residuos; es un plan a largo plazo, pero puede obtenerse con mejoras graduales.
- ✓ Incrementar la conciencia en las personas con respecto a los riesgos relacionados con los residuos originarios del cuidado de la salud.
- ✓ Seleccionar opciones de manejo seguras y favorables para el ambiente y así proteger a la población cuando se colecte, maneje, almacene, transporte, trate y disponga del residuo.
- ✓ El compromiso y apoyo gubernamental se requiere para una mejora universal y a largo plazo, aunque claro se puede tomar acción inmediata a nivel local.

Se espera que la demanda por equipo de protección personal (mascarillas y guantes) no disminuya durante el periodo post-pandemia, pero se estima un incremento del 20% en 2025 (WHO, 2020e). Para el manejo de residuos hospitalarios, es importante tomar en cuenta estos aspectos clave para así mejorar dicha actividad en el futuro:

En el caso de la segregación (Separación de las sustancias, materiales y residuos peligrosos, cuando representen algún riesgo en su almacenamiento o transporte.): Reducir el uso de plásticos desechables e incentivar el uso de mascarillas de tela que sigan las indicaciones establecidas por la OMS, además de promover la separación de residuos en el sitio donde se originan; por otro lado, es necesario asegurar la disponibilidad de equipo de protección personal en los hospitales e instalaciones dedicadas al cuidado de la salud (UNEP. 2020a; SCT, 2009).

En cuanto a la recolección (Procedimiento descrito en el capítulo 2.3): Priorizar la salud y seguridad de los trabajadores en todo momento al proveerlos con el equipo de protección personal que requieren. Además de generar conciencia y buscar la recolección de residuos segregados en diferentes compartimentos. Otro punto a considerar es promover el uso de instalaciones donde se lleve una gestión de residuos hospitalarios que sea satisfactoria (UNEP, 2020a).

Claro también es necesario hacer un enfoque en la transferencia de residuos: Mejorar el servicio dentro de un horario habitual, sin la necesidad de apegarse a horarios tan estrictos, fortalecer los procesos de las estaciones de transferencia de residuos y los bancos de residuos, también es importante involucrar en mayor medida al sector informal. En caso de que el hogar cuente con residuos COVID-19, sería necesario preparar horarios de recolección de emergencia y (si es posible) que los vehículos mantengan las ventanas abiertas para contar con una ventilación adecuada (UNEP, 2020a), sin embargo, México en su “Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU)” indica que los vehículos empleados para este servicio serán cerrados, con sistema de descarga rápida y sin mecanismos de compactación que pudieran desgarrar las bolsas y dispersar su contenido, además de ser instrumentados de preferencia por la Guardia Civil; por lo que la propuesta de ventanas abiertas no es aplicable a los Estados Unidos Mexicanos (SEMARNAT, 2020).

Para finalizar, en cuanto a la disposición final: Tomar acciones para mejorar a corto plazo los sitios de disposición disponibles, contar con vertederos asegurados y con condiciones sanitarias satisfactorias a mediano y largo plazo, es importante contar también con alternativas de disposición en caso de que una nueva emergencia vuelva a surgir (UNEP, 2020a).

Durante todo este escrito se han revisado diversos tratamientos para residuos hospitalarios, ahora se tienen que considerar sólo algunas perspectivas

generales de este tema: Promover tratamientos con tecnologías que sean apropiadas dependiendo del tipo de material (autoclave, esterilización, incineración, etc.) y fortalecer la relación del sector informal con el uso y distribución de equipo de protección personal (UNEP, 2020a). El establecimiento de políticas nacionales y una infraestructura legal sólida (si es que aún no está disponible), entrenar personal y aumentar la conciencia pública son elementos esenciales para obtener un sistema de manejo de residuos hospitalarios exitoso, de hecho, mejorar la conciencia pública con respecto al problema es vital para motivar la participación comunitaria en el desarrollo y la implementación de nuevas políticas y programas (UNEP, 2020a). Para mejorar el manejo de residuos hospitalarios, pueden llevarse a cabo las siguientes acciones de entrenamiento y capacitación:

Introducir programas de educación y entrenamiento: Para los trabajadores de las instalaciones enfocadas al cuidado de la salud sobre los peligros potenciales de los residuos, el propósito de la inmunización, procedimientos seguros de manejo de residuos, reporte de heridas y exposiciones, uso de equipo de protección personal y práctica higiénica (UNEP, 2020a).

El entrenamiento y educación del personal de logística puede enfocarse en el aprendizaje de los riesgos y el manejo de residuos peligrosos: Incluidas las regulaciones legales relevantes, clasificación de residuos y riesgos, manejo seguro de residuos peligrosos, etiquetado, documentación y procedimientos de emergencia y derrames (UNEP, 2020a).

La educación y el entrenamiento también necesitan enfocarse en los conductores y los encargados de manejar los residuos que transportan residuos del cuidado de la salud a los centros de tratamiento y de disposición: Informarles de los riesgos y el manejo de camiones con residuos peligrosos (UNEP, 2020a).

Desarrollar material (sitios web, anuncios de servicios públicos) para una mejor práctica higiénica y el manejo seguro de residuos, además de asignar sitios de disposición específicos para evitar la formación de vertederos no controlados y permitir el efectivo mantenimiento de la higiene en las ciudades (UNEP, 2020a).

Es esencial que se implemente el monitoreo del manejo de residuos biomédicos y así asegurar que se están aplicando las políticas establecidas. Los hospitales y las instituciones de salud deben expandir su capacidad de transporte y almacenamiento de residuos biomédicos debido al incremento en la cantidad de residuos. Es de suma importancia aplicar un mecanismo electrónico de comunicación para determinar específicamente la cantidad exacta de “residuos COVID-19” para cada categoría, cualquier impedimento generado durante el transporte y tratamiento debería notificarse a la agencia de tratamiento central. Un equipo de control y prevención de infecciones institucionales debería conducir un entrenamiento regular a todo el personal involucrado en el manejo de residuos biomédicos y monitorear sus prácticas. Estas alternativas en combinación con una estricta adherencia a las normas asegurará un mejor manejo en las crisis posteriores (Das y col., 2020).

CAPÍTULO 7. DISCUSIÓN

De todo lo descrito en este trabajo vale la pena destacar diversos puntos importantes: México emitió la Guía para el manejo de los residuos sólidos urbanos; sin embargo es necesario que se publiquen más guías para el manejo y tratamiento de los residuos hospitalarios como en China (con su Guía para el Manejo y Técnicas de Emergencia del Tratamiento y Disposición de Residuos... por COVID-19); se podría optar fácilmente por la opción de que simplemente se tradujeran y se aplicaran directamente en la nación (México), sin embargo puede no ser tan sencillo, ya que las condiciones socioeconómicas y políticas entre ambas naciones son muy diferentes, comenzando por el hecho de que México es un país en vías de desarrollo y China no, por lo que sería necesario aplicar una revisión exhaustiva de los métodos propuestos por otros países en sus guías que puedan ser viables en México, dicha revisión debería llevarse a cabo por expertos en el tema y gobernantes, para lograr ese balance entre costos y beneficios.

Otra de las propuestas que podrían ser útiles sería el Procedimiento Normalizado de Operación para la limpieza y descontaminación de ambulancias de Nepal, ya que es una parte crucial del transporte de pacientes y una fuente importante de posibles infecciones a los trabajadores.

Investigar y descubrir nuevos métodos para el máximo aprovechamiento de los residuos que se están generando, es necesario mencionar que su tratamiento y disposición (aunque no es sencillo) muchas veces desperdicia el potencial energético que tienen, como en los casos mencionados en este escrito, buscar qué otros residuos (además de los biológicos como la sangre y la saliva) pueden ser transformados a través de reacciones químicas en energía limpia o en otros subproductos que puedan ser utilizados en otras ramas ajenas a la química, por algo es necesario colaborar no sólo entre profesionales de la salud, sino entre ingenieros, biólogos, físicos, etcétera para crear nuevas alternativas de generación energética que disminuyan la huella de carbono y pronostiquen un

futuro mucho más brillante y saludable (Mecheri y col., 2013; Mecheri y col., 2011).

En cuanto a la durabilidad del equipo de protección personal, por ejemplo de los guantes, una de las soluciones sería aumentar el grosor del equipo, sin embargo esto compromete la comodidad y el manejo por parte del usuario, debido a que a mayor grosor menor destreza en el manejo del equipo o los residuos; hay diversos proyectos enfocados precisamente en innovar el EPP, uno de ellos es el SEEUS95, un prototipo de mascarilla hecha de silicón y con “biofiltros” (fabricados de bambú, seda, plata y carbón) que aún se encuentra en pruebas de seguridad e higiene pero que pronto podría ser una alternativa mucho más ecológica y durable, ya que lo único que se reemplazaría serían los biofiltros y (según los fabricantes) son biodegradables (Thomasy, 2020).

Aunque claro es importante también tomar en cuenta su método de fabricación, lamentablemente el fabricante aún no muestra el proceso para realizarlas por ser un artículo innovador, por lo que a continuación se describirá el proceso de manufactura del equipo de protección personal.

Mascarillas: Están fabricadas con tela no tejida, el material más común para fabricarlas es el polipropileno, de 20-25 gramos por metro cuadrado en densidad, aunque también pueden estar fabricadas con poliestireno, policarbonato, polietileno o poliéster. 20 gramos por metro cuadrado del material de la mascarilla se fabrican en un proceso de hilado, el cual involucra expulsar el plástico derretido en una cinta transportadora, el material es entonces expulsado hacia una red en donde los hilos se unen entre ellos mientras se enfrían. Las mascarillas están fabricadas en una estructura multicapa, generalmente cubriendo una capa textil con tela no tejida en ambos lados (Thomas, 2020a).

Estas mascarillas desechables usualmente se fabrican con dos capas que filtran partículas como bacterias arriba de 1 micra y en una línea de fabricación que

ensambla telas no tejidas de los carretes, une las capas y sella las mascarillas con bandas para la nariz, nudos para las orejas y otras piezas, las mascarillas completadas se esterilizan antes de ser enviadas fuera de la fábrica (Thomas, 2020a).

Caretas: Se dividen en dos partes: la lámina o placa y la cinta para la cabeza con la cual se sostiene dicha lámina; para la fabricación de la lámina el material de elección es el policarbonato, debido a su claridad óptica y resistencia a los impactos, otro material elegido (al ser más barato) es el poliéster; la careta debe ser lo suficientemente delgada como para ser cortada con tijeras pero lo suficientemente rígida para poder mantener cierta forma; la cinta para la cabeza puede estar fabricada con hule espuma que cubre la frente y sostiene a la lámina, dicha cinta debe elástica ajustable hasta 1 pulgada (Thomas, 2020b).

Primero la placa se corta en un patrón de rectángulo sin esquinas, con una fuente de calor se dobla el fondo de la placa para cubrir la barbilla, posteriormente se rota y se dobla cada parte de la careta, posteriormente se inserta la cinta en la parte de arriba de la placa y se une con cinta adhesiva o pegamento caliente (CMI, 2020).

Guantes: Sin importar el material de goma a partir del cual se fabriquen, se manufacturan básicamente de la misma manera. El proceso comienza con moldes de cerámica o aluminio en forma de mano sobre una cinta transportadora, los cuales son remojados en tanques de lavado con agua caliente y cloro o lejía y posteriormente secados, ésto elimina los residuos potenciales que hayan quedado de un lote anterior de guantes (Thomas, 2020c).

Una vez que los moldes están limpios, deben cubrirse para fabricar el palo de goma. Para lograr eso, los moldes son remojados en una disolución de nitrato de calcio (lo cual coagulará la goma) y carbonato de calcio (que es un lubricante para evitar que los guantes se peguen demasiado al molde). Un segundo proceso

de secado se lleva a cabo y entonces los guantes en proceso se remojan en tanques ya sea de látex, nitrilo o CPV (Thomas, 2020c).

Hablando de la mejora de protocolos y procesos, se puede iniciar con la cuestión del uso de incineradores enfocados en residuos sólidos urbanos para el tratamiento del exceso de residuos hospitalarios, es cierto que es una de las medidas aplicadas debido a la pandemia para poder cubrir la demanda, pero es necesario seguir los mismos protocolos y guías que siguen aquellos que trabajan habitualmente en plantas de tratamiento de residuos hospitalarios, así como lo mencionan Fu, 2020 y UNEP, 2020b todos los residuos provenientes de hospital se consideran residuos peligrosos, aunque dicha medida es muy importante para reducir al mínimo el riesgo de contagio en los recolectores de residuos, ésto está contribuyendo a la sobrecarga de las plantas de tratamiento de residuos COVID-19 por lo que una propuesta para mejorar esa situación sería comenzar poco a poco a deshacerse del material de oficina o incluso de las hojas recicladas con los métodos convencionales que existían antes de la pandemia, aquellos que no estén en contacto directo con los pacientes, sino que sean usados por los recepcionistas o trabajadores de oficina.

Con respecto al desabasto de EPP, otra propuesta a considerar sería la apertura de nuevos centros de distribución y manufactura de dichos dispositivos a través de inversión gubernamental, es cierto que tienen que cumplir con regulaciones para ser considerados seguros de utilizar, pero por otro lado la situación amerita mantener a los profesionales y trabajadores de la salud lo más protegidos posibles y dichas regulaciones podrían acelerarse o considerarse de "emergencia" como lo son actualmente con las vacunas para el COVID-19, de esa manera se evitaría la reutilización de EPP considerada como de último recurso por la CDC (CDC, 2020b).

CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES

Gracias a toda la información revisada durante este escrito, se pueden concluir diferentes posturas, entre ellas:

Buscar la creación de un sistema de residuos COVID-19 y no COVID-19 universal, para que los riesgos de contagio a los trabajadores de la salud se vean disminuidos y la gestión de residuos evolucione a un nivel mucho más controlado tanto en países desarrollados como en países en vías de desarrollo. La propuesta realizada por el sustentante para el sistema de residuos se basa primero en reforzar la importancia y aplicación de las normatividades de gestión de residuos peligrosos, que no sólo se queden escritas en la norma, sino que se verifique constantemente en las prácticas del día a día tanto de la población como de los trabajadores encargados de recolectar los residuos, ir más allá de la separación entre desperdicios orgánicos e inorgánicos, aumentar la responsabilidad de ambas partes para la correcta recolección de los residuos COVID-19 y no COVID-19; invertir mucho más en vehículos para transportar residuos que cumplan con las especificaciones necesarias para un traslado correcto y seguro, además de brindar capacitación continua a los recolectores de residuos, desde el uso adecuado del equipo de protección personal, hasta las precauciones que deben tener durante todo el traslado de residuos, una vez que lleguen al sitio de disposición y entreguen todos los residuos a las plantas de tratamiento, los trabajadores de dichas plantas podrían realizar muestreos para analizar las características físicas y químicas de los residuos y así distribuirlos entre los diferentes dispositivos con los que contarán, la propuesta sería que cada planta cuente no sólo con los clásicos incineradores, autoclaves y tecnologías de microondas, sino que tuvieran diversas secciones donde se pudieran tratar por métodos como hidrólisis alcalina, biodegradación, vitrificación y otros que pudieran no haberse considerado en este escrito.

Es muy importante que se comience a desarrollar una nueva gama de equipo de protección personal que tenga una duración mucho mayor, ya que el uso excesivo de este material por las condiciones que aquejan a la población actualmente generan millones de residuos en todo el mundo, si se contara con dispositivos con una vida media más extensa, dichos residuos se reducirían, por lo que es prioritario abrir la posibilidad a la investigación y desarrollo en este sector; o en su defecto desarrollar una estrategia de esterilización que permita reducir en gran medida el desecho excesivo de estos instrumentos y al mismo tiempo asegure la disponibilidad de los mismos en un corto periodo de tiempo y en el caso de equipo de protección personal que se encuentre dañado o roto, hacerlo pasar por un proceso de desinfección química que asegure la eliminación del virus, para su posterior reciclaje y (de ser posible) usarlo como materia prima para la creación de nuevas caretas, mascarillas, etc.

La pandemia ha arrasado con todas las actividades habituales, sin embargo eso no le da derecho a la sociedad de dejar de lado las responsabilidades que tiene con los residuos que generan (los cuales aumentaron), es el deber de todos los ciudadanos estar conscientes e informados de las prácticas que se van innovando día con día para lograr la disminución de la contaminación ambiental (el cual es un sector que se ha abandonado ampliamente en los últimos años), ya que el ambiente pertenece al esquema “Una salud” (One Health en inglés) estipulado por la Organización Mundial de la Salud.

Como en muchos otros aspectos tecnológicos, es una obligación seguir invirtiendo en tecnologías nuevas para el tratamiento de residuos hospitalarios y comunitarios que sean mucho más eficientes y menos contaminantes (como la vitrificación, la biodegradación y el entierro ecológico), ya que, a pesar de que se cuenta con la incineración con el incinerador de doble cámara como el método infalible, la liberación de sustancias tóxicas seguirá aumentando y acumulándose en los cuerpos humanos y en el planeta, lo cual en algún momento causará

grandes dificultades en la salud, aumentando la susceptibilidad a enfermedades y disminuyendo la esperanza de vida.

Tomar en cuenta y probar con las estrategias de disposición de residuos que se han publicado a nivel mundial, ya que, para la creación de un mejor sistema de residuos, se debe comenzar a innovar e implementar nuevos caminos, porque si la población se queda estancada con lo que cada nación indica solamente, existirá una limitación relativamente grande a un mundo de posibilidades de desarrollo y mejora de protocolos y procesos, es importante no tener miedo al cambio y ejercer responsabilidad sobre el mismo, desde nivel local, hasta nivel gubernamental.

Habitualmente, la OMS recomienda que la incineración es el método por excelencia para tratar los residuos de COVID-19, y los residuos hospitalarios en general, cuyas características principales son que el valor calorífico inferior de los residuos sea de al menos 2000 kcal/kg (8370 kJ/kg), que el contenido de materia combustible sea arriba del 60% del total, que los sólidos no combustibles sean menores al 5% y que el contenido de humedad sea menor al 30% (Chartier y col., 2014). Sin embargo, no se puede dejar de tomar en cuenta el equilibrio que se debe tener entre las emisiones de contaminantes a la atmósfera y el tratamiento de residuos, por lo que (como se menciona en una parte del trabajo) una combinación entre esterilización y/o desinfección química de los residuos junto con los tratamientos físicos y termoquímicos sería la propuesta más atractiva, no sólo encasillarse en la incineración, sino proponer y hacer uso de los nuevos métodos como la vitrificación, el entierro ecológico y la nanotecnología.

Según la caracterización de los residuos que se revisó, en su mayoría el equipo de protección personal se encuentra fabricado por plásticos, que, a pesar de su versatilidad y durabilidad, se convierten rápidamente en un problema de contaminación ambiental, por lo que la búsqueda de nuevos materiales que sean resistentes pero con una degradación mucho menos compleja es de suma

importancia, no sólo tomar en cuenta el valor calorífico adecuado para elegir la incineración como el método preferido, sino observar los valores de humedad, contenido proteico y orgánico, etcétera que permita la utilización de los nuevos métodos propuestos en este trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Salam, M., M. 2010. Hospital waste management in El Beheira Governorate Egypt. *Journal of Environmental Management*. 91: 618-629.

ACRPlus. 2020. Municipal waste management and COVID-19. Publicación de Association of cities and regions for sustainable resource management. Avenida d'Auderghem, Bruselas, Bélgica.

ADB. 2020a. Managing Infectious Medical Waste during the COVID-19 Pandemic. Publicación de Asian Development Bank. Filipinas, Ciudad Mandaluyong, Filipinas.

ADB. 2020b. Global Shortage of Personal Protective Equipment amid COVID-19: Supply Chains, Bottlenecks, and Policy Implications. Publicación de Asian Development Bank Briefs. Filipinas, Ciudad Mandaluyong, Filipinas.

AFP. 2020. Coronavirus: Medical waste piles up at the epicentre of Italy's outbreak. Publicación de Agence France-Presse. Roma, Italia.

Agamuthu, P., Barasarathi, J. 2020. Clinical waste management under COVID-19 scenario in Malaysia. *Waste Management & Research*. 1-9.

Ahmad, S., R. 2004. A New Technology for Automatic Identification and Sorting of Plastics for Recycling. *Environmental Technology*. 25(10): 1143-1149.

Alegría, A. 2020. Demanda de plásticos en México ha crecido por Covid-19. Publicación de *La Jornada*. CDMX, México.

Alrhoun, M. 2014. Hospital Wastewaters Treatment: Upgrading Water System Plans and Impact on Purifying Biomass. Publicado por Environmental Engineering. Université de Limoges, Limoges, Francia.

Álvarez, P. 2008. Crítica a la implementación de sanciones sobre el manejo de residuos biológicos infecciosos (hospitalarios). Tesis de Licenciatura de Derecho. Facultad de Derecho, Universidad Latina, México, D.F., México.

Anjum, F., Shahid, M., Bukhari, S., Potgieter, J., H. 2014. Combined ultrasonic and bioleaching treatment of hospital waste incinerator bottom ash with simultaneous extraction of selected metals. *Environmental Technology*. 35(1-4): 262–270.

APHA. 2005. Standard Methods for Examination of Water and Waste Water. 21° ed. Editado por American Public Health Association. Washington, EE. UU.

Arcuri, C., Luciani, F., Piva, P., Bartuli, F., N., Ottria, L., Mecheri, B., Licoccia, S. 2013. Medical waste to energy: experimental study. *Oral & Implantology*. 6(4): 83-88.

Aryal, S. 2018. Differences Between Bacteremia and Septicemia. Publicación de Microbiology Info.com. Saarbrücken, Saarland, Alemania.

Asadi, A., Moghadda, H. 2005. Dioxin in environment. En: 8th National congress of Environmental health. Tehran, Irán.

Bahraini, A. 2018. 7 types of plastics that you need to know. Publicación de Waste4change. Padurenan, Ciudad Bekasi, Java Occidental.

Balakirsky, S., Kootbally, Z. 2012. USARSim/ROS: A Combined Framework for Robotic Control and Simulation. En: International Symposium on Flexible Automation (ISFA). St. Louis, Missouri, EE.UU.

Baqueiro, R., E., Baqueiro, C., L., Baqueiro, E., R. 2000. Introducción al Derecho Ecológico. Editado por Oxford University PressHarla. Pág. 37. México, D.F., México.

Batterman, S. 2004. Assessment of Small-Scale Incinerators for Health Care Waste. Report Prepared for the Protection of the Human Environment. Publicado por la Organización Mundial de la Salud. Avenida Appia, Ginebra, Suiza.

Bazrafshan, E., Mostafapoor, F., K. 2010. Survey of medical waste characterization and management in Iran: A case study of Sistan and Baluchestan Province. **Waste Management and Research**. 29(4): 442–450.

Becerra, E., L., L. 2020. Ática gestiona anualmente 3.500 toneladas de residuos hospitalarios en Colombia. Publicación de La República. Bogotá, Colombia.

Bhakta, S., H., Raja, V., K., Shankar, C., V., R., Prakash, R., V., Kumar, J., A., Dubey, B., Goel, S., Bhattacharya, J. 2020. Challenges, opportunities, and innovations for effective solid waste management during and post COVID-19 pandemic. **Resources, Conservation & Recycling**. 162: 1-12.

Bibby, K., Fischer, R., J., Casson, L., W., Stachler, E., Haas, C., N., Munster, V., J. 2015. Persistence of Ebola virus in sterilized wastewater. *Environmental Science & Technology Letters*. 2(9): 245–249.

BMW Rule. 2016. Bio-Medical Waste Management (Principal) Rules. Gazette of India, Extraordinary, Part II, Section 3, Sub-Section (i). Ministry of Environment, Forest and Climate Change. New Delhi, India.

Bonhomme, S., Cuer, A., Delort, A., Lemaire, J., Sancelme, M., Scott, G. 2003. Environmental biodegradation of polyethylene. ***Polymer Degradation and Stability***. 81(3): 441-452.

Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. 2020. PH. Publicación de Encyclopaedia Britannica. Chicago, Illinois, EE.UU.

Buragohain, P., Nath, V., Sharma, H.,K. 2020. Microbial degradation of Waste: a review. ***Current Trends in Pharmaceutical Research***. 7(1): 106-125.

Bush, L., M. 2020. Bacteremia. Publicación de MSD Manual Professional Version. Kenilworth, Nueva Jersey, EE.UU.

Calma, J. 2020. The COVID-19 pandemic is generating tons of medical waste. Publicación de The Verge. Nueva York, EE. UU.

Capoor, M., R., Bhowmik, K., T. 2017. Current Perspectives on Biomedical Waste Management: Rules, Conventions and Treatment Technologies. ***Indian Journal of Medical Microbiology***. 35: 157-164.

Casalino, E., Astocondor, E., Sanchez, J., C., Díaz-Santana, D., E., Del Aguila, C., Carrillo, J., P. 2015. Personal protective equipment for the Ebola virus disease: A comparison of 2 training programs. ***American Journal of Infection Control***. 43(12): 1281-1287.

Castegnaro, M., Adams, J., Armour, M., A., Barek, J., Benvenuto, J. , Confalonieri, C., Goff, U., Ludeman, S., Reed, D., Sansone, E., B., Telling, G. 1985. Laboratory Decontamination and Destruction of Carcinogens in Laboratory Waste: Some Antineoplastic Agents. Editado por IARC Scientific Publications. Albert Thomas, Lyon, Francia.

CDC. 2004. Guidance for the Selection and Use of Personal Protective Equipment (PPE) in Healthcare Settings. Publicación del Centers for Disease Control and Prevention: Department of Health and Human Services. Atlanta, Georgia, EE.UU.

CDC. 2019. Antineoplastic (Chemotherapy) Drugs. Publicación de Centers for Disease Control and Prevention: The National Institute for Occupational Safety and Health. Washington D.C., EE.UU.

CDC. 2020a. Interim Guidance for Collection and Submission of Post-mortem Specimens from Deceased Persons Under Investigation (PUI) for COVID-19. U.S. Publicación de Centers for Disease Control and Prevention: Department of Health & Human Services. Atlanta, Georgia, EE.UU.

CDC. 2020b. Strategies for Optimizing the Supply of N95 Respirators. U.S. Department of Health & Human Services. Publicación de Centers for Disease Control and Prevention. Atlanta, Georgia, EE.UU.

CDC. 2021. About Invasive Candidiasis. Publicación de Centers for Disease Control and Prevention: National Center for Emerging and Zoonotic Infectious Diseases. Georgia, Atlanta, EE.UU.

Chaerul, M., Tanaka, M., Shekdar, V., A. 2008. A system dynamics approach for hospital waste management. **Waste Management**. 28(2): 442–449.

Chandra, B., B. 2021. Challenges in handling COVID-19 waste and its management mechanism: A Review. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**. 15: 2-7.

Chartier, Y., Emmanuel, J., Pieper, U., Prüss, A., Rushbrook, P., Stringer, R., Townend, W., Wilburn, S., Zghondi, R. 2014. Safe Management of Wastes from Health-Care Activities. Editado por World Health Organization. Ginebra, Suiza.

Chen, Y., Guo, C. 2020. Handbook of emergency disposal and management of medical waste in china. Editado por Basel Convention. Pág. 1-139. Seattle, Washington, EE.UU.

CMI. 2020. Open-Source Personal Protective Equipment: Face Shield. Publicación de Center for Medical Innovation. Salt Lake City, Utah, EE.UU.

Coia, J., E., Ritchie, L., Adisesh, A., Makison-Booth, C., Bradley, C., Bunyan, D., Carson, G., Fry, C., Hoffman, P., Jenkins, D., Phin, N., Taylor, B., Nguyen-Van-Tam, J., S., Zuckerman, M. 2013. Guidance on the use of respiratory and facial protection equipment. ***Journal of Hospital Infection***. 85: 170-182.

CPCB. 2016. Report on Plastic Waste Disposal through Plasma Pyrolysis Technology. Publicado por Central Pollution Control Board: Ministry of Environment & Forests & Climate Change. Parivesh Bhawan, East Arjun Nagar, Delhi.

CPCB. 2020. Report on COVID-19 Waste Management. Publicación del Central Pollution Control Board: Ministry of Environment, Forest and Climate Change. Nueva Delhi, India.

Darnell, M., E., R., Subbarao, K., Feinstone, S., M., Taylor, D., R. 2004. Inactivation of the coronavirus that induces severe acute respiratory syndrome, SARS-CoV. *Journal of Virological Methods*. 121 (1): 85–91.

Das, A., Garg, R., Ojha, B., Banerjee, T. 2020. Biomedical Waste Management: The Challenge amidst COVID-19 Pandemic. ***Journal of Laboratory Physicians***. 12(2): 161-162.

Datta, P., Mohi, G., K., Chander, J. 2018. Biomedical waste management in India: critical appraisal. ***Journal of Laboratory Physicians***. 10(1): 6–14.

Dente, S., M., R., Hashimoto, S. 2020. COVID-19: A pandemic with positive and negative outcomes on resource and waste flows and stocks. ***Resources, Conservation and Recycling***. 161(104979): 1-2.

Diya, S., Z., Proma, R., A., Islam, M., N., Anannya, T., T., Mamun, A., A., Arefeen, R., Mamun, S., A., Rahman, I., I., Rabbi, M., F. 2018. Developing an Intelligent Waste Sorting System with Robotic Arm: A Step towards Green Environment. ***2018 International Conference on Innovation in Engineering and Technology (ICIET)***. 1-6.

DOE. 2012. Thermal Treatment Technologies [Fact Sheet]. Publicado por United States Department of Energy: Argonne National Laboratory. Illinois, EE. UU.

DOF. 2004. NOM-083-SEMARNAT-2003 Especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. Publicado por Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.

DOF. 2013. 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 a dicho listado; así como los elementos y procedimientos para la

formulación de los planes de manejo. Publicado por Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.

DOF. 2015a. Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Publicado por Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.

DOF. 2015b. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Publicado por Diario Oficial de la Federación. México, D.F., México.

DOF. 2021. Ley General de Salud (LGS). Publicado por Diario Oficial de la Federación. México, CDMX, México.

Dugdhe, S., Shelar, P., Jire, S., Apte, A. 2016. Efficient waste collection system. ***International Conference On Internet of Things and Applications (IOTA)***. 1-5.

Durante, K., M., Laran, J. 2016. The effect of stress on consumer saving and spending. ***Journal of Marketing Research***. 53(5): 814–828.

Dussud, C., Ghiglione, J. 2020. Bacterial Degradation Of Synthetic Plastics. Publicación de The Tara Ocean Foundation. Boulevard Bourdon, Paris, Francia.

Eagleson, M. 1945. Concise encyclopedia chemistry. 2° ed. Editado por Walter de Gruyter. Berlín, Alemania.

EC. 2003. Updated Opinion and Report on a Treatment of Animal Waste by Means of High Temperature and High Pressure Alkaline Hydrolysis. Publicado por European Commission: Scientific Steering Committee. Calle Philippe Le Bon, Bruselas, Bélgica.

Edlich, R., F., Wind, T., C., Hill, L., G., Thacker, J., G. 2003. Creating another barrier to the transmission of bloodborne operative infections with a new glove gauntlet. ***Journal of long-term effects of medical implants***. 13(2): 97-101.

Emmanuel, J. 2001. Non-incineration medical waste treatment technologies. Editado por Health Care without Harm. Washington, EE. UU.

Emmanuel, J., Stringer, R. 2007. For proper disposal: A global inventory of alternative medical waste treatment technologies. Editado por Health Care without Harm. Arlington, Virginia, EE. UU.

Fadden, M., Peaslee, J. 2019. What's a necropsy? The science behind this valuable diagnostic tool. Publicación de Cornell Wildlife Health Lab. 240 Calle Farrier, Ithaca, Nueva York.

Feber, D., Lingqvist, O., Nordigården, D. 2020. How the packaging industry can navigate the coronavirus pandemic. Publicación de McKinsey & Company. 3era Avenida, Nueva York, EE.UU.

Fernández, M., Del Castillo, J., L., Nieto, M., J. 2015. Surgical Gown's Cuff Modification to Prevent Surgical Contamination. ***Journal of Maxillofacial and Oral Surgery***. 14(2): 474-475.

Ferronato, N., Torretta, V. 2019. Waste Mismanagement in Developing Countries: A Review of Global Issues. ***International Journal of Environmental Research and Public Health***. 16(6): 1-28.

FGI. 2010. Guidelines for Design and Construction of Hospital and Health Care Facilities. Editado por Facility Guidelines Institute: American Society for Healthcare Engineering of the American Hospital Association. Chicago, EE. UU.

Fraser, J., F., Young, S., W., Valentine, K., A., Probst, N., E., Spangehl, M., J. 2015. The Gown-glove Interface Is a Source of Contamination: A Comparative Study. ***Clinical Orthopaedics and Related Research***. 473(7): 2291-2297.

Fu, W. 2020. Wuhan medical waste disposal withstands emergency test. Publicación de People's Daily Online. Distrito Chaoyang, Beijing, China.

Giannoccaro, N., I., Spedicato, L., Lay-Ekuakille, A. 2013. Climate Changes and Pollution Control June 3-4, 2013. En: 4th Imeko TC19 Symposium on Environmental Instrumentation and Measurements Protecting Environment. Lecce, Italy.

Gormley, M., Aspray, T., J., Kelly, D., A. 2020. COVID-19: mitigating transmission via wastewater plumbing system. ***The Lancet***. 8(5): e643

Goswami, M., Goswami, P., J., Nautiyal, S., Prakash, S. 2021. Challenges and actions to the environmental management of Bio-Medical Waste during COVID-19 pandemic in India. ***Heliyon***. 7(3): 1-13.

GOV.UK. 2020. Cleansing and PPE waste at a healthcare waste management facility: RPS C1. Publicación de Environment Agency. Rotherham, Reino Unido.

Grodzińska-Jurczak, M., Krawczyk, A., Jurczak, A., Strzelecka, M., Rechciński, M., Boćkowski, M. 2020. Environmental choices Vs. COVID-19 pandemic fear – plastic governance re-assessment. ***Society Register***. 4(2): 49–66.

Gundy, P., M., Gerba, C., P., Pepper, I., L. 2009. Survival of coronaviruses in water and wastewater. ***Food and Environmental Virology***. 1 (1): 10–14.

Guo, Y., P., Li, Y., Wong, P., L., H. 2014. Environment and body contamination: A comparison of two different removal methods in three types of personal protective clothing. ***American Journal of Infection Control***. 42(4): e39-45.

Hantoko, D., Li, X., Pariatamby, A., Yoshikawa, K., Horttanainen, M., Yan, M. 2021. Challenges and practices on waste management and disposal during COVID-19 pandemic. ***Journal of Environmental Management***. 1-27. En prensa.

Haque, M., S., Uddin, S., Sayem, S., M., Mohib, K., M. 2020. Coronavirus disease 2019 (COVID-19) induced waste scenario: a short overview. ***Journal of Environmental Chemical Engineering***. 9: 2-14.

Harhay, M., O., Halpern, S., D., Harhay, J., S., Olliaro, P., L. 2009. Health care waste management: A neglected and growing public health problem worldwide. ***Tropical Medicine & International Health***. 14(11): 1414-1417.

Haverkate, F., Tempel, A., Den Held, A., J. 1969. Interaction of 2,4,5-trichlorophenylsulphonylmethylthiocyanate with fungal spores. ***Netherlands Journal of Plant Pathology***. 75: 308-315.

Holshue, M., L., DeBolt, C., Lindquist, S., Lofy, K., H., Wiesman, J., Bruce, H., Spitters, C., Ericson, K., Wilkerson, S., Tural, A., Diaz, G., Cohn, A., Fox, L., Patel, A., Gerber, S., I., Kim, L., Tong, S., Lu, X., Lindstrom, S., Pallansch, M., A., Weldon, W., C., Biggs, H., M., Uyeki, T., M., Pillai, S., K. 2020. First case of 2019 novel coronavirus in the United States. ***The New England Journal of Medicine***. 382: 929–936.

Hrabovsky, M., Van Der Walt I., J. 2017. Handbook of thermal science and engineering, Plasma waste destruction. Editado por Springer International Publishing AG. Salmon Tower Building, Nueva York, EE.UU.

Hung, L., S. 2003. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? ***Journal of the Royal Society of Medicine***. 96 (8): 374–378.

Hyun, M.C. 2020. Korea sees steep rise in online shopping during COVID-19 pandemic. ZDNet. Costa del Oeste, San Francisco, EE.UU.

INECC. 2020. Panorama de la generación y manejo de residuos sólidos y médicos durante la emergencia sanitaria por COVID-19. Publicación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Boulevard Adolfo Ruíz Cortines, Alcaldía Tlalpan, CDMX.

IPEN. 2014. Bio-medical waste management: Situational analysis and predictors of performances in 25 districts across 20 Indian States. ***Indian Journal of Medical Research***. 139(1): 141-153.

Jefferson, T., Del Mar, C., B., Dooley, L., Ferroni, E., Al-Ansary, L., A., Bawazeer, G., A., van Driel, M., L., Nair, S., Jones, M., A., Thorning, S., Conly, J., M. 2011. Physical interventions to interrupt or reduce the spread of respiratory viruses. ***Cochrane Database of Systematic Reviews***. CD006207(7): 1-121.

Jiménez, M., D., Flores, M., I., Ordiano, R., M., Atescatenco, P., G., Cervera, R., M. 2015. Accidentes laborales por residuos punzocortantes en el personal de salud: Un estudio exploratorio. ***Revista de Enfermería Neurológica***. 14(1): 45-55

John, D., E., Rose, J., B. 2005. Review of factors affecting microbial survival in groundwater. ***Environmental Science & Technology***. 39 (19): 7345–7356.

Johnson, J., Pecquet, G., Taylor, L. 2007. Potential Gains from Trade in Dirty Industries: Revisiting Lawrence Summers Memo. *Cato Journal*. 27(3): 397-410.

Joshi, V., V., Ghugikar, R., Bhise, B., Bhawar, P., Kakade, S. 2017. Waste Segregation using Smart Robotic Arm. ***International Research Journal of Engineering and Technology***. 4(5): 1833-1835.

Jribi, S., Ben, H., Doggui, D., Debbabi, H. 2020. COVID-19 virus outbreak lockdown : What impacts on household food wastage? ***Environment, Development and Sustainability***. 22(5): 3939–3955.

Judd, S., Judd, C. 2011. Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment System. 2° ed. Editado por Butterworth-Heinemann. Oxford, Reino Unido.

Kampf, G., Todt, D., Pfaender, S., Steinmann, E. 2020. Persistence of coronaviruses on inanimate surfaces and their inactivation with biocidal agents. ***The Journal of Hospital Infection***. 104(3): 246–251.

Karnan, H., Ananya, R., S., Sri Sushmithaa, V., Vinothine, G. 2021. Smart arm for segregation of biomedical waste. ***Materials Today: Proceedings***. 1-7. En prensa.

Kaufman, L., Chasan, E., 2020. Cities Wonder Whether Recycling Counts As Essential During the Virus. Bloomberg Green. Avenida Lexington 731, Nueva York, EE.UU.

Klemeš, J., J., Fan, Y., V., Tan, R., R., Jiang, P. 2020. Minimising the present and future plastic waste, energy and environmental footprints related to COVID-19. ***Renewable and Sustainable Energy Reviews***. 127: 1-7.

Lai, M., Y., Y., Cheng, P., K., C., Lim, W., W., L. 2005. Survival of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus. ***Clinical Infectious Diseases***. 41 (7): e67–e71.

Lee, B., K., Ellenbecker, M., J., Moure-Ersaso, R. 2004. Alternatives for treatment and disposal cost reduction of regulated medical wastes. **Waste Management**. 24(2): 143–151.

Li, C-S., Jenq, F-T. 1993. Physical and Chemical Composition of Hospital Waste. **Infection Control and Hospital Epidemiology**. 14(3): 145-150.

Liang, Y., Song, Q., Wu, N., Li, J., Zhong, Y., Zeng, W. 2021. Repercussions of COVID-19 pandemic on solid waste generation and management strategies. **Frontiers of Environmental Science & Engineering**. 15(6): 1-18.

LL. 2005. Modes of Disease Transmission. Publicación de Lumen Learning. Calle Washington 812, Oregon, EE.UU.

Lowe, J., J., Paladino, K., D., Farke, J., D., Boulter, K., Cawcutt, K., Emodi, M., Gibbs, S., Hankins, R., Hinkle, L., Micheels, T., Schwedhelm, S., Vasa, A., Wadman, M., Watson, S., Rupp, M., E. 2020. N95 Filtering Facepiece Respirator Ultraviolet Germicidal Irradiation (UVGI) Process for Decontamination and Reuse. Nebraska Medicine. Dewey Avenue, Nebraska, EE.UU.

Lugauskas, A., Levinskaitė, L., Pečiulytė, D. 2003. Micromycetes as deterioration agents of polymeric materials. **International Biodeterioration & Biodegradation**. 54(4): 233-242.

Ma, Y., Lin, X., Wu, A., Huang, Q., Li, X., Yan, J. 2020. Suggested guidelines for emergency treatment of medical waste during COVID-19: Chinese experience. **Waste Disposal & Sustainable Energy**. 2: 81-84.

Mattiello, A., Chiodini, P., Bianco, E., Forgione, N., Flammia, I., Gallo, C., Pizzuti, R., Panico, S. 2013. Health effects associated with the disposal of solid waste in

landfills and incinerators in populations living in surrounding areas: a systematic review. *International Journal of Public Health*. 58: 725–735.

McDonnell, G., Rusell, A., D. 1999. Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical Microbiology Reviews*. 12(1): 147-179.

MDDI. 2020. Compatibility of Medical Devices and Materials with Low-temperature Hydrogen Peroxide Gas Plasma. Publicación de Medical Device and Diagnostic online. Santa Mónica, California, EE.UU.

Mecheri, B., D'Epifanio, A., Geracitano, A., Targon Campana, P., Licoccia, S. 2013. Development of glucose oxidase-based bioanodes for enzyme fuel cell applications. *Journal of Applied Electrochemistry*. 43(2): 181-190.

Mecheri, B., Geracitano, A., D'Epifanio, A., Licoccia, S. 2011. A Glucose Biofuel Cell to Generate Electricity. *ECS Transactions*. 35(26): 1-8.

MEEPRC. 2020. Guide on Management and Technical on Emergency Treatment and Disposal of Medical Waste Caused by COVID-19 (Trial). Publicación del Ministry of Ecology and Environment of the People's Republic of China. Beijing, China.

MEF. 1998. The Gazette of India Biomedical Wastes (Management and Handling) Rules. Publicación del Ministry of Environment and Forests. Camino Jorbagh, Nueva Delhi, India.

MEFCC. 2016. Bio-Medical Waste Management Rules, 2016. Publicación del Ministry of Environment, Forests and Climate Change. Camino Jorbagh, Nueva Delhi, India.

Messerle, V., E., Mosse, A., L., Ustimenko, A., B. 2018. Processing of biomedical waste in plasma gasifier. **Waste Management**. 79: 791-799.

Meyer, K., K., Beck, W., C. 1995. Gown-glove interface: a possible solution to the danger zone. **Infection Control and Hospital Epidemiology**. 16(8): 488-490.

Mihai, F., C. 2020. Assessment of COVID-19 waste flows during the emergency state in Romania and related public health and environmental concerns. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 17(15): 5439.

MSAHF. 2020. Waste Management Prepared for the Epidemic Caused by the Coronavirus. Publicación del Ministry of Social Affairs and Health of Finland. Meritullinkatu, Helsinki, Finlandia.

Myllyvirta, L. 2020. Analysis: Coronavirus temporarily reduced China's CO2 emissions by a quarter. Publicación de Carbon Brief. 180 Borough High Street, Londres, Reino Unido

Nason, A. 2003. Biología. Editado por Limusa. Pág. 37-48. México, D.F., México.

NCDC. 2020. Guideline for quarantine facilities COVID-19. Publicación del National Centre for Disease Control: Ministry of Health and Family Welfare. Nueva Delhi, India.

Nema, S., K., Ganeshprasad, K., S. 2002. Plasma pyrolysis for medical waste. **Current Science**. 83(3): 271-278.

NICE. 2019. Tuberculosis NICE guideline [NG33]. Publicación del National Institute for Health and Care Excellence. Plaza Redman, Londres, Reino Unido.

NIPCM. 2020. Standard Infection Control Precautions - Literature Reviews. Publicación del National Infection Prevention and Control Manual: National Services Scotland. Plaza Gyle, Edinburgo, Reino Unido.

Nishiura, H., Kuratsuji, T., Quy, T., Phi, N, C., Ban, V., V., Ha, L., D., Long, H., T., Yanai, H., Keicho, N., Kirikae, T., Sasazuki, T., Anderson, R., M. 2005. Rapid awareness and transmission of severe acute respiratory syndrome in Hanoi French Hospital, Vietnam. ***The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene***. 73(1): 17-25.

Norn, S., Kruse, P., R., Kruse, E. 2006. On the history of injection. ***Dan Medicinhist Arbog***. 34: 104-113.

NRC. 1989. Safe disposal of infectious laboratory waste. Biosafety in the Laboratory: Prudent Practices for Handling and Disposal of Infectious Materials. Editado por National Research Council: The National Academies Press. Washington, EE. UU.

Nzediegwu, C., Chang, S., X. 2020. Improper solid waste management increases potential for COVID-19 spread in developing countries. ***Resources, Conservation and Recycling***. 161: 1-2.

OECD. 2020a. OECD Policy Responses to Coronavirus (COVID-19) -Cities policy responses. Publicación de Organization for Economic Co-operation and Development. Calle André Pascal 75016, Paris, Francia.

OECD. 2020b. Supporting people and companies to deal with the Covid-19 virus: Options for an immediate employment and social-policy response. Publicación de Organization for Economic Co-operation and Development. Calle André Pascal 75016, Paris, Francia.

OL. 2021a. Dioxins. Publicación de Oxford Languages: Universidad de Oxford. Oxford OX1 2JD, Reino Unido.

OL. 2021b. Pepenador. Publicación de Oxford Languages: Universidad de Oxford. Oxford OX1 2JD, Reino Unido.

Olanrewaju, O., O. 2019. Quantification and characterization of medical waste in public health care facilities within Akure Metropolis, Ondo State, Nigeria. ***International Journal of Agriculture and Environmental Research***. 5(5): 15-30.

Omrani, G., A., Atabi, F., Sadeghi, M., Banaei Ghah Farokhi, B. 2007. Comparison between economical, hygienic and technical aspects of three methods of hospital wastes disposal including sterilization, incineration and sanitary landfill in Shahr-e-kord. ***Journal of Environmental Science and Technology***. 9(2):23-8.

Ong, J., J., Y., Bharatendu, C., Goh, Y., Tang, J., Z., Y., Sooi, K., W., X., Tan, Y., L., Tan, B., Y., Q., Teoh, H.-L., Ong, S., T., Allen, D., M., Sharma, V., K. 2020. Headaches associated with personal protective equipment – a cross-sectional study among frontline healthcare workers during COVID-19. ***Headache: The Journal of Head and Face Pain***. 60(5): 864–877.

OMS. 2020. Información básica sobre la COVID-19. Publicación de la Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.

Osborn, M., Lucas, S., Swift, B., Youd, E. 2020. Autopsy Practice Relating to Possible Cases of COVID-19 (2019 nCov, Novel Coronavirus from China 2019/2020). ***Royal College of Pathologists (UK)***. 1-14

Osman, M., H., Shah, A., A., Walsh, F., C. 2011. Recent progress and continuing challenges in bio-fuel cells. Part I: Enzymatic cells. ***Biosensors and Bioelectronics***. 26(7): 3087-3102.

Padmanabhan, K., K., Barik, D. 2019. Health Hazards of Medical Waste and its Disposal. ***Elsevier Public Health Emergency Collection***. 99-118.

Park, Y., J., Heo, J. 2002. Conversion to glass-ceramics from glasses made by MSW incinerator fly ash for recycling. ***Ceramics International***. 28(6): 689-694

Patrício, S., A., L., Prata, J., C., Walker, T., R., Campos, D., Duarte, A., C., Soares, A., M., V., M., Barcelò, D., Rocha-Santos, T. 2020. Rethinking and optimising plastic waste management under COVID-19 pandemic: Policy solutions based on redesign and reduction of single-use plastics and personal protective equipment. ***Science of The Total Environment***. 742: 2-8.

Patrício, S., A., L., Prata, J., C., Walker, T., R., Duarte, A., C., Ouyang, W., Barcelo, D., Rocha-Santos, T. 2021. Increased plastic pollution due to COVID-19 pandemic: Challenges and recommendations. ***Chemical Engineering Journal***. 405(126683): 1-9.

Paulino, R., F., S., Essiptchouk, A., M., Silveira, J., L. 2020. The use of singas from biomedical waste plasma gasification systems for electricity production in internal combustion: Thermodynamic and economic issues. ***Energy***. 199 (117419): 1-10.

Pennsylvania Code. 2021. Chapter 284, Regulated medical and chemotherapeutic waste. Disposal of Infectious and Chemotherapeutic waste. Publicación del Departamento de Protección Ambiental de Pensilvania. Harrisburg, Pensilvania, EE. UU.

PeRKINS Coie. 2020. Managing COVID-19 Wastes. Publicación de Perkins Coie LLP. Seattle, Washington, EE.UU.

Phillips, D., H., Arlt, V., M. 2009. Genotoxicity: damage to DNA and its consequences. *Molecular, Clinical and Environmental Toxicology*. 99(1): 87-110.

Prata, J., C., Silva, A., L., P., Walker, T., R., Duarte, A., C., Rocha-Santos, T. 2020. COVID-19 Pandemic Repercussions on the Use and Management of Plastics. *Environmental Science & Technology*. 54(13):7760-7765.

Pruss, A., Giroult, E., Rushbrook, P. 1999. Safe Management of Waste from Health-care Activities. Publicado por la Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.

Qu, X., Alvarez, P., J., Li, Q. 2013. Applications of nanotechnology in water and wastewater treatment. *Water Research*. 47(12): 3931-3946.

RAE. 2020. Espujo. Publicación de Real Academia Española: Asociación de Academias de la Lengua Española. Calle Felipe IV, Madrid, España.

Ramteke, S., Sahu, B., L. 2020. Novel coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic: Considerations for the biomedical waste sector in India. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*. 1-6.

Rhee, S.-W. 2020. Management of used personal protective equipment and wastes related to COVID-19 in South Korea. *Waste Management & Research*. 38(8): 820-824.

Rinaldi, A., Mecheri, B., Garavaglia, V., Licoccia, S., Di Nardo, P., Traversa, E. 2008. Engineering materials and biology to boost performance of microbial fuel cells: a critical review. ***Energy and Environmental Science***. 1(4): 417-429.

Rocha, L. 2020. Cuál es el plan ante el potencial crecimiento de los residuos hospitalarios en la Argentina. Publicación de Infobae. Buenos Aires, Argentina.

Rutala, W., A., Weber, D., J. 1997. Uses of inorganic hypochlorite (bleach) in health-care facilities. ***Clinical Microbiology Reviews***. 10(4): 597–610.

Rutala, W., A., Weber, D., J., Healthcare Infection Control Practices Advisory Committee (HICPAC). 2008. Guideline for Disinfection and Sterilization in Healthcare Facilities. Editado por Centres for Disease Control. Atlanta, EE. UU.

Sangkham, S. 2020. Face mask and medical waste disposal during the novel COVID-19 pandemic in Asia. ***Case Studies in Chemical and Environmental Engineering***. 2: 1-9.

Sarkodie, S., A., Owusu, P., A. 2020a. Global assessment of environment, health and economic impact of the novel coronavirus (COVID-19). ***Environment, Development and Sustainability***. 1–11.

Sarkodie, S., A., Owusu, P., A. 2020b. Impact of COVID-19 pandemic on waste management. ***Environment, Development and Sustainability***. 1-10.

SCT. 2009. Norma Oficial Mexicana NOM-010-SCT2/2009, Disposiciones de compatibilidad y segregación para el almacenamiento y transporte de sustancias, materiales y residuos peligrosos. Secretaría de Comunicaciones y Transportes. México, D.F, México.

SEMARNAT. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, Protección ambiental - Salud ambiental - Residuos peligrosos biológico-infecciosos - Clasificación y especificaciones de manejo. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ejército Nacional No.223, D.F., México.

SEMARNAT. 2003. Reglamento interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Diario Oficial de la Federación. Ejército Nacional No.223, D.F., México.

SEMARNAT. 2005. Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ejército Nacional No.223, D.F., México.

SEMARNAT. 2015. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Publicado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ejército Nacional No.223, D.F., México.

SEMARNAT. 2020. Cartilla de Mejores Prácticas para la Prevención del COVID-19 en el Manejo de los Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Publicado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Ejército Nacional No.223, CDMX, México.

Shammi, M., Bodrud-Doza, M., Islam, A., R., M., T., Rahman, M.,M. 2020. Strategic assessment of COVID-19 pandemic in Bangladesh: comparative lockdown scenario analysis, public perception, and management for sustainability. ***Environment, Development and Sustainability***. 1-44

Shelly, H., K., Anita, R. 2014. Bacterial Treatment and Metal Characterization of Biomedical Waste Ash. ***Journal of Waste Management***. 3: 1-6.

Shen, Y., Yu, S., Ge, S., Chen, X., Ge, X., Chen, M. 2017. Hydrothermal carbonization of medical wastes and lignocellulosic biomass for solid fuel production from lab-scale to pilot-scale. **Energy**. 118: 312–323.

Singh, N., Tang, Y., Ogunseitan, O.A. 2020. Environmentally sustainable management of used personal protective equipment. **Environmental Science & Technology**. 54(14): 8500–8502.

SK. 2020. Online Shopping in March 2020. Publicación de Statistics Korea: National Symbols of the Republic of Korea. 189 Cheongsa-ro, Seo-gu, República de Korea.

Somani, M., Srivastava, A., N., Gummadivalli, S., K., Sharma, A. 2020. Indirect implications of COVID-19 towards sustainable environment: An investigation in Indian context. **Bioresource Technology Reports**. 11: 1-10.

SSC. 2006. Revised Draft Guidelines on Best Available Techniques and Provisional Guidance on Best Environmental Practices of the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Publicación del Secretariat of the Stockholm Convention: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Avenida de la Paz, Ginebra, Suiza.

Tang, W. 2020. The medical waste related to COVID-2019 is cleaned up every day-the medical waste treatment market needs to be standardised. Publicado por 21st Century Business Herald. Guangzhou Avenue, Guangzhou, China.

Teleman, M., D., Boudville, I., C., Heng, B., H., Zhu, D., Leo, Y., S. 2004. Factors associated with transmission of severe acute respiratory syndrome among health-care workers in Singapore. **Epidemiology & Infection**. 132(5): 797-803.

Tenenbaum, L. 2020. The Amount Of Plastic Waste Is Surging Because Of The Coronavirus Pandemic. Forbes. Ciudad Jersey, Nueva Jersey, EE. UU.

Thomas. 2020a. How Surgical Masks are Made. Publicación de Thomas Publishing Company. 5 Pennsylvania Plaza #17, Nueva York, EE.UU.

Thomas. 2020b. How to Make Face Shields for Coronavirus/COVID-19. Publicación de Thomas Publishing Company. 5 Pennsylvania Plaza #17, Nueva York, EE.UU.

Thomas. 2020c. How to Make Mecal Gloves for Coronavirus/COVID-19. Publicación de Thomas Publishing Company. 5 Pennsylvania Plaza #17, Nueva York, EE.UU.

Thomasy, H. 2020. COVID-19 has designers reimagining Personal Protective Equipment. Publicado por Smithsonian Magazine. 600 Maryland Avenue, Washington, EE.UU.

Tsagarakis, N., G., Laffranchi, M., Vanderborght, B., Caldwell, D., G. 2009. A compact soft actuator unit for small scale human friendly robots. En: IEEE International Conference on Robotics and Automation Conference (ICRA). Centro Internacional de Conferencias de Kobe, Kobe, Japón.

Tsai, P., P. 2020. Information and FAQs on the Performance, Protection, and Sterilization of Face Mask Materials. University of Tennessee Research Foundation. Knoxville, Tennessee, EE.UU.

UCAR. 2020. Covid-19 Impact on Asian Emissions: Insight from space observations. Publicación de University Corporation for Atmospheric Research. Boulder, Colorado, EE.UU.

UN. 2009. UN Recommendations on the Transport of Dangerous Goods. 16° ed. Publicación de United Nations, Palacio de las Naciones, Ginebra, Suiza.

UN. 2010. Guidelines for Safe Disposal of Unwanted Pharmaceuticals in and After Emergencies. Publicación de United Nations. Avenida Appia, Ginebra, Suiza.

UNEP. 2018. Single-Use Plastic: a Roadmap for Sustainability. Publicación de United Nations Environment Programme. Avenida Naciones Unidas, Nairobi, Kenya.

UNEP. 2020a. Waste Management during COVID-19 Pandemic: From Response to Recovery. Publicación de United Nations Environment Programme. Avenida Naciones Unidas, Nairobi, Kenya.

UNEP. 2020b. Compendium of Technologies for Treatment/Destruction of Healthcare Waste. Publicación de United Nations Environment Programme. Avenida Naciones Unidas, Nairobi, Kenya.

Urban, R., C., Nakada, L., Y., K. 2021. COVID-19 pandemic: Solid waste and environmental impacts in Brazil. ***Science of the Total Environment***. 755: 1-6.

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D., H., Holbrook, M., G., Gamble, A., Williamson, B., N., Tamin, A., Harcourt, J., L., Thornburg, N., J., Gerber, S., I., Lloyd-Smith, J., O., de Wit, E., & Munster, V., J. 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. ***The New England journal of medicine***. 382(16): 1564–1567.

Vanapalli, K., R., Sharma, H., B., Ranjan, V., P., Samal, B., Bhattacharya, J., Dubey, B., K., Goel, S. 2021. Challenges and strategies for effective plastic waste management during and post COVID-19 pandemic. ***Science of the Total Environment***. 750(141514): 1-10.

Verbeek, J., H., Ijaz, S., Mischke, C., Ruotosalainen, J., H., Mäkelä, E., Neuvonen, K., Edmond, M., B., Sauni, R., Balci, F., S., K., Mihalache, R., C. 2016.

Personal protective equipment for preventing highly infectious diseases due to exposure to contaminated body fluids in healthcare staff. **Cochrane Database of Systematic Reviews**. CD011621(4): 1-75.

Versalovic, J., Carroll, K., C., Funke, G., Jorgensen, J., H., Landry, M., L., Warnock, D., W. 2011. Manual of Clinical Microbiology. 10° ed. Editado por ASM Press. Pág. 143-173. Washington, EE. UU.

Vidua, R., K., Chouksey, V., K., Bhargava, D., C., Kumar, J. 2020. Problems arising from PPE when worn for long periods. **Medico-Legal Journal**. 88 (15): 47–49.

Vivek, J., M., Singh, R., Sutar, R., S., Asolekar, S., R. 2019. Characterization and Disposal of Ashes from Biomedical Waste Incinerator. **Advances in Waste Management**. 421-435.

WA. 2020. The Impact of COVID-19 on the Waste and Recycling Industry. Publicación de WasteAdvantage Magazine Palm Beach Gardens, Florida, EE.UU.

Wang, J., Shen, J., Ye, D., Yan, X., Zhang, Y., Yang, W., Li, X., Wang, J., Zhang, L., Pan, L. 2020a. Disinfection technology of hospital wastes and wastewater: Suggestions for disinfection strategy during coronavirus Disease 2019 (COVID-19) pandemic in China. **Environmental Pollution**. 262: 1-2.

Wang, D., Hu, B., Hu, C., Zhu, F., Liu, X., Zhang, J., Wang, B., Xiang, H., Cheng, Z., Xiong, Y., Zhao, Y., Li, Y., Wang, X., Peng, Z. 2020b. Clinical characteristics of 138 hospitalized patients with 2019 novel coronavirus–infected pneumonia in Wuhan, China. **JAMA**. 323(11): 1061–1069.

WHO. 1999. Safe Management of Wastes from Health Care Activities. Publicación de World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2003. 3 Best practices for incineration. Publicación de World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2004. Review of health impacts from microbiological hazards in health-care wastes. Publicación de World Health Organization. Avenida Appia, Ginebra, Suiza.

WHO. 2007. WHO core principles for achieving safe and sustainable management of health-care waste. Publicación de World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2015. Safe management of wastes from health-care activities. Publicación de The World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2016. Dioxins and Their Effects on Human Health. Publicación de The World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2017a. Safe management of wastes from health-care activities: A summary. OMS. Publicación del World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2017b. Guidelines for Drinking-quality, Fourth Edition, Incorporating the First Geneva. Editado por World Health Organization. Ginebra Suiza.

WHO. 2018a. Preferred product characteristics for personal protective equipment for the health worker on the frontline responding to viral hemorrhagic fevers in tropical climates. Publicación de la Organización Mundial de la Salud. Avenida Appia, Ginebra, Suiza.

WHO. 2018b. Medical waste, Important facts. Publicación de la Organización Mundial de la Salud. Avenida Appia, Ginebra, Suiza.

WHO. 2020a. Water, Sanitation, Hygiene, and Waste Management for the COVID-19 Virus: Interim Guidance. Publicación de UNICEF. Ginebra, Suiza.

WHO. 2020b. Infection Prevention and Control for the Safe Management of a Dead Body in the Context of COVID-19: Interim Guidance. Publicación del World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2020c. Rational use of personal protective equipment for coronavirus disease (COVID-19) and considerations during severe shortages: Interim guidance. Publicación del World Health Organization. Ginebra, Suiza.

WHO. 2020d. Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precautions recommendation (COVID-19). Scientific brief. Publicación de la Organización Mundial de la Salud. Ginebra, Suiza.

WHO. 2020e. Shortage of Personal Protective Equipment Endangering Health Workers Worldwide. Publicación de The World Health Organization. Ginebra, Suiza.

Williams, D., L., Gerba, C., P., Maxwell, S., Sinclair, R., G. 2011. Assessment of the potential for cross-contamination of food products by reusable shopping bags. ***Food Protection Trends***. 31(8): 508–513.

Woods, A. 2020. Medical Waste and Gasification: The COVID-19 Waste Solution. Publicación de Waste to energy systems. Tickfaw, Los Ángeles, EE. UU.

Worldometer, 2021a. Covid-19 Coronavirus Pandemic. Publicación de Worldometers.info. Dover, Delaware, EE.UU.

Worldometer, 2021b. Regions in the world by population (2021). Publicación de Worldometers.info. Dover, Delaware, EE.UU.

Xi Jinping. 2020. Opening Ceremony of the 3rd International Import Expo. Publicación de People's Daily. China, Beijing, China.

Zand, A., D., Heir, A., V. 2020. Environmental impacts of new Coronavirus outbreak in Iran with an emphasis on waste management sector. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 23: 240-247.

Zeng, Y., Huang, Z., Yu, B. 2014. Analysis on the component characteristics and calorific value of medical waste. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*. 6(5): 1558-1562.

Zettler, E., R., Mincer, T., J., Amaral-Zettler, L., A. 2013. Life in the "Plastisphere": Microbial Communities on Plastic Marine Debris. *Environmental Science & Technology*. 47(13): 7137-7146.

Zheng, S., Fan, J., Yu, F., Feng, B., Lou, B., Zou, Q., Xie, G., Lin, S., Wang, R., Yang, X., Chen, W., Wang, Q., Zhang, D., Liu, Y., Gong, R., Ma, Z., Lu, S., Xiao, Y., Gu, Y., Zhang, J., Yao, H., Xu, K., Lu, X., Wei, G., Zhou, J., Fang, Q., Cai, H., Qiu, Y., Sheng, J., Chen, Y., Liang, T. 2020. Viral load dynamics and disease severity in patients infected with SARS-CoV-2 in Zhejiang province, China, January-March 2020: retrospective cohort study. *BMJ*. 369: 1-7.

Zhovtyansky, V., Valincius, V. 2018. Efficiency of plasma gasification technologies for hazardous waste treatment, Gasification for Low-grade Feedstock. Editado por Yongseung Yun. Seúl, Gyeonggi-do, Korea del Sur.

Zubair, M., Adrees, A. 2019. Dioxins and Furans: Emerging Contaminants of Air. In: Olvera, J.D.R. Editado por Air Pollution - Monitoring, Quantification and

Removal of Gases and Particles, Intech Open. Pág. 111–125. Londres, Reino Unido.