



**UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA
METROPOLITANA**
Unidad Xochimilco

DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
MAESTRÍA EN CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

ÁREA DE CONCENTRACIÓN:
SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

TRANSFORMACIÓN DE VIDRIO RESIDUAL DE ARPOVECHAMIENTO LIMITADO (VRAL)

UN TRATAMIENTO DE RECICLADO Y FABRICACIÓN DE CUERPOS RÍGIDOS

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA PRESENTA:

CARLOS GONZÁLEZ DE LOS SANTOS

TUTOR:

MTRO. MIGUEL ÁNGEL VÁZQUEZ SIERRA

CIUDAD DE MÉXICO, 8 DE DICIEMBRE DEL 2021



DIVISIÓN DE CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

MAESTRÍA EN CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO

ÁREA DE CONCENTRACIÓN: SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL

TRANSFORMACIÓN DE VIDRIO RESIDUAL DE APROVECHAMIENTO LIMITADO (VRAL).

UN TRATAMIENTO DE RECICLADO Y FABRICACIÓN DE CUERPOS RÍGIDOS.

IDÓNEA COMUNICACIÓN DE RESULTADOS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRÍA

PRESENTA: CARLOS GONZÁLEZ DE LOS SANTOS

TUTOR: MTRO. MIGUEL ÁNGEL VÁZQUEZ SIERRA

LECTOR: DR. PABLO ALBERTO TORRES LIMA

COORDINADOR DE ÁREA: DR. ALBERTO CEDEÑO VALDIVIEZO

CIUDAD DE MÉXICO, 8 DE DICIEMBRE DEL 2021

Notas de Autor

El presente documento es resultado de la investigación del Licenciado en Diseño Industrial: Carlos González de los Santos Diseñador egresado de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco, Coyoacán, Ciudad de México, para obtener el grado de Maestría.

Por medio de la presente expreso mi total gratitud al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACyT) que ha contribuido a la financiación de mi investigación mediante su Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC). De igual manera agradezco a la Universidad Autónoma Metropolitana unidad Xochimilco por permitirme continuar con mi desarrollo y crecimiento académico, que ha coadyubado en la expansión de mi conocimiento dentro y fuera de la institución; desarrollo que ha sido posible también gracias a los docentes de la universidad del área de Ciencias y Artes para el Diseño (CyAD), quienes mediante su conocimiento y guía, han atendido, tratado y manifestado su opinión para el mejoramiento de mi investigación, principalmente al Dr. Alberto Cedeño Valdiviezo, Dr. Pablo Torres Lima, Mtro. Miguel Ángel Vázquez Sierra, Mtro. Christian Byron Hernández Gutiérrez; y de la misma unidad, gracias en gran medida también al área de Coordinación de Planeación, Vinculación y Desarrollo Académico (COPLADA), en especial a Lic. Sergio Giovanni Padilla Meneses responsable del Depto. de Gestión de Tecnología y Emprendimiento.

Extiendo este agradecimiento y amor a mi padre Juan González Ramos, a mi madre Alfonsa de los Santos Hernández y mis hermanos; a mis compañeros de emprendimiento académico: Alfonso del Castillo, Maruca A., Diana Correa Segura y Alberto Sánchez Velázquez; a mi compañera de experiencias profesionales, Laura Miroslava Aguilar Vargas; así mismo a Alexandra Berrelleza Rendón, quien, durante el proceso, me inspiro y apoyo de forma incondicional. A todos ellos gracias.



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
UNIDAD XOCHIMILCO División de Ciencias y Artes para el Diseño

Ciudad de México 24 de noviembre de 2021

DRA. JUANA MARTÍNEZ RESÉNDIZ
COORDINADORA DEL PROGRAMA DE MAESTRIA
EN CIENCIAS Y ARTES PARA EL DISEÑO
Presente.

Me permito comunicar a usted que a solicitud del alumno (a): **Carlos González De los Santos**, del Programa de Maestría en Ciencias y Artes para el Diseño, he revisado y confirmo que la Idónea Comunicación de Resultados (ICR)/Tesis: *“Transformación de vidrio residual de aprovechamiento limitado (VRAL). Un tratamiento de reciclado y fabricación de cuerpos rígidos.”* es la versión final, contiene el resumen, las palabras clave y cumple con los requisitos para formar parte del repositorio institucional de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco.

Atentamente



Miguel Ángel Vázquez Sierra
Nombre y firma del Director (a) de ICR/Tesis.

Contenido

Resumen	7
Capítulo Uno: Introducción	8
Contexto de los RSU en México	8
Accionar de Procesadores, Emisores y Receptores del RSU Vidrio	12
Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)	14
Justificación de Investigación	17
Objetivos, Preguntas e Hipótesis de la Investigación	18
Capítulo Dos: Marco Teórico-Conceptual	19
Ciencia Moderna	20
Sistemas y Pensamiento Sistémico	22
Sistemas Abiertos y la Ciencia de la Ecología	24
Filosofías Ecológicas	26
Revolución Industrial hacia la sostenibilidad	30
Percepción de Desarrollo Sostenible	32
Economía Circular	36
Diseño Ecológico: Ecodiseño y Residuos	39
Capítulo Tres: Marco Referencial	42
Producción de vidrio	43
Reciclaje de la Industria del Vidrio	44
Derivados del Vidrio Residual	46
Material compuesto: Sólidos Amorfos	47
Vidrio Sintético	48
Polímeros	50
Estado del Arte	51
Compuestos Sintéticos de Vidrio Residual y Polímeros	52
Capítulo Cuatro: Marco Metodológico	54
Diseño Metodológico	54
Instrumentos de Investigación y Experimentación	56
Experimento I	57
Experimento II	62
Experimento III	68
Resultados	71
Conclusiones y Comentarios Finales	75
Referencias Bibliográficas	79
Anexos	86

Tabla de Esquemas

Tabla 1 Distinción de los discursos ambientales	28
Tabla 2 Metabolismo circular de los residuos.....	41
Tabla 3 Primer método de transformación de los materiales	578
Tabla 4 Sumatoria de densidades del vidrio y resina poliéster	589
Tabla 5 Obtención de volumen cilíndrico mediante el uso del software Rhinoceros 6	60
Tabla 6 Cálculo de masa	59
Tabla 7 Porcentaje de masa inicial: 72% material cerámico y 28% material polimérico.....	59
Tabla 8 Segundo método de transformación de los materiales	62
Tabla 9 Combinación de materiales para la creación de 18 formulaciones.....	63
Tabla 10 Registro de material compuesto cerámico - polimérico (C) en relación a 18 muestras....	63
Tabla 11 Tabla de evaluación de registro de material compuesto cerámico - polimérico (C)	64
Tabla 12 Registro de valoración de 18 fórmulas	65
Tabla 13 Registro de las 20 muestras derivadas de la fórmula 1 (1-2).....	67
Tabla 14 Registro de las 20 muestras derivadas de la fórmula 4 (4-1).....	67
Tabla 15 Ruta de reprocesamiento.....	69

Tabla de Figuras

Ilustración 1 Residuo de vidrio de botella con potencial de reciclaje	15
Ilustración 2 Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado	16
Ilustración 3 Visualización 3D del marco teórico-conceptual	19
Ilustración 4 Primera tanda Secuencia IV y V del primer método.....	60
Ilustración 5 Segunda tanda Secuencia IV y V del primer método	61
Ilustración 6 Burbujas	68
Ilustración 7 Secuencia de transformación del material cerámico-polimérico	71
Ilustración 8 Productos finales del reprocesamiento de los materiales compuestos.....	72
Ilustración 9 Registro de luminosidad	73
Ilustración 10 Transformación del VR o VRAL a un del material compuesto	78

Resumen

La presente investigación parte del eje de la problematización que hay entorno a los residuos urbanos, está especialmente dirigida a la situación de basura del material vidrio. A través de ese contexto, se propone y expone una alternativa técnica-productiva para el reciclado de la materia y deriva en el desarrollo de un material compuesto.

La construcción teórica-conceptual se posiciona en la Teoría General de Sistemas que mira el quehacer científico a través del pensamiento sistémico aplicado. Esta disciplina permite mirar la ciencia de la ecología y el desarrollo sostenible como un sistema con problemas de organización. Las dimensiones de dicha sostenibilidad a menudo están precedidas por diferentes discursos ambientales, por lo que se toma una postura reformista asociada al marco de la economía circular, la cual aborda el diseño ecológico en su corriente del ecodiseño y su vínculo con el tratamiento de residuos.

El marco referencial engloba algunos organismos de la industria del vidrio y su compromiso por reciclar, transformar y gestionar este material. En este apartado son localizadas las limitaciones para el aprovechamiento del residuo, ventajas y compatibilidades con otros materiales. Esto permite hallar referentes de materiales compuestos, que basan su concepción, utilizando a su favor, las características fisicoquímicas del vidrio residual.

Los tres primeros capítulos articulan el desarrollo metodológico para la realización de una investigación experimental, con enfoque cualitativo-extensivo, que plantea principalmente la transformación del vidrio a un material granular. En el proceso se estudia el comportamiento de vidrio ante dos tipos de polímeros termoestables y la obtención de un material compuesto cerámico-polimérico. Por último, los resultados señalan la elaboración de una propuesta para el reciclado de vidrio y fabricación de un material compuesto dirigida a procesadores, emisores y receptores de vidrio. Las aplicaciones del material vidrio son sugeridas como alternativas a laminados u objetos utilitarios para una economía circular.

Palabras clave: *Vidrio, Residuo, Reciclaje, Diseño Industrial, Economía Circular.*

Capítulo Uno: Introducción

La perspectiva medioambiental asociada a los Residuos Sólidos Urbanos (RSU¹) deriva en una problemática a nivel mundial producto de la actividad humana, puesto que muchos de esos residuos² crecen exponencialmente y la naturaleza no los asimila con facilidad (Escobedo y Andrade, 2017, p. 216). Para mitigar esta situación problemática son promovidas acciones de reciclado³ sobre los residuos, cuyo enfoque a menudo los recupera, transforma y renueva⁴, para introducirlos nuevamente en circulación a cadenas productivas. El desarrollo de esas acciones produce actividades económicas entorno al reciclaje de residuos.

En este sentido, el vidrio es un RSU sólido reciclable, pero, paralelamente no todo el residuo de vidrio se recicla y gran cantidad de este material no se aprovecha y se pierde como basura. Quienes originan, tratan e interactúan con este bien de consumo, desarrollan actividades de reciclaje ambivalentes que suelen decantarse por un tipo de material de vidrio.

Contexto de los RSU en México

La producción de estos residuos son resultado de la actividad humana, los cuales se desechan en estado sólido, gaseoso y líquido sobre diferentes medios receptores (Miranda et al., 2008, p. 14). Y, los residuos producidos en zonas urbanizadas son llamados RSU, reconocibles con la etiqueta de desechos orgánicos⁵ e inorgánicos⁶.

¹ XXXIII. Residuos Sólidos Urbanos: Los generados en las casas habitación, que resultan de la eliminación de los materiales que utilizan en sus actividades domésticas, de los productos que consumen y de sus envases, embalajes o empaques; los residuos que provienen de cualquier otra actividad dentro de establecimientos o en la vía pública que genere residuos con características domiciliarias, y los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos, siempre que no sean considerados por esta Ley como residuos de otra índole (LGPIP, 2017, p.6).

² XXIX. Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven (LGPIP, 2017, p.6)

³ XXVI. Reciclado: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos (LGPIP, 2017, p.6).

⁴ Restablecer o reanudar una relación u otra cosa que se había interrumpido (RAE, 2021).

⁵ Adj. Quím. Dicho de una sustancia: Que tiene como componente el carbono y que forma parte de los seres vivos (RAE, 2021).

⁶ Adj. Quím. Dicho de una sustancia: Que no tiene como componente el carbono (RAE, 2021).

Brosse (2021), en su trabajo *La basura no existe. Hacia el suprarreciclaje y la economía circular*, menciona que los materiales residuales cuando no se tratan son considerados basura, pero cuando se tratan entran en sistemas de reciclaje o suprarreciclaje (p. 33). Sin embargo, la generación diaria de RSU crece respecto a las acciones que existen para su reciclado, por tanto, muchos desechos no se tratan, ni recuperan y con frecuencia son trasladados a algún vertedero en donde son expuestos al aire libre por tiempo indefinido.

De acuerdo a cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2014), en México, reportó que el promedio diario de recolección⁷ de RSU es de 102,887, 315 toneladas. Según la Secretaría del Medio Ambiente (SEDEMA, 2019) por medio del *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México*, el promedio de residuos sólidos de la Ciudad de México (CDMX) entre los años 2006 a 2018 ha sido de 12, 812 ± 237 toneladas al día con un crecimiento anual exponencial de 60.13 toneladas/día y para el año 2019 dicha cifra se incrementó a 76 toneladas diarias (p.10). Esta tendencia incremental es una constante que persiste y da pie al análisis y discusión de los factores que la originan, no obstante, actualmente se buscan soluciones que ayuden al decrecimiento de los residuos a partir de políticas públicas gubernamentales para la gestión integral de residuos (SEDEMA, 2019, p. 10; INEGI, 2014).

La Ley⁸ General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR, 2018) establece que, para su correcta gestión, la materia deberá ser clasificada en dos divisiones: una separación primaria⁹ y una separación secundaria¹⁰, de acuerdo al decreto publicado en 2003 en el diario Oficial de la Federación (Secretaría de Gobernación [SEGOB], 2021). Por otra parte, SEDEMA (2015), en la CDMX, expone en la *Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013* un tercer tipo de segregación residual llamada separación primaria

⁷ La acción de recibir los residuos sólidos de sus generadores y trasladarlos a las instalaciones para su transferencia, tratamiento o disposición final (SEDEMA, 2015, p. 5).

⁸ "DECRETO por el que se reforman y adicionan diversas disposiciones a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, en materia de co-procesamiento de residuos" (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión [CDHCU], 2021)

⁹ XXXVIII. Separación Primaria: Acción de segregar los residuos sólidos urbanos y de manejo especial en orgánicos e inorgánicos, en los términos de LGPGIR (LGPGIR, 2017, p.7).

¹⁰XXXIX. Separación Secundaria: Acción de segregar entre sí los residuos sólidos urbanos y de manejo especial que sean inorgánicos y susceptibles de ser valorizados en los términos de LGPGIR (LGPGIR, 2017, p.7).

avanzada¹¹ (p.6). Para el correcto manejo integral de los RSU, de acuerdo a ciertas propiedades, existe una iconografía específica para el remanente¹² residual orgánico, inorgánico, papel, plástico, metal, vidrio, madera y tela (SEMARNAT, 2017). Estas separaciones están dirigidas a la población, pero también pretenden ser las articulaciones para el manejo y decrecimiento de todos aquellos remanentes residuales, los cuales mediante procesos de reciclado aún pueden conservar o aumentar su valor intrínseco (SEMARNAT, 2017; SEDEMA, 2017, p. 6; SEGOB, 2021; LGPGIR, 2018).

El manejo integral de los RSU comienza por sus emisores, quienes son el principal eslabón para iniciar el proceso de separación de sus desechos. Sobre ellos el INEGI (2017), mediante su *Módulo de Hogares y Medio Ambiente*, describe que de estos usuarios el 43.6% de la población separa su basura, mientras que el 54.4% no la separa. Entre los motivos de dicha población para no separar la basura se encuentran: “La revuelven cuando la recogen” (57.7%), “No les interesa o supone mucho esfuerzo” (15.9%), “No tiene espacio para almacenarla” (7.7%), “No hay centros de acopio cercanos” (7.1%), “No sabe qué residuos separar” (6.3%), “No sabe qué utilidad tiene separarla” (3.2%) y “No sabe dónde depositarla” (2.2%). Adicional a esta problemática encontramos que, en los hogares son reutilizados algunos productos¹³ como: bolsas de plástico (67.7%), envases de vidrio o plástico (35.0%), hojas de papel (29.6%), cajas de cartón o madera (24.5%), botes de lata (10.0%) y otros (0.3%). En este sentido el manejo integral de los residuos, en el caso de las separaciones, tiene como contraste la resistencia, adopción, participación e interés de los emisores.

Cabe destacar, a grandes rasgos, que muchos residuos se crean por la extracción, producción, demanda, consumo desecho de bienes o servicios producto de una economía lineal (Brosse,2021, p. 37). Una economía que no favorece una separación primaria, separación primaria avanzada y separación secundaria, es

¹¹ Separación primaria avanzada: Clasificación de los valorizables, desde la fuente generadora, de la fracción inorgánica de los residuos sólidos urbanos o de manejo especial, para su aprovechamiento (SEDEMA, 2015, p.6).

¹² Parte que queda de algo (RAE, 2021).

¹³ XXIV. Producto: Bien que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios. Para los fines de los planes de manejo, un producto envasado comprende sus ingredientes o componentes y su envase (LGPIP,2017, p.5).

decir, diluye una recolección selectiva¹⁴ de RSU con posibilidad de reciclaje. El reciclaje de residuos afronta a la economía lineal con buscar el valor intrínseco de los residuos otorgando un valor económico a ellos, y con esto emergen beneficios sociales, económicos y medioambientales.

Según el INEGI (2012), en el análisis de *Centros de acopio y cantidad de materiales valorizables recolectados según el tipo de material por entidad federativa*, señala una preferencia por los residuos sólidos en el país. Entre los materiales que destacan se encuentran: papel y cartón 143,187 Kg/día (32%), PET 70,798 Kg/día (15.8%), vidrio 62,051 Kg/día (13.8%), plástico 41,115 (9.2%), electrónicos y electrodomésticos 22,842 Kg/día (5.1%), fierro y lamina 21,868 Kg/día (4.9%), aluminio 6,129 Kg/día (1.4%), cobre y bronce 5,709 (1.3%), otros 74,364 Kg/día (16.6%).

Para su pronta integración a las cadenas económicas, se someten a procesamiento estos materiales sólidos residuales, convirtiéndolos en sólidos valorizables, que resultan más accesibles de identificar y recuperar para los medios que lo separan. La materia sólida, desde una perspectiva química, no es disolvente o volátil cuando entra al contacto con el medio receptor en un periodo de tiempo largo; a diferencia de la materia gaseosa o líquida, que dado su estado específico pueden convertirse en residuos incompatibles¹⁵. En otros casos, esto sólidos residuales pueden estar adheridos con otros materiales, lo que representa en ocasiones problemático para ser separado y reciclado eficientemente, aumentando así su propensión a ser basura.

Para SEMARNAT (2019), la idea de “cero residuos” en el país forma parte de la visión del gobierno federal, da paso al *aprovechamiento de los residuos*¹⁶ para mitigar el riesgo¹⁷ que afecta el medio ambiente (p.10). Es además una idea

¹⁴ La acción de recolectar los residuos sólidos conforme a lo establecido en la Norma Ambiental (SEDEMA, 2015, p. 5)

¹⁵ XXXI. Residuos Incompatibles: Aquellos que al entrar en contacto o al ser mezclados con agua u otros materiales o residuos, reaccionan produciendo calor, presión, fuego, partículas, gases o vapores dañinos (LGPIP, 2017, p.6).

¹⁶ II. Aprovechamiento de los Residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía (LGPIP, 2017, p.4).

¹⁷ XXXVI. Riesgo: Probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares (LGPIP, 2017, p.6).

apegada al beneficio social, económico, político y ecológico, que involucra, en sus propias intenciones a: “aparatos legislativos, costumbre socioculturales y cambios en el comportamiento de los consumidores y de los productores: está estrechamente relacionada con ver un mundo donde no exista basura” (Brosse, 2021, p. 21). Este aprovechamiento se expresa en sistemas de reciclado cuya transformación¹⁸ y valorización¹⁹ se integran a procesos productivos de la sociedad, es una iniciativa gubernamental sustentada por políticas ambientales y de salud pública derivadas de la *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*²⁰, y precede los principios de desarrollo sustentable apegado a *los objetivos de desarrollo sostenible* de la *Agenda 2030*²¹ recomendada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) bajo un modelo de *Economía Circular*²² (Brosse, 2021, p. 21; SEMARNAT, 2019, p.10).

Accionar de Procesadores, Emisores y Receptores del RSU Vidrio

El vidrio es un material valorizable económicamente por ser un bien altamente reciclable, por tanto, su separación entre otros residuos se expresa en el ciclo de reciclaje de vidrio, dicho ciclo involucra a actores sociales e instituciones públicas y privadas que interactúan, comercian, separan y transforman la materia. Encontrándose así momentos fundamentales de este ciclo como: fabricación y canales de distribución (procesadores); adquisición y desecho realizado por los consumidores (emisores); recolección, separación, tratamiento y preparación para nuevamente fabricar vidrio (receptores). Este proceso de reciclaje hace al material entrar en un bucle de *suprarreciclaje*, en donde, la transferencia de la materia constantemente rota en la cadena productiva de los procesadores, emisores y

¹⁸ Cambiar de forma a alguien o algo (RAE, 2021).

¹⁹ XLIV. Valorización: Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica (LGPIP, 2017, p.7).

²⁰ Véase en el Artículo 4 párrafo 4 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

²¹ Véase en <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/2015/09/la-asamblea-general-adopta-la-agenda-2030-para-el-desarrollo-sostenible/>

²² Véase Marco teórico-conceptual apartado *Economía circular*.

receptores. Sin embargo, solamente un porcentaje limitado entra a ese proceso de transformación.

En México se producen alrededor de 2.5 millones de toneladas en envases de vidrio, pero, únicamente se recicla el 12%, significando además para algunos involucrados tiene poca rentabilidad reciclar este tipo de residuo sólido (SEMARNAT como se citó en Agencia EFE, 2019). La fabricación y venta de productos²³ hechos de vidrio es altamente considerable para la industria automotriz, cosmética, constructiva, farmacéutica, refresquera, entre otras (Vitro, Juntos, vemos más allá, 2019 p. 12). En estas industrias cuya actividad económica está relacionada con la producción de vidrio, a menudo, suelen responsabilizarse por el manejo integral²⁴ del vidrio, acción que les resulta útil en un sentido económico; sin embargo, en otros casos, no lo es debido a su baja rentabilidad (SEMARNAT como se citó en Agencia EFE, 2019; Vitro, Juntos, vemos más allá, 2019 p. 12).

En el sistema de reciclado de vidrio bajo el paradigma económico lineal, donde: los emisores producen residuos de diferentes tipos de vidrio; los receptores, transfieren residuo de vidrio selectivamente, es decir vidrio que no sea basura con capacidades de reutilización²⁵ y atributos fisicoquímicos de origen determinados; los procesadores si reciclan residuos de vidrio, pero también usan minerales vírgenes, para poder continuar con su producción de vidrio. Gestión que funde y renueva el vidrio de un solo tipo, ya que permite un patrón de fabricación (*suprarreciclado* de vidrio); caso contrario, si hubiera una sustancia externa durante la fundición, probablemente, donde éste, sería un agente contaminante en la mezcla base.

El ciclo de reciclaje del vidrio hace evidente un mensaje claro, que, con frecuencia se enfoca en la recolección y separación de vidrio como el de botella. Este vidrio procedente de botellas, son los objetos con mayor distribución en el

²³ XXIV. Producto: Bien que generan los procesos productivos a partir de la utilización de materiales primarios o secundarios. Para los fines de los planes de manejo, un producto envasado comprende sus ingredientes o componentes y su envase (LGPIP,2017, p.5).

²⁴ XVII. Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social (LGPIP,2017, p.5).

²⁵ XXXV. Reutilización: El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación (LGPIP,2017, p.6).

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

mercado, ventaja que les da mayor alcance para que sean recuperados y tratados por los receptores, no obstante, en el proceso se desarrolla una percepción de reciclar el objeto de botella. De esta manera, el reciclado de vidrio se limita a un solo tipo de vidrio, incluso a vidrio del mismo tipo pero que se expresa en otro objeto. Idea que trasciende en el pensamiento sociocultural para el reciclado de las diferentes clases de vidrio. Es durante esta transición, donde las etapas de recolección y separación del residuo constantemente buscan el vidrio reciclable, pero en el proceso emerge basura de Vidrio Residual (VR); que de no tratarse queda en disposición final orientada a vertederos de basura.

Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

De acuerdo a Kirk et al. (1980), en la Kirk-Othmer *encyclopedia of chemical Technology*, nos plantean que el vidrio tiene una estructura molecular de Sílice (SiO_2) y para fabricar sintéticamente vidrio de diversos tipos requiere de otros elementos llamados *modificadores* (pp. 807-814). Adicional a esto: Contreras et al. (2018), en *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos*, nos mencionan que “la unidad estructural repetitiva con que se forman los silicatos es de orden tetraédrica, por ejemplo, SiO_4 ” (p. 155). Por tanto, el vidrio pertenece a la familia de los silicatos y es un compuesto molecular inorgánico no metálico, que está formado principalmente de SiO_2 que se mezcla y fórmula con diferentes minerales; de las combinaciones resultantes, al fundirse y enfriarse, se forman vidrios de diferentes tipos que adquieren una condición rígida sin cristalizar (*sólido amorfo*²⁶) con propiedades y funcionalidades distintas (Contreras et al., 2018, p. 155; Kirk et al., 1978, p.p. 807-814).

Según la SEDEMA (2015), en la Ilustración 1, el vidrio puede ser un *residuo inorgánico con potencial de reciclaje*²⁷, así mismo concede al emisor urbano de entregar este remanente de vidrio sin sustancias o elementos que no pertenezcan

²⁶ Véase Marco referencial apartado *Materiales compuestos: cerámicos y poliméricos*.

²⁷ Todo residuo que no tenga características de residuo orgánico y que pueda ser susceptible a un proceso de valorización para su reutilización y reciclaje, tales como vidrio, papel, cartón, plásticos, laminados de materiales reciclables, aluminio y metales no peligrosos y demás no considerados como de manejo especial (SEDEMA, 2015, p. 6).

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

a la materia original; esta separación de vidrio excluye a materiales vitreos que contengan cristal de plomo, incluso si pertenecen a la misma clase de vidrio (p.p. 8-18). Por otra parte, cabe destacar que existen vidrios con problemas de reciclaje que se localizan en objetos como: tazas y platos de cerámica, vajillas de vidrio templado, vidrio de laboratorio, vidrio de espejo, focos, tubos de neón o luminarias. Estos últimos se convierten en *residuos inorgánicos de aprovechamiento limitado*²⁸, que adecuado a esta investigación, nos referiremos a estos derivados de residuos como: *Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)*²⁹ cuya separación sesga su reciclado y valorización bajo tratamientos técnicos y procesos económicos circundantes del medio receptor.

Ilustración 1

Residuo de vidrio de botella con potencial de reciclaje, 2020.



Nota. Esta ilustración es de uso referencial y permite asociar el VR procedente de botellas.

En el caso del VR, como residuo en estado sólido amorfo, cabe la posibilidad de estar en una situación incierta, desfragmentado, sin “utilidad” en una confusa separación y recolección solo por tener condiciones físicas diferentes, que, de no tratarse adecuadamente, quedan en disposición final orientados a rellenos sanitarios. Este residuo es el VRAL, el cual se localiza en áreas diversas de las zonas urbanizadas como calles, establecimientos, hogares, áreas verdes, rellenos sanitarios o en algún otro medio receptor. Su generación emerge entre el emisor y

²⁸ Aquellos que por sus características y los usos que se les han dado, pierden o dificultan las posibilidades técnicas y económicas de ser reincorporados a un proceso o tratamiento para permitir su valorización (SEDEMA, 2015, p. 5)

²⁹ Nombre que se adopta por las especificaciones dadas en la Norma Ambiental para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

los momentos de recolección y separación, cuyos derivados tiene problemas de reciclaje. La ilustración 2 nos ejemplifica al VRAL en el medio receptor.

Ilustración 2

Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado, 2020.



Nota. La ilustración es la unión de varias fotografías y forman parte un registro fotográfico de autor. Las imágenes son tomadas en diferentes lugares de la CDMX y el Estado de México (Edo. Mex.) entre los años 2017 y 2021.

El contexto acerca de los RSU es útil para el establecimiento del planteamiento del problema, que como base recae en el vidrio proveniente de basura. El uso de la palabra *vidrio* se emplea de forma indistinta, sin embargo, la presente investigación hace énfasis al objeto de estudio denominado como: VR o VRAL, que refiere al conjunto de varios tipos de residuo de vidrio. Por tanto, la investigación busca explorar el VR o VRAL, mediante procesos no convencionales y mecánicos para transformar el estado físico de la materia, donde el *suprarreciclado e infrarreciclado*³⁰ sirven de guía para ofrecer una alternativa de fabricación de superficies rígidas.

Esta alternativa tiene como objetivo el aprovechamiento del remanente residual como material granular para la formación de un material compuesto, que mediante el diseño, pueda moldearse bajo formulación. Esta composición mayormente de insumo de VR y/o VRAL con agregados de otro material covalente, busca emplear más residuo que materia virgen, para lograr la constitución de un sólido de propiedades rígidas que pueda emplearse en objetos varios, por ejemplo:

³⁰ Véase Marco referencial en el apartado *Economía circular*.

laminados de uso decorativo. La generación de objetos pretende atraer el interés de los actores sociales, que impulsen la valorización del residuo. Así mismo, el *infrarreciclado* busca tratar el material compuesto para procesarlo y convertirlo a un material granular de “segunda” que sea capaz de utilizarse como insumo en actividades económicas.

Justificación de Investigación

Como resultado del desarrollo de la economía lineal en el ámbito nacional y global, los RSU, contribuyen al desarrollo de vertederos de basura y forman parte de éstos. Y como medida para decrecer este incremento de acumulaciones, en México, es importante sumar acciones que coadyuven al fortalecimiento de los mecanismos cooperativos de acción en materia: económica, social, medioambiental y cultural, para el aprovechamiento de los residuos donde las actividades reduzcan la contaminación generada por residuo y al mismo tiempo beneficien el procesamiento de estos materiales. La prospección de éste escenario para el reciclado de los RSU cada vez es más real, ya que toma relevancia en la visión de cero residuos nacional de la mano del marco de la economía circular; entendida en este marco como “uno de los sistemas económicos alternativos que se propone alcanzar sistemas sostenibles, justos y adaptados a los contextos actuales” (Brosse, 2021, p. 38).

El vidrio, como basura, es un bien en abundancia que se produce a diario y cuyo reciclado convencional es muy limitado. Existen muestras estadísticas con cifras representativas del vidrio, pero realmente son solo un acercamiento de la verdadera magnitud del vidrio desechado como basura. El vidrio caracterizado como VR o VRAL tiene escasas oportunidades para ser reciclado, por lo que amenudo no se trata ni se recupera ya que de llevarse a cabo, su tratamiento puede ser complicado e insostenible, lo que limita su integración a las cadenas productivas y económicas que lo originan.

La importancia de otorgar un medio de tratamiento para extender el panorama de reciclado de VR / VRAL requiere de la exploración de procesos que garanticen su aprovechamiento; evitando la pérdida de esta materia en vertederos.

En este sentido, esta recuperación de vidrio permitiría a disciplinas del diseño restaurar la materia y emplear nuevas técnicas productivas para diversificación de la utilidad de la materia, donde el proceso contemple establecer las limitaciones, la transformación y el método para el correcto procesamiento del vidrio con limitaciones en el reciclaje.

Objetivos, Preguntas e Hipótesis de la Investigación

Los objetivos y preguntas particulares, que se establecen en la investigación, son:

- A. Identificar las principales limitaciones operativas para el tratamiento de reciclado del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado.
 - ¿Qué limitaciones operativas tiene el tratamiento de reciclado del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado?
- B. Transformar el Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado a un material granular capaz de emplearse en la fabricación de un material compuesto sólido de aplicaciones diversas y de bajo costo.
 - ¿Cuál es la transformación del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado a un material granular capaz de emplearse en la fabricación de un material compuesto sólido de aplicaciones diversas y de bajo costo?
- C. Elaborar una propuesta de reciclado técnico-productiva del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado para la actividad sostenible de procesadores, emisores y receptores.
 - ¿Cuál es la propuesta de reciclado técnico-productiva del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado para el desarrollo de actividad económica, social, medioambiental de procesadores, emisores y receptores?

Como objetivo general se plantea: Proponer un tratamiento de reciclado técnico-productivo del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado, para la actividad sostenible de procesadores, emisores y receptores, cuya transformación de la materia forme un material granular que sirva de insumo en la fabricación de un material compuesto sólido de aplicaciones diversas y de bajo costo.

Que responde a la pregunta conductora: ¿Qué tratamiento de reciclado, técnico-productivo del Vidrio Residual o Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado para la actividad sostenible de procesadores, emisores y receptores, cuya transformación de la materia forme un material granular que sirva de insumo en la fabricación de un material compuesto sólido de aplicación diversas y de bajo costo, es viable llevarlo a cabo?

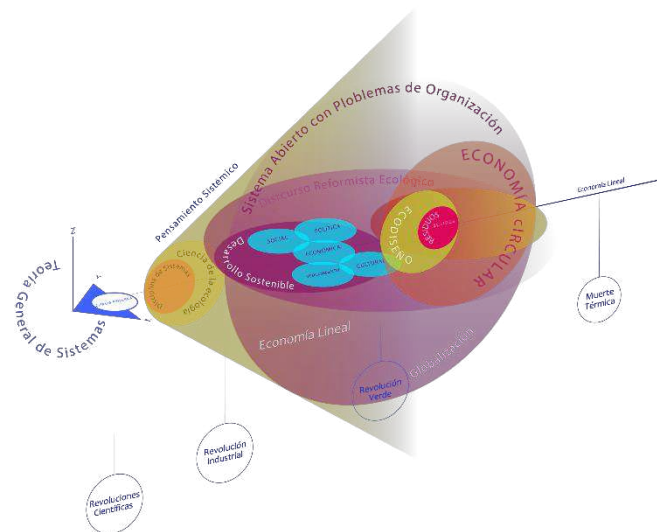
De modo que, se propone la siguiente hipótesis:

Un mayor refinamiento granular de vidrio provoca menor adhesión a cargas poliméricas en la formación de un material compuesto cerámico-polimérico.

Capítulo Dos: Marco Teórico-Conceptual

A través de la Teoría General de Sistemas vinculada a la ciencia moderna y al enfoque del pensamiento sistémico (Ilustración 3) se ahonda en la perspectiva sistémica, donde se muestra a la ciencia de la ecología junto al desarrollo sostenible ligado al marco de la economía circular, los cuales se muestran unidos al ecodiseño y la transformación de residuos.

Ilustración 3
Visualización 3D del marco teórico-conceptual, 2021.



Ciencia Moderna

La ciencia³¹ como eje para el desarrollo de la actividad humana converge en la ciencia moderna y la disciplina del pensamiento sistémico.

Para Checkland (1993), en *Pensamiento de Sistemas, práctica de sistemas*, la historia humana produjo la ciencia, la cual fructífero y se fortaleció mediante bases, creencias y enfoques epistemológicos³² que permitieron el surgimiento de diferentes campos y prácticas científicas (p.p. 45-67). Para Sánchez (2019), en el *Diccionario de la Ciencia*, la profesionalización de la ciencia condujo a la especialización del científico, lo que permitió emancipar lo filosófico de lo científico; ya que la distinción radicaba en la precisión y resolución de enigmas³³(p. 68). La ciencia, cada vez más especializada, prontamente estableció sus dimensiones en corrientes atomistas y reduccionistas, con un entendimiento mecanicista del mundo donde la realidad física, desde una perspectiva donde las leyes y postulados creados por los humanos daban razón lógica del funcionamiento del entorno; visiones que devinieron claramente en el entendimiento de la naturaleza (Sánchez, 2019; Checkland, 1993, p.p. 45-67)

Con el avance en la comprensión de la naturaleza y su realidad, se encausó una dialéctica científica que llevaría a una crisis, pero paralelamente permitiría la gestación de la ciencia moderna (Raffino, 2020). Bertalanffy (1976), en *la Teoría general de sistemas. Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones*, menciona que “la ciencia moderna se caracteriza por la especialización siempre creciente, impuesta por la inmensa cantidad de datos, la complejidad de las técnicas y la estructura teórica dentro de cada campo” (p. 30). Para Kuhn, en *La estructura de las revoluciones científicas*, este movimiento fijó su atención en el estudio de los

³¹ Conjunto de conocimientos obtenidos mediante la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurado y de los que se deducen principios y leyes generales con capacidad predictiva y comprobables experimentalmente (Real Academia Española [RAE], 2020).

³² f. Fil. Teoría de los fundamentos y métodos del conocimiento científico (RAE, 2021).

³³Realidad, suceso o comportamiento que no se alcanzan a comprender, o que difícilmente pueden entenderse o interpretarse (RAE, 2021).

enigmas como sucesos recurrentes con algún grado de reconocimiento, comprendidos también como paradigmas (Kuhn, 1962, p. 132). El enfoque de la ciencia moderna y de los paradigmas atrajo consigo una revolución científica³⁴, que detonó en la actualización de la ciencia respecto a su conocimiento, no solo de forma analítica, sino también de forma biológica, ya que contribuyó a la maduración de la ciencia en sus diferentes campos y concepciones teóricas (Kuhn, 1962, p. 132; Bertalanffy, 1976, p.30; Raffino, 2020).

Capra (1984), en el *Tao de la física. Una exploración de los paralelos entre la física moderna y misticismo Oriental*, explica que la creencia de los físicos por suponer que el universo era un sistema mecánico que funcionaba bajo los postulados Newtonianos del movimiento, cimentó el éxito del modelo mecanicista (p. 71). Es precisamente en esta etapa, durante la maduración de la ciencia moderna, donde el modelo mecanicista fue desvanecido cuando el físico pudo entender el surgimiento de las partículas elementales³⁵ y la realidad cuántica, lo que contribuyó a explicar la realidad del universo y cómo la materia era entendida de otra forma; alejada de su pensamiento mecanicista y de las pretensiones newtonianas. Este planteamiento sería fundamental para el desarrollo de una nueva física.

La producción científica de la ciencia moderna y el progreso de la física influyó en disciplinas relacionadas con las ciencias naturales y la materia en ellas (precedidos de cierto *boom* moderno³⁶, tecnológico³⁷, social, político y económico³⁸). Sin embargo, con la llegada de nuevas ideas y el estudio de otras, algunos paradigmas de la naturaleza fueron insuficientes para entenderlos y explicarlos mediante ciencias analíticas o ciencias biológicas en una época donde el análisis de la materia física y biológica era puesta bajo la lupa de postulados de

³⁴ Kuhn (1962), "revoluciones científicas aquellos episodios de desarrollo no acumulativo en los que un paradigma antiguo se ve sustituido en todo o en parte por otro nuevo incompatible con él" (p. 230).

³⁵ "El modelo estándar de la Física de partículas sugiere que solo existe doce partículas (aunque cada una posee su equivalente de antimateria), cuatro bosones de gauge portadores de la fuerza y el bosón de Higgs" (Southorn y Sparrow, 2020, p. 207).

³⁶ Adj. Perteneciente o relativo al tiempo de quien habla o una época reciente (RAE, 2021)

³⁷ Adj. Conjunto de teorías y de técnicas que permiten el aprovechamiento práctico del conocimiento científico (RAE, 2021).

³⁸ Ciencia que estudia los modos más eficientes para satisfacer las necesidades humanas materiales, mediante el empleo de bienes escasos (RAE, 2021).

cualquiera de esas ciencias, que, a pesar de ello, aportan claridad de la razón de ser a través de sus leyes y relaciones.

Sistemas y Pensamiento Sistémico

La *Teoría general de sistemas*, como una ciencia de la totalidad, apunta a la unificación de los campos de la ciencia, a partir de paralelismos e isomorfismos teóricos cognoscitivos de conceptos, modelos y leyes (Bertalanffy, 1976, p.p. 33 – 36). Estos paralelismos están ligados a la concepción de que todas las cosas del universo están relacionadas entre sí (Capra, 1984, p.329). De modo que, si todo está conectado en el universo, los campos de la ciencia son soportados por la estructura de un sistema que a su vez se articula por subsistemas, en ese sentido, la teoría abre una oportunidad al entendimiento de la materia entre la ciencia física y la ciencia naturales conectando sistemáticamente y desprendiendo relaciones entre el campo de las ciencias biológicas (Capra, 1984, p.329; Bertalanffy, 1976, p.p. 33-36).

La corriente teórica de sistema se percibe como una disciplina lógico-matemático de carácter metafísico y virtualmente, bajo su espectro, encaja con otras disciplinas. Esto permite al científico ver los paralelismos que la teoría menciona e interpretarlos de forma multidimensional, lo que desarrolla en la mente un pensamiento sistémico que relaciona las conexiones integradoras del universo y la materia, es decir observar un sistema como parte de la realidad (Bertalanffy, 1976, p. 37; Checkland, 1993, p. 19).

Capra (1998), en *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas*, alude al pensamiento sistémico como aquella disciplina que es contextual (que mira el *contexto*), por tanto, logra ser un pensamiento medioambiental (p. 57). El uso de esta disciplina permite contemplar el tiempo, es decir, analiza el tiempo y la suma de eventos desarrollados en el contexto (Echeverri y Franco, 2014, p.18). La visión sistémica pone de manifiesto que los procesos causales suceden, son irreversibles y sus efectos ocurren en el tiempo; estos propósitos, vinculados de forma débil o

fuerte, acontecen en la realidad y pertenecen a la naturaleza (Echeverri y Franco, 2014, p. 18; Capra, 1998, p.57).

Checkland (1993), en la visión sistémica, propone taxonómicamente el orden de los sistemas, los cuáles son reales y categóricamente están subordinados por: los sistemas naturales que pertenecen al universo, los sistemas físicos diseñados creados intencionalmente por el hombre, los sistemas abstractos del conocimiento de las humanidades y los sistemas impredecibles dotados con algún fin o propósito derivado de las actividades humanas (p.p.119-130). Los sistemas de mayor dimensión subordinan a los de menor dimensión (Bertalanffy, 1976, p.29). En esta taxonomía se entiende que el universo es el mayor sistema natural conocido cuyas partes específicas conservan un nivel jerárquico de igual o menor escala (Bertalanffy, 1976, p. 29; Checkland,1993, p. 119-130).

La apreciación jerárquica de la visión sistémica distingue a dos sistemas: cerrados y abiertos. Los primeros parecen ser una fantasía, porque requieren de un aislamiento del entorno y eso no es posible bajo la idea de que todo está interconectado. Por el contrario, los sistemas abiertos son posibles porque existen y conservan conexiones entre sí, dada su naturaleza recíproca y receptiva. La discrepancia, que puede existir, sobre los sistemas cerrados con los abiertos es que los primeros no pueden separarse del medio circundante, salvo que este medio sea el propio universo y en consecuencia sea el único sistema cerrado que contiene a todos los sistemas abiertos conocidos por los seres humanos. Para fijar una posición limitada y centrada a entender una parte de la realidad del sistema, se entiende que los organismos vivos son un sistema abierto y están subordinados por un sistema natural llamado planeta Tierra (Bertalanffy, 1976, p. 39).

Reyes (2014), en su libro *Fisicoquímica*, señala la existencia de los procesos cíclicos en la transformación de la materia (p.p. 74-82). En este sentido, las masas de la materia resultan ser igual a la masa de los productos, en estas interacciones se produce energía que alcanza un equilibrio (Gärtner y Gascha, 2018, p.p. 233). La termodinámica describe el comportamiento de la energía y deducen que en la naturaleza solo suceden procesos irreversibles (Southorn y Sparrow, 2020, p.p. 74).

Estos principios de la termodinámica a menudo se ocupan de sistemas creados por el hombre, no obstante, la naturaleza del universo se asocia al segundo principio³⁹ de la termodinámica y al trabajo de la materia donde indudablemente ambos convergerán en la muerte térmica⁴⁰; alcanzando, incluso, a la vitalidad de los sistemas abiertos (Southorn y Sparrow, 2020, p.p. 74-76; Gärtner y Gascha, 2010, p. 168, Reyes, 2014, p.p. 74-82).

La ciencia moderna y la termodinámica, bajo el pensamiento sistémico, dimensionan partes de la realidad de los sistemas abiertos pertenecientes a la Tierra, cada parte articula el todo. Las partes las presiden corrientes científicas atomistas, reduccionistas y mecanicistas, mientras que el todo lo abordan corrientes holísticas, organicistas o ecológicas (Capra, 1996, p.37). Dentro de este planteamiento unificador, la ciencia, recae en la resolución de aquellos paradigmas con problemas de organización limitados a explicaciones analíticas o naturales, los cuales abordan mezclas de sistemas naturales y sistemas creados por la actividad humana vinculados a procesos vitales compartidos donde la materia y la energía es participe iteradamente (Bertalanffy, 1976, p. 37; Capra, 1996, p.37).

El pensamiento sistémico tiene como finalidad percibir los enlaces entre sí que tiene el mundo físico, de esa forma, los conceptos de sistema, materia y energía se manifiestan constantemente en la conciencia y la realidad que acontece en el entorno de los sistemas de las actividades humanas. Esta perspectiva integral sistemática de la ciencia supera el enfoque lineal de interpretaciones analíticas, para dar entrada a respuestas más contextuales que incidan en el cambio de la realidad del mundo.

Sistemas Abiertos y la Ciencia de la Ecología

³⁹ El segundo principio menciona que “la entropía de un sistema cerrado aislado nunca disminuye y evolucionara hacia un equilibrio termodinámico (máxima entropía) sin la aplicación de trabajo exterior” (Southorn y Sparrow, 2020, p. 76).

⁴⁰ Comprender la dirección del tiempo es crucial para entender la evolución del universo, desde el Big Bang hasta hoy. Pero la segunda ley esconde una sorpresa desagradable para los futuros habitantes del cosmos. Nuestro universo es un sistema cerrado, sujeto a un aumento gradual de la entropía, aunque la influencia de la gravedad puede ayudar a prevenirlo. A medida que sucesivas generaciones de estrellas vivan y mueran, el universo se ira calentando de forma gradual. Cuando se aproxime el equilibrio térmico, dejaran de formarse nuevas estrellas. Al final puede que incluso la materia se empiece a desintegrar según el fenómeno conocido como “muerte térmica” (Southorn y Sparrow, 2020, p. 80).

El contexto biológico refuerza la concepción inseparable de las relaciones e interacciones entre organismos y ecosistemas en un sistema natural. En este apartado se aprecia un aspecto de ello como una extensión de la ecología, teniendo como precedente a la ciencia moderna que persiguió un interés por los sistemas abiertos que albergan la vida en relación a los sistemas naturales y los sistemas de las actividades humanas.

Para sentar una base en términos de contexto, aclararemos que el conjunto de varios seres vivos se refiere a un ecosistema y agrupado a otros ecosistemas se relaciona a todo aquello que la biósfera sostiene. En el campo de la biología desprendería a la ciencia de la ecología⁴¹, cuya manifestación aportó al pensamiento sistémico conceptos como: comunidad y red (Capra, 1996, p.p. 50-52).

Para Maturana y Varela (2003), en su trabajo *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del entendimiento humano*, hablan de los cuerpos independientes como unidades autónomas, que, vistos a partir de moléculas orgánicas, se caracterizan por su organización; aunque intrínsecamente las unidades sean diferentes, no hay separación entre el producto y productor; el ser y el hacer (p. 28-29). Por tanto, las unidades⁴² son capaces de ser autónomas por su metabolismo y estructura, estas desarrollan operaciones mutuas en procesos ontogénicos⁴³ con modos específicos de organización.

Las unidades autónomas construyen interdependencias y mecanismos de *autocreación* (autopoiesis). Las unidades también forman comunidades e interdependencias organizacionales. La individualidad biológica no existe, solo la individualización progresiva, que implica la dominación de unos con otros a fin de alcanzar la conducta del conjunto (Bertalanffy, 1976, p. 75).

⁴¹Ciencia que estudia los seres humanos como habitantes de un medio, y las relaciones que mantienen entre sí y con el propio medio. (RAE, 2021).

⁴² La formación de una unidad determina siempre una serie de fenómenos asociados a las características que la definen, lo que nos permite decir que cada clase de unidades especifica una *fenomenología* particular. Así, las unidades autopoieticas especifican la *fenomenología biológica* como la fenomenología propia de ellas con características distintas de la fenomenología física (Maturana y Varela, 2003, p. 32).

⁴³ Desarrollo del individuo, referido en especial al periodo embrionario (RAE, 2021).

La autopoiesis, en la evolución, propicia que los organismos sean cada vez más complejos e interdependientes organizacionalmente, de modo que el conglomerado de estas unidades forma redes de sistemas complejos con dificultades y limitaciones. Estos se caracterizan por un patrón de organización, cuya estructura organizacional mantiene procesos vitales en el todo biológico (Capra, 1996, p. 175).

Lovelock (2007), en *La venganza de la tierra*, asocia a la biósfera (bajo su *Teoría de Gaia*), como un sistema complejo que alberga vida (p. 37). Un lugar lleno de procesos cíclicos, donde la materia en sus diferentes niveles se transforma y produce energía capaz de equilibrar y autorregular al planeta Tierra; tal como apuntan los postulados termodinámicos sobre los sistemas.

Hay que señalar a los sistemas de las actividades humanas como modificadoras de la estructura organizacional que desequilibran este sistema complejo. La capacidad humana de reflexionar, le ha permitido a la especie ser consciente de su comportamiento, para lograr convertirse en observador de su contexto, y en su rol de hacer y ser, manifestar conductas que mitiguen las irregularidades provocadas en el sistema complejo (Maturana y Varela, 2003, p. 91).

La ciencia moderna y la visión ecológica sobre el todo ennobleció la ciencia de la ecología. El pensamiento sistémico apoyado por la conciencia del ser humano devino en el surgimiento del paradigma ecológico, y éste relacionado a los sistemas naturales, con los procesos organizadores relativos a los sistemas pertenecientes a las actividades humanas y el cómo reflejan sus partes frente al todo. Estos procesos tienen problemas de organización, pero a pesar de ello, sus propósitos son impredecibles y se cumplen en el mundo real.

Filosofías Ecológicas

El pensamiento sistémico ha permeado a través del paradigma de la ecología para desprender corrientes filosóficas de corte ecológico, que persiguen diferentes propósitos y convicciones, que a su vez contribuye a la formación de comunidades

y escuelas de pensamiento, que así mismo, operan con un lenguaje semántico (Maturana y Varela, 2003, p. 139). Este dominio semántico del discurso filosófico adquiere posturas sociolingüísticas del contexto (Cárdenas, 2011, p.1). Las distintas filosofías ecológicas pretenden formar un pensamiento reflexivo más integrativo y consciente, en donde se reconoce el valor intrínseco de la naturaleza, cuyo mensaje cuestiona al ser y el hacer del individuo, así como su concepción antropocentrista (Cárdenas, 2011, p.1; Maturana y Varela, 2003, p. 139).

Alfie (2005), en su trabajo *Democracia y desafío medioambiental en México. Riesgos, retos y opciones en la nueva era de la globalización*, habla sobre la modernidad reflexiva que cuestiona los viejos modelos de pensamiento, los cuales están sublimados en una sociedad industrializada y atraen una nueva visión de la realidad del mundo (p.p. 165-166). Estos cuestionamientos contribuyeron a la extensión en el panorama de la sociología entorno a las realidades que existen en el mundo, donde el discurso ambiental es preponderado por el riesgo ocasionado por la industrialización y urbanización como factores que acrecientan el impacto ambiental.

De modo que “la modernidad reflexiva genera una sociedad basada en el conocimiento, la información y el riesgo” (Alfie, 2005, p. 167). En estas sociedades, las convicciones éticas de los individuos no pueden soslayarse y obligan a establecer sistemas éticos más profundos ligados al reconocimiento ecológico del mundo real (Maturana y Varela, 2003, p. 163; Capra, 1998, p.32). La modernidad reflexiva suma sociolingüísticamente al discurso ecológico y a la formación ética de las actividades de los sistemas humanos, así mismo, modifica la conciencia de las organizaciones sociales (Capra, 1998, p.32; Maturana y Varela, 2003, p. 163; Alfie, 2005, p. 167).

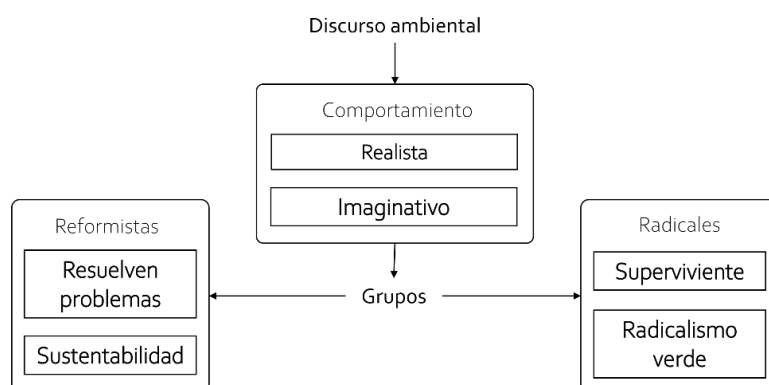
García (2010), en *Ecodiseño, nueva herramienta para la sustentabilidad*, refiere que la Revolución Ecológica de 1960, a nivel global, provocó el rompimiento de diferentes paradigmas que cuestionaban y reflexionaban sobre el riesgo de actividades productivas que atentaban con el bienestar medioambiental (p.p. 17-18). Estos quiebres centralizaron el desarrollo de visiones filosóficas opuestas,

como: el antropocentrismo y el ecocentrismo. La primera visión glorifica al ser humano por encima de los sistemas vivos y lo coloca como centro del universo, mientras que, la segunda agrupa de igual manera a todos los sistemas vivos incluyendo al ser humano; reconociendo así, el dominio integral de la naturaleza.

Los discursos ambientales, como se muestran en la tabla 1, pueden tomar en contexto un comportamiento sociopolítico de carácter realista e imaginativo frente a los problemas y el deterioro ambiental. En el caso realista, el discurso es impulsado por las figuras de los expertos y administrativos, quienes desarrollan propuestas, procuran el bienestar económico y proponen soluciones a través de los aparatos institucionales y gubernamentales. En el caso imaginativo, la articulación del discurso se centra en la transformación de la sociedad en la búsqueda de unificar los pilares ambientales y económicos.

Tabla 1

Distinción de los discursos ambientales, 2021.



Nota: Basado en el abanico de discursos (Alfie, 2005, p.199).

El carácter del discurso ambiental distingue a dos grupos, como: *los Reformistas*⁴⁴ quienes se ocupan de resolver problemas a través de los mecanismos liberales, políticos y democráticos asociados a la sustentabilidad, y a *los Radicales*, cuya condición determinista es la del superviviente ante el poder y el

⁴⁴ Aquello que se propone, proyecta o ejecuta como innovación o mejora en algo (RAE, 2021).

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

crecimiento económico derivado de la creciente industrialización, por lo que esta se relaciona con el radicalismo verde (Alfie, 2005, p.p.171-172).

El discurso reformista ofrece soluciones innovadoras a corto tiempo, por lo que su radio de acción fructífera ideológicamente en los sistemas humanos en la era de la globalización. En él existe un interés sostenible, disruptivo para la modernidad reflexiva, que mira extremos sociales como la pobreza y la riqueza, la demografía en ciudades y desequilibrios de los ecosistemas, sociales y económicos del sistema complejo (García, 2010, p.21).

El discurso radical perpetra contundentemente la visión antropocentrista, en la denominada ecología profunda; esta corriente ecológica integra, de forma interconectada e interdependiente, la vida y los procesos vitales para el desarrollo de la vida. La filosofía radical y profunda suma a la ecología social y a la ecología feminista⁴⁵, que lejos de ser incompatibles entre sí, las tres reflexionan en la búsqueda de propósitos integrativos de la visión ecológica. El discurso reformista y el discurso radical comparten una base ideológica y ecológica, no obstante, los ideales del segundo están más comprometidos con la naturaleza (Capra, 1998, p.29-30).

Las escuelas de pensamiento ecológico resguardan una serie de postulados complejos que toman hegemonía en la razón y conciencia de los seres humanos sobre su entorno. Su filosofía, a menudo, recaen en el accionar de las actividades humanas y como estas asimilan el desgaste y racionalización de recursos naturales extraídos de los ecosistemas de la biósfera. El discurso filosófico, en diferentes niveles globales y contextuales, es importante porque cuestiona el porvenir de los procesos de desarrollo de las sociedades, además toman un papel relevante en los organismos gubernamentales e implementan medidas para el cuidado del medio ambiente y recursos naturales; de tal forma que ayuda a las naciones a tomar,

⁴⁵ La ecología feminista o ecofeminismo lidia con el androcentrismo. El diccionario define al androcentrismo como "m. Visión del mundo y de las relaciones sociales centrada en el punto de vista masculino. Y esta filosofía, de acuerdo con Alfie (2005), tiene que ver con la liberación femenina asociada a la liberación de la naturaleza sobre el dominio el patriarcado (p. 189).

construir y constituir mejores decisiones para alcanzar el bienestar ecológico de las partes y el todo.

Revolución Industrial hacia la sostenibilidad

La expansión de las actividades humanas a nivel global ha acelerado el crecimiento poblacional, ha abierto la brecha de las desigualdades sociales y el desgaste de los recursos naturales. A consecuencia de ello, la ecología se ha visto actualizada por el enfoque *sostenibilista* que trata de aliviar y desacelerar el impacto de esas actividades que ocasionan escenarios nada prósperos. En este apartado la sostenibilidad es clarificada y utilizada como impulsora de la economía circular hacia un movimiento de desarrollo.

De acuerdo a Amador (2010), en *El mundo finito. Desarrollo sustentable en el siglo de oro de la humanidad*, el crecimiento demográfico está en aumento y ha sido el más grande jamás registrado en la historia humana (p. 73). Meadows et al. (1992), en *Más allá de los límites del crecimiento*, explora el comportamiento de las tasas de población en relación al capital industrial para deducir virtualmente que el crecimiento alcanzará límites y de no regularse las consecuencias serán desalentadoras (p. 51). Con estas referencias, el panorama que se vislumbra en la proliferación de la raza humana junto a sus actividades industriales resulta en el devenir y crecimiento impredecible de los sistemas organizacionales de la humanidad en el mundo, donde las actividades productivas e industriales crecen y demandan recursos naturales; cuyos procesos genera problemas de contaminación que logran migrar a diferentes escalas (Meadows et al., 1992, p. 51; Amador, 2010, p. 73).

Comisarenco (2005), en *Diseño industrial mexicano e internacional: memoria y futuro*, refiere que en el periodo de la primera Revolución Industrial y el surgimiento de la maquina⁴⁶ se permitió la innovación de procesos y métodos productivos en las

⁴⁶f. Conjunto de aparatos combinados para recibir cierta forma de energía y transformarla en otra más adecuada, o para recibir un efecto determinado (RAE, 2021).

sociedades, pero también procreo a la burguesía⁴⁷ y al proletariado⁴⁸, es decir la división de clases sociales (p.27). Ante este imparable progreso, las actividades humanas cambiaron e impactaron significativamente en los sistemas organizacionales de medios económicos, sociales, culturales, tecnológicos, productivos, etc.

La naturaleza biológica y social de la especie ayudó a forjar un mundo global lleno de irregularidades (Maturana y Varela, 2003, p. 139), con discrepancias que ofrecen distintas experiencias de la realidad en distintos contextos, unidos por los ámbitos: económico, político y cultural (Alfie, 2005, p. 23). La condición humana y su desarrollo en la globalización crea desigualdad, la cual tiene mayor presencia en los sectores sociales y económicos (Alfie, 2005, p. 23; Maturana y Varela, 2003, p. 139).

Esta etapa de la Revolución Industrial tuvo un control del capital humano y la realidad social vislumbró en desigualdades e injusticias para la clase obrera; junto a ello, un temprano modelo económico lineal se forjaría (Comisarenco, 2006, p. 45). Piketty (2015), en *La economía de las desigualdades: cómo implementar una redistribución justa y eficaz de la riqueza*, explica que “la desigualdad social y la redistribución se plantean en principio en términos de oposición, del capital y trabajo, ganancia y salarios, empleadores y empleados” (p.49). En este sentido, en los últimos 100 años, el modelo económico lineal ha operado bajo estas oposiciones y continúa condicionando la transformación de las realidades sociales, cimentando un modelo socioeconómico con base en la industrialización que deprecia a la sociedad, a los seres vivos, a los ecosistemas y a los recursos naturales. (Piketty, 2015, p. 49; Comisarenco, 2006, p. 45).

Tamayo (2014), en *Aprender a decrecer educando para la sustentabilidad en fin de la era de la exuberancia*, menciona que la crisis ambiental actual y futura se agravará debido a los procesos industriales lineales, cuyo producto representa

⁴⁷ F. Grupo social constituido por personas de la clase media acomodada (RAE, 2021).

⁴⁸ Adj. En la sociedad industrial, trabajador que no posee medios de producción y que obtiene su salario de la venta de su propio trabajo (RAE, 2021).

externalidades⁴⁹ para la formación de desechos en donde se espera que otra entidad se encargue de ellos (p. 80). Este modelo socioeconómico lineal, de no reaccionar, implica crisis y riesgos ambientales cada vez más alarmantes, lo que hace del mundo un lugar insostenible para las generaciones actuales y venideras.

Jiménez et al. (2019), en *Economía Circular – Espiral. Transición para un metabolismo económico cerrado*, explican que, “la deuda ecológica contraída históricamente con la naturaleza y con las regiones desfavorecidas, impone enormes cargas para superar el déficit ambiental y garantizar que el impacto del sobreconsumo mundial de recursos no sobrepase la biocapacidad de la Tierra” (p. 29). La economía basada en la industrialización no está respondiendo a las necesidades actuales de la sociedad, ni a la distribución justa del capital y sobre todo a la igualdad equitativa de los sistemas sociales, por lo que es importante adecuar este modelo a los intereses sociales y medioambientales presentes para desacelerar el daño ocasionado al mundo y alcanzar el bienestar con el mismo.

El modelo económico lineal, que integra aspectos socioeconómicos, tecnológicos, industriales, políticos y culturales en la globalización, podría cambiar a un modelo económico socioambiental para no colapsar. La integración del medio ambiente es tan importante como los otros aspectos, ya que al considerarlo no solo se garantiza el desarrollo de las actividades humanas e industriales sino un desarrollo y concientización más integral del todo y sus partes en las realidades sociales y su entorno, la escases y extracción de los recursos naturales, la contaminación y transformación de los residuos, así como del bienestar de los seres vivos y los ecosistemas.

Percepción de Desarrollo Sostenible

La calidad antrópica⁵⁰ de los medios de producción, la realidad de la sociedad y sobre todo la transformación de la materia son preocupaciones de la ciencia

⁴⁹ La externalidad, en términos económicos, “son efectos secundarios (buenos o malos) que se producen cuando una persona o una empresa realiza una actividad y no asume todos los costes de la misma, o todos los beneficios que le podrían reportar” (Cabello, 2016).

⁵⁰Producido o modificado por la actividad humana (RAE, 2021).

ecológica en el mundo globalizado, pues estas son implícitas a las actividades humanas que atentan contra el medioambiente. En los países conscientes de su entorno trabajan en acciones reformistas basadas en el desarrollo sostenible, ya que su eje conductor encamina a elaborar políticas relacionadas con el bienestar social, cuidado medioambiental y beneficio económico.

La primicia del desarrollo sustentable fue dada por el informe Brundtland⁵¹, su entendimiento dio pie a múltiples interpretaciones. Su apelación escalo a nuevos horizontes teóricos y conceptuales, dada la complejidad implícita en el concepto.

Antes que nada, el sentido de la traducción del concepto, este atrajo confusiones. González (2013), en *Ecoeficiencia. Propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental*, menciona que, “desarrollo sostenible” o también “desarrollo sustentable” es una traducción de la expresión inglesa “*Sustainable Development*” (p.5). La connotación inglesa hace referencia a algo que está en dinámica, mientras que el significado de la lengua española expresa a algo que no cae o se mantiene en determinado estado.

El concepto desarrollo sustentable o desarrollo sostenible engloba ideas estáticas o perpetuas. A raíz de esta situación, algunos autores se apropian de la declaración Brundtland para delimitar y encerrar el concepto; otros no. En este sentido, se toman las ideas de algunos autores para la percepción de desarrollo sostenible.

Para Escobedo y Andrade (2017), en *Desarrollo Sustentable. Estrategias en las empresas para un futuro mejor*, la sustentabilidad se articula de las dimensiones económicas, ambiental y sociales (p. 5). Por tanto, la sustentabilidad se consolida a través de la equidad entre las dimensiones social y económica; soportable entre la dimensión social y ambiental; y la viabilidad entre las dimensiones ambiental y económica.

⁵¹ Es un informe conocido como *Nuestro Futuro Común* o *Informe Brundtland* de 1987, hecho por La Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD) de las Naciones Unidas y expuesto por la Dra. Gro Harlem Brundtland que señala, “El desarrollo sustentable es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo [CMMAD], 1987, p.24, como se citó en Universidad Autónoma de Nuevo León, s.f)

Por otra parte, Aguayo (2014), en *Ecodiseño. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna (C2C)*, añade que la declaración es sostenibilidad, en donde el “principal objetivo implica la equidad intra e intergeneracional, entre géneros y respetando la biodiversidad, dentro de un proceso de desarrollo enmarcado en los principios de desarrollo sostenible” (p.1). La visión sistémica del desarrollo sustentable busca concretar la dependencia y vinculación en los sistemas económicos, sociales y medioambientales, cristalizadas a través de la equidad y la cultura, ya que, si una dimensión se beneficia, las otras también; y viceversa (Escobedo y Andrade, 2017, p. 28). No obstante, lo sustentable o lo sostenible buscan un planteamiento unificador para consolidarse en dimensiones en común, en el que la equidad resalta como cualidad de ambos desarrollos (Aguayo, 2014, p. 2; Escobedo y Andrade, 2017, p. 28).

De modo que, la globalización integra al sector político, cultural y económico, este último ligado al sector social y al sector medioambiental pasa a formar la dimensión total del modelo tradicional de desarrollo sustentable. En ese sentido, el modelo de desarrollo sostenible enaltece el valor del derecho⁵² y lo asocia a la dimensión social (presente y futura), quienes en la dimensión económica e industrial desarrollan actividades en sectores económico-productivos y a su vez dependen del medioambiente y sus recursos naturales.

Probablemente la inferencia de los dos conceptos sea que el desarrollo sustentable es aquel que representa un plan articulado, mientras que el segundo, el desarrollo sostenible, procura la ejecución y operabilidad de ese plan. La comprensión característica de los términos sustentable o sostenible, en su estructura semántica, no es sobreentenderlos sino retomar sus particularidades para acuñarlo de acuerdo a la intención del planteamiento ecológico que se aborde; ya sea paradigma, discurso o ambos.

⁵² “El término *sustentable* es aplicable al derecho que tienen las generaciones presentes en hacer uso de los recursos naturales para cubrir sus necesidades o tener el sustento necesario para vivir, y lo *sostenible* considera el derecho que tienen las generaciones venideras para cubrir sus necesidades; esto es un horizonte de tiempo constante en el futuro” (Escobedo y Andrade, 2017, p.3).

Por otra parte, los cuestionamientos a tal concepto permiten sumar otras posturas que clarifican las visiones sustentables y sostenibles.

Dwyer y Efrón (2017) en *Eficiencia energética en la supply chain* mencionan que la definición de desarrollo, traza la mayoría de los aspectos de la actividad humana, lo que se convierte en objeto de variadas demostraciones (p.3). Para Mihelcic y Zimmerman (2011) en su obra *Ingeniería ambiental. Fundamentos, Sustentabilidad, Diseño* señalan que “La sustentabilidad requiere integrar los tres elementos de la línea triple principal (medioambiente, economía y sociedad). La mayoría de las definiciones incorporan esta tripleta principal junto con el deseo de satisfacer las necesidades de generaciones actuales y futuras” (p. 4). El desarrollo trata el beneficio de tres dimensiones, pero caen en cuestionamientos que apelan por satisfacer necesidades económicas y sociales, lo que incurre simultáneamente a la degradación del medio ambiente (Mihelcic y Zimmerman, 2011, p.4; Dwyer y Efrón, 2017, p.3).

La sustentabilidad para que suceda tiene que demostrarse, ya que presupone un gran esfuerzo colectivo de todas las entidades y dimensiones involucradas. Pero esto es ambicioso, pues la suma de sus actividades podrá soportar el desarrollo vital de las entidades más no el crecimiento progresivo. No obstante, la visión sistémica global de la sustentabilidad ha permitido a las entidades actuar a razón de su radio de acción, es decir, debido a la organización minoritaria de los sistemas humanos, la sustentabilidad se ha dado regionalmente o localmente (Alfie, 2005, p.183)

En los contextos locales o de manera global el uso indistinto del término desarrollo sustentable o sostenible percibe las prácticas productivas, la intencionalidad democrática del discurso, el bienestar de los recursos naturales, las realidades sociales, el crecimiento económico y la equidad de entre las entidades involucradas, los cuales se subliman en los sistemas industriales, políticos, medioambientales, sociales, económicos y culturales. Al ser un término teórico-práctico multidimensional, cada organismo lo interpreta y apropia de acuerdo a sus necesidades particulares (Dwyer y Efrón, 2017, p. 4)

Respecto a estas necesidades particulares. El desarrollo sustentable podría tener ampliaciones a través de otras entidades conceptuales: la innovación y biosíntesis, la antelación de prevenir riesgos, el decrecimiento y conciencia social sobre la dependencia de los recursos naturales, la búsqueda del equilibrio ecológico, ciclos cerrados de materiales hacia una economía solidaria que evite la acumulación del capital, el pensamiento y percepción holista (Tamayo, 2014, p.p. 59-87). Otras extensiones a integrar son: viabilidad operativa, habitabilidad referida al eje social, transmisibilidad con énfasis intergeneracional, reproducible vinculado a la calidad y prácticas agrícolas sobre los recursos naturales (Chávez, 2019, p.125).

Por tanto, se percibe un modelo de desarrollo sustentable sin un consenso claro de su magnitud dada la complejidad de los sistemas abiertos de sus tres dimensiones; la amplia planificación sustentable en la práctica es disuelta por su ejecución sostenible futura que puede prosperar localmente. El concepto se apropia de cualidades de equidad, integración y democracia para su concepción. El derecho que todos tienen de utilizar los recursos del presente, y paralelamente, tienen también el derecho de protegerlos para que las próximas generaciones tengan su derecho de ocupar aquellos recursos devueltos por la generación anterior. La transición del desarrollo sustentable al desarrollo sostenible no ocurre de manera fortuita, sino su integración sucede atemporalmente e irreversiblemente en el plano del tiempo, su crecimiento es disruptivo y se nutre de la dialéctica holística y ecológica del pensamiento sistémico de los actores sociales involucrados que de manera glocal o global ven sus contextos y dimensiones económicas, sociales y medioambientales, las cuales impactan en la permutación política, industrial y cultural del pasado, presente y futuro generada por la actividad de estas tres últimas.

Economía Circular

La sostenibilidad, como un sistema con problemas de organización, desprende subsistemas como la economía circular. La coyuntura en este apartado involucra al enfoque circular articulado por el ecodiseño.

Ellen MacArthur Foundation (2009), en *Completing the picture. How the circular economy tackles climate change*, manifiesta que, “la economía circular a nivel de sistemas es un enfoque de desarrollo económico diseñado para beneficiar a las empresas, la sociedad y el medio ambiente” (p.19). Espaliat (2017), en *Economía circular y sostenibilidad*, expone que “por economía circular se entiende aquella que por principio es restaurativa y regenerativa, y que trata que los productos, componentes y materias primas mantengan su utilidad y valor máximo en todo momento asimilando los ciclos⁵³ técnicos a los biológicos”⁵⁴ (p. 22). Este enfoque, a diferencia de la economía lineal, promueve el *suprarreciclaje* de residuos de forma más sostenible basado en la cooperación social (Espaliat, 2017, p. 22; Ellen MacArthur Foundation, 2009, p. 19).

La economía circular se organiza en relación a las ideas creadoras del ecodiseño donde su metabolismo es concebido como un bucle cerrado, de atributos biomiméticos, regenerativos y ecoeficientes para la formación de modelos de crecimiento sostenibles. Un modelo estructural articulado por otros procesos y metodologías⁵⁵, cuyas interacciones provienen de diferentes escuelas de pensamiento ecológico (Brosse, 2021, p.39; Dwyer y Efrón, 2019, p.14).

La economía circular manifiesta ciclos⁵⁶ técnicos y biológicos guiados bajo tres principios rectores. El primero está dirigido a preservar, cuidar, resguardar y gestionar el capital natural de manera adecuada en procesos de transformación ecoeficientes que garanticen la asimilación de la materia en los ciclos técnicos a los biológicos. El segundo busca la optimización y la utilización máxima de la materia en todo momento (se apoya del diseño y reciclaje), para nuevamente integrarlos en los ciclos técnicos a los biológicos. El tercero impulsa la eficacia de los sistemas técnicos y biológicos para reducir o eliminar las externalidades negativas, considerando el daño a que llegasen a incurrir a los seres vivos o ecosistemas, con

⁵³ Véase en anexos la hibridación de los ciclos técnicos y ciclos biológicos de la economía circular.

⁵⁴ Texto original: “The circular economy is at the systems level economic development approach designed to benefit companies, society, and the environment.” (Ellen MacArthur Foundation, 2003, p. 22)

⁵⁵ La economía circular se retroalimenta de otros enfoques como “Diseño regenerativo, Economía de rendimiento, Cradle to Cradle (de la cuna a la cuna), Ecología Industrial, Biomímesis, Economía azul y capitalismo natural” (Ellen MacArthur Foundation, 2012, p.p. 26-27 como se citó en Jiménez et al., 2019, p. 110).

⁵⁶ Véase tabla de ciclos en anexos.

el propósito de permitir funcionar correctamente el metabolismo del sistema cíclico (Espaliat, 2017, p.p. 25 - 26).

El World Economic Forum (WEF, 2018), detalla las funciones de los principios de economía circular que hacen posible que una ciudad sea circular, vale decir que una ciudad circular tiene como objetivo crear prosperidad y resiliencia económica para sí misma y para sus habitantes, también fomenta el pensamiento sistémico para ofrecer mejoras económicas, sociales y medioambientales a su población (p.10). La organización pone de manifiesto que los principios regenerativos y restaurativos encaminan a las ciudades a llevar a cabo a impulsar una economía de residuos, pues con ellos se puede capitalizar, obtener utilidades y rentabilizar sobre los mismos, a través de cerrar bucles productivos, el diseño modular e innovación de modelos de negocios.

La postura económica del enfoque es relativamente reciente, por lo que su legitimidad sigue en controversia al interpretar la magnitud de sus ejes, no obstante, algunos atributos caracterizan a este modelo económico de desarrollo como sostenible. Jiménez et al., (2019) explican características como: diseñar sin residuos, aumentar la resiliencia por medio de la diversidad, trabajar hacia un uso de energía de fuentes renovables, pensar en sistemas, representar costes reales del mercado y pensar en cascada (p.p. 119-120).

Acaroglu (2018) en su trabajo *Circular Systems Design. A Toolkit for the circular economy*, habla de pensar sobre sistemas, en otras palabras, alude al pensamiento sistémico como el pensamiento circular, que permite observar una perspectiva más tridimensional del funcionamiento del mundo, pero a su vez desarrolla soluciones sostenibles de diseño que se ajustan al panorama general y real de los contextos (p.p. 10-11). La doctrina del pensamiento circular concibe sus ideas a través del modelo de diseño disruptivo, bajo herramientas metodológicas, se enfoca en el pensamiento sistémico, el pensamiento del ciclo de vida, las ciencias de la sostenibilidad y la ideación creativa (Unschool, 2021). Este tipo de pensamiento circular, más propio a los campos del diseño ecológico, promueve crear bienes económicos bajo criterios de diseño disruptivos, los cuales fomentan

un impacto benéfico sostenible a largo plazo y junto a ello el suministro de los cambios y procesos necesarios para el cierre de bucles (Unschool, 2021; Acaroglu, 2018, p.p. 10-11).

Diseño Ecológico: Ecodiseño y Residuos

El diseño, adecuado a las necesidades humanas, responde principalmente a vanguardias para generar bienes (y servicios) innovadores, radicales, versátiles, modernos y de valor para la sociedad. Sin embargo, dentro de una economía lineal, esos bienes contribuyen además a la generación de residuos, ya que a menudo, no son tratados y se convierten en basura.

De acuerdo a Rodríguez (2013), en *Diccionario de economía: etimológico, conceptual y procedimental*, los bienes pueden ser “libres” o “económicos”, es decir, los primeros regularmente son abundantes y pertenecen a la naturaleza y los segundos tienen utilidad, pero a la vez son escasos; de modo que poseen un valor económico (p. 12). Los bienes económicos pueden producir más bienes de consumo o pueden ser de consumo para cubrir necesidades, estos últimos tienen la capacidad de ser perecederos; o no.

El diseño configurado (sistemas creados por el hombre) ha tenido diferentes etapas que han derivado en vanguardias que crean diferentes realidades sociales, económicas, culturales y políticas a nivel internacional (Comisarenco, 2006, p.p. 84-85). La materialización del diseño, como un bien de consumo relativo a la sostenibilidad, se masifica en posturas contrapuestas en el que uno se preocupa por gestionar racionalmente los recursos naturales que forman el bien, mientras el otro forma el bien por intereses del mercado, el capital y desarrollo económico propios de una dimensión económica (García, 2010, p.p. 23-24). Los bienes económicos han sido pensados en las vanguardias del diseño y su expansión ha sido un eje importante para el crecimiento hegemónico de la economía lineal (García, 2010, 23 – 42; Comisarenco, 2006, p.p. 84-85).

El diseño ecológico, aún vigente, se centra en la conciencia ecológica, el cuidado del medio ambiente y los consumidores. Este enfoque comprende tres subdimensiones asociados a un tono de verde que da significado a un nivel de compromiso con el medio ambiente⁵⁷: verde claro tiene relación ecológica de forma superficial; el verde medio busca su equilibrio con la industria y se apoya de principios éticos; el verde oscuro se centra en el diseño sustentable, radica un pensamiento sistémico y ecológico de las actividades del hombre y sus efectos adversos sobre el medio ambiente, lo que lo hace ser el más reflexivo y más profundo de los primeros verdes (Comisarenco, 2006, p.p. 174-175; García, 2008, p.p. 29-36).

Las actividades económico-productivas del diseño ecológico empatan con el verde medio, por lo que su estrategia de análisis y compromiso legitiman el denominado ecodiseño. El ecodiseño, en una primera instancia, nace como una actividad humana que replantea la generación de bienes, centrada en el análisis de ciclo de vida, ecoeficiencia de procesos para eliminar o reducir el impacto ambiental (Aguayo et al., 2013, p. 45).

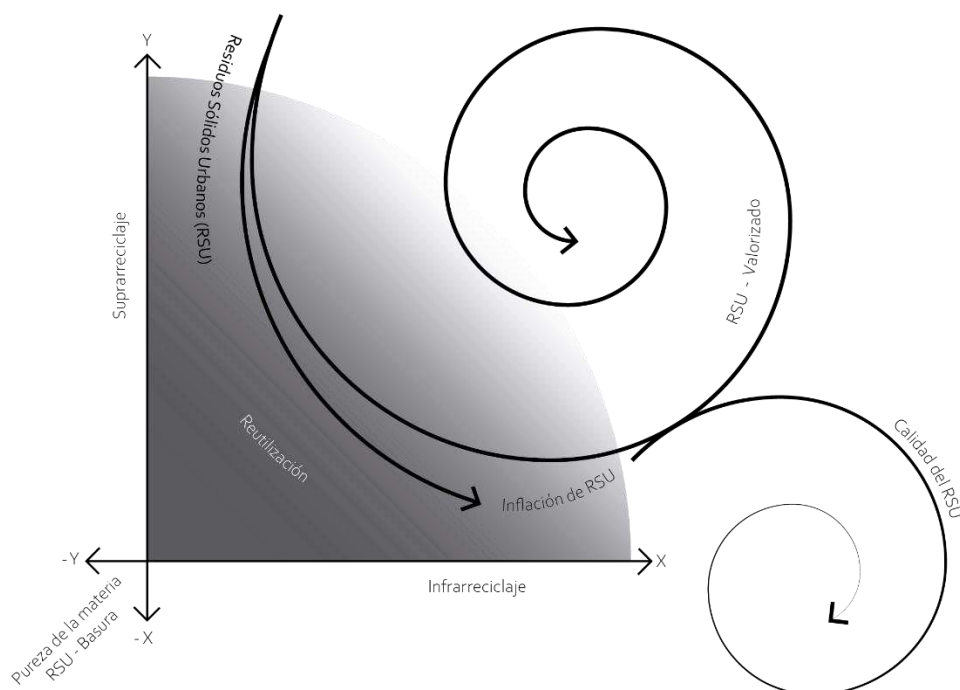
De acuerdo con Jiménez et al. (2019), el diseño ecológico es una pieza fundamental dentro del bucle cerrado de la economía circular (p. 185). En este sentido se entiende que las bases del ecodiseño se asocian a la filosofía de ecología industrial (Aguayo et al. 2013, p.19) y simbiosis industrial (Brosse, 2021, p.129), para expandirse fortuitamente al diseño sostenible que opera con objetivos de ecoeficiencia (González, 2013, p.p. 10-11), con rumbo a nuevas lógicas de producción y extracción de los recursos naturales, cuya fluidez gestiona adecuadamente la materia virgen y residual hasta aprovecharse al máximo dentro de un metabolismo circular (Dwyer y Efrón, 2017, p.12-13). Con esto se plantea que el diseño ecológico en su tono verde medio busca replicar sistemas con metabolismo circular, similares a los sistemas biológicos, para concretar una nueva economía circular (Dwyer y Efrón, 2017, p.12-13; Brosse, 2021, p.129 González, 2013, p.p. 10-11; Aguayo et al. 2013, p.19; Jiménez et al., 2019, p.185).

⁵⁷ Véase tabla de anexos

Form Us With Love (2020), en *Problems*, explican que la barrera del reciclado de materiales residuales es suponer que los residuos son puros y de buena calidad estructural, lo cual no es cierto (p.143)⁵⁸. Muchos residuos se vuelven basura al ser la mezcla de diferentes materiales impuros con una estructura química baja o cuyo origen son el producto de la fusión de varios materiales, en cualquiera de los casos separar las mezclas es complicado e inviable económica, tecnológica y productivamente. El reciclado favorece aquellos materiales casi puros de origen ya sea natural o sintético, es decir, compuestos residuales de origen similar, constituido de pocos materiales, de separación y transformación relativamente fácil (Tabla 2).

Tabla 2

Metabolismo circular de los residuos, 2021.



Nota: Representación de un escenario posible respecto a la ruta, que pueden tomar muchos residuos con o sin valor, dentro de sistemas de *suprarreciclado* o *infrarreciclado* hasta convertirse en basura.

Los materiales residuales y sus procesos de transformación son imposibles en algunos casos. En el proceso del *infrarreciclado*, el residuo, solo posterga su

⁵⁸ Texto original: One of the biggest problems with recycling is that it's focused largely on waste streams that are pure and have good structural. Think of how you separate glass according to colour and printed paper needssorting into different bins. Waste today consists of lots of mixed material or blends, and impure materials with a low chemical structure often fused with other materials. All things which make recycling harder, and in some cases impossible (Form Us with Love, 2020, p.143).

eliminación y llegada a vertederos, lo que condiciona su valor intrínseco, uso y pureza química, sin embargo, cabe mencionar algunos materiales logran superar su valor inicial mediante la inflación del valor agregado. En otros casos, los materiales residuales conservan sus propiedades tanto físicas y químicas, su uso por el cual fueron formados y el valor tanto económico como intrínseco, es decir logran un metabolismo circular en el denominado *suprarreciclaje*. En ambos estilos de reciclaje, la materia que gradualmente se pierde en el entorno, no siempre es gestionada adecuadamente, lo que sugiere que la materia está en constante transformación y pérdida (Aguayo et al, 2013, p.96).

La acción de *suprarreciclar*, por encima de *infrarreciclar*, se puede realizar a escala individual – doméstica o colectiva – comercial. La materia transformada puede ser un bien comercial con o sin fines de lucro, de acuerdo al provecho que el organismo desee. El *suprarreciclaje* a escala individual puede hacerse con escasos recursos, con o sin conocimiento en campos del diseño, lo que puede detonar en un emprendimiento casero a través de la regeneración de residuos (Brosse, 2021, p.p. 63 – 65).

La posición del marco teórico-conceptual⁵⁹ toma de referencia la teoría general de sistemas para desarrollar un pensamiento sistémico que observa a la ciencia moderna y el isomorfismo de la ciencia ecológica que envuelve a sistemas abiertos-complejos con problemas de organización inmersos en un modelo económico lineal. Así mismo de la posición teórica se desprende el interés por el desarrollo sustentable o sostenible articulado por la economía circular orientado en el ecodiseño y el enfoque del suprarreciclado de los residuos sólidos.

Capítulo Tres: Marco Referencial

El tratamiento de los RSU ha derivado en prácticas y tendencias de *suprarreciclado* de materiales. Algunas familias de vidrio entran en estos sistemas de reciclado, cuya recuperación, tratamiento, transformación y utilidad para algunos organismos

⁵⁹ Véase el modelo 3d del marco teórico-conceptual.

resulta conveniente el acoplarlos al modelo económico de la economía circular⁶⁰. A continuación, se mencionan antecedentes de interés comercial, técnico y teórico que abordan estos procesos de transformación y limitaciones operativas del vidrio que orillan al desarrollo de nuevas prácticas de reciclaje del VR.

Producción de vidrio

La formación de nuevo vidrio, en muchos casos, se produce por la combinación de vidrio residual tratado y materia virgen, aunque si se requiere un vidrio sin color y transparente, la combinación de los componentes es más rigurosa porque cualquier agente externo fuera de la mezcla puede generar un resultado no deseado. La fusión de esta materia se produce en hornos industriales, a los que se controla la presión y la temperatura. Es la fundición del mismo uno de los principales procesos para la industria del vidrio. No obstante, los hornos representan un alto consumo energético (energía térmica), pues deben mantener una constante temperatura todo el tiempo hasta el final de su vida útil. La combustión del consumo de energía genera dióxido de carbono (CO₂); un contaminante liberado en forma de gas que se esparce e incorpora al medio receptor (Tackels, G, 1996, p.p. 158-163).

El vidrio residual es transformado a *cullet*⁶¹ (vidrio molido en granos), el cual se integra con otros minerales en un compuesto heterogéneo para fundirse en hornos precalentados a 1550°C. El compuesto fundido se vuelve una sustancia homogénea de vidrio, que primero debe descender su temperatura a 1250°C, para pasar por un proceso de refinado en donde se le extraen las burbujas de aire. En un siguiente paso, la temperatura del vidrio debe mantenerse para que su masa sea dividida en proporciones uniformes llamadas “gotas”. Las gotas de vidrio son procesadas en máquinas formadoras para expandir su masa y formar un nuevo volumen (objeto de vidrio), cuya forma conserva una temperatura próxima a 700°C. En una etapa final de fabricación, el objeto de vidrio es recocido entre temperaturas

⁶⁰ Véase Marco teórico-conceptual apartado *Economía circular*.

⁶¹ Cullet es un tecnicismo para referirse a los granos de vidrio en un proceso industrial o de características similares. No obstante, muchos materiales pueden tener la condición de grano, es decir, son materiales granulares. Los materiales granulares son conglomerados de partículas sólidas (granulometría aprox. a 5 µm), cuya energía cinética se comporta como un sólido, líquido o gas (Gil, 2014, p. 252).

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

de 565°C y 150°C; proceso que libera la tensión y fortalece las paredes del objeto de vidrio (O-I Glass, 2021).

La industria del vidrio se beneficia de la rentabilidad que puede resultar del proceso productivo y reciclado de vidrio residual que producen y recuperan. Esta producción es una actividad económica importante que está cambiando al seguir el enfoque de la economía circular, en paralelo a las actividades económicas de la macroeconomía global y del ciclo de reciclado de vidrio.

El vidrio residual es un bien económico de consumo útil con valor, capaz de conservarlo durante un metabolismo de ciclo cerrado de *suprarreciclado* (up-recycling). Pero el flujo perpetuo e indefinido del reciclado del material es imposible, lo que el remanente residual en cualquier momento tiende a terminar en vertederos de basura (Aguayo et al, 2013, p. 96).

Reciclaje de la Industria del Vidrio

Las estrategias productivas y económicas relativas al accionar de los procesadores buscan contrarrestar acciones de “tomar”, “hacer” y “desechar” derivados de una economía lineal. Un ejemplo de ello son los procesadores y receptores líderes como empresas y organismos menores, quienes adoptan el modelo de la economía circular, para poder gestionar, restaurar y regenerar mucho del residuo de vidrio.

La FEVE The European Container Glass Federation, es una agrupación de fabricantes de vidrio de la Unión Europea. El organismo promueve *Close the Glass Loop*⁶² (por su traducción al castellano *Cerrar el Ciclo de Vidrio*), para el reciclaje de botellas de vidrio. Esta iniciativa pretende ser el eslabón que organice la administración, la cadena de valor, el reciclaje y recolección de botellas de vidrio entre la industria y la población europea. Su estrategia visualiza sus objetivos a 2030 y prevén mejoras en la calidad del vidrio reciclado, reducción del uso de materiales

⁶² Ver más en <https://closetheglassloop.eu/>

vírgenes para crear los envases de vidrio y disminución de emisiones de Dióxido de Carbono (FEVE The European Container Glass Federation, 2020).

La Saint-Gobain, en 2015, implementó una política de gestión sostenible de recursos llevada a cabo en toda su cadena de producción. La iniciativa se centra en el ciclo de vida de sus productos. La compañía con sus implementaciones, influenciada por el movimiento de la economía circular, busca alcanzar en 2025 beneficio en tres sectores de su producción: productos a partir de materiales reciclados, minimizar la generación de residuos de fabricación y aumentar el manejo de residuos restantes (Saint-Gobain, s.f.).

Grupo Vitro, en el informe anual de 2018, menciona el logro de reciclar alrededor de 132,000 toneladas de vidrio incluyendo vidrio generado por negocios de vidrio arquitectónico, vidrio automotriz y de cosméticos. Esto forma parte del manejo integral de sus residuos y de sus actividades de reciclaje (Vitro, Juntos, vemos más allá, 2019, pág. 36).

Owen Illinois Quebec, en 2019, celebró el reciclaje de 70,000 toneladas de vidrio y esperan que estas cifras aumenten el doble para 2025. Estas actividades han compaginado con la mejora de la producción y tratamiento de vidrio, cuyo enfoque está enmarcado por la filosofía de la economía circular cuya estrategia busca reducir emisiones de efecto invernadero y aumentar el uso de vidrio reciclado (Owen Illinois, 2019).

La empresa Ecovidrio, en 2020, alcanzo la recogida de 907,503 toneladas de envases de vidrio. La estrategia, implementada por el organismo, recurre a ejes de la sostenibilidad y la economía circular, lo que fortalece la recuperación del reciclado del material y la gestión del residuo entre la sociedad y las empresas en España. Su contribución ha evitado la emisión de 526,371 toneladas de CO₂, la extracción de 1,089,043 toneladas de materias primas y el ahorro de energía de 684.162 Mwh. (Ecovidrio, Entidad sin Ánimo de Lucro, 2020, p. 4).

El organismo Cerrando el Ciclo, bajo los pilares de la sustentabilidad, ha podido acopiar alrededor de 11,962 kilogramos de botellas de vidrio. La empresa se

encarga de realizar operaciones en relación al procesamiento, reutilización, revaloración y reciclaje de botellas de vidrio. Estas actividades se cumplen mediante líneas de acción que involucra el emprendimiento social, la producción de nuevos objetos de vidrio, la promoción de desarrollo de habilidades para el reciclaje de vidrio, educación y concientización medioambiental respecto al consumo y reúso de botellas de vidrio (Cerrando el Ciclo, s.f.).

Derivados del Vidrio Residual

Otros procesadores y receptores en la recolección de vidrio se convierten en intermediarios en el reciclado de vidrio, cuyos intereses transforman el vidrio en un bien económico para el uso decorativo-arquitectónico. Los productos son nombrados de diferente manera, aunque, los objetos llegan a un resultado similar.

Empresas en Estados Unidos aprovechan el VR como insumo para la elaboración de nuevos objetos. En Atlanta, DEX Industries fabrica materiales a partir de la mezcla de cemento portland blanco, pozzolinas seleccionadas, arenas de sílice, cuarzo y otros agregados para las fachadas arquitectónicas (DEX Industries, 2021). En Miami, Coverings Etc produce paneles hechos a partir del reciclaje de vidrio, denominado *Bio-glass* y se refieren a este como “Future Friendly” (Coverings Etc, 2019). Florida, Glass and Glass realiza una línea de baldosas hechos de un 95% de vidrio reciclado nombrada *LEED GeoGlass* (Glass and Glass, 2020).

En Xiamen, China, Enming Stone ha diseñado la *Piedra de cristal de jade* que pertenece a la línea de paneles de piedra de vidrio (Enming Stone, s.f.). En Zaragoza, España, FCC ámbito ha creado CRISMOL (FCC ambito, s.f.), que significa cristales molidos, como su nombre lo indica son paneles hechos a partir de granos de vidrio en diferentes granulometrías y colores; su actividad económica está vinculada con Ecovidrio y FEVE (FCC ambito, s.f.).

Material compuesto: Sólidos Amorfos

Los elementos químicos, también llamados materia o sustancias, tienen características, propiedades y particularidades únicas. Los estados de agregación de la materia permiten a una o más sustancias formar un compuesto, el cual constantemente reacciona si suma más elementos, que de forma controlada un compuesto o mezcla puede alcanzar una densidad⁶³ estable (Southorn y Sparrow, 2020, p.p. 112 -113).

Existen las mezclas heterogéneas donde la materia es reconocible visualmente y las mezclas homogéneas donde las sustancias se combinan y dejan de ser reconocibles. De esta manera una mezcla puede estar constituida en masa y volumen por un soluto y un solvente, cuya presencia del primero supera al segundo (Gärtner y Gascha, 2010, p. 224).

Reyes (2014), en *Fisicoquímica*, explica que la interacción entre diferentes moléculas en un compuesto se llama adhesión (p.p. 74-75). Las sustancias se adicionan cuando son compatibles químicamente, de modo que las moléculas se enlazan iónica, metálica o covalentemente. Un compuesto, en estado sólido, presenta estos enlaces y esta condición es dada por la intensa unión molecular, lo que resulta complicado de comprimir o modificar. Los enlaces covalentes son “débiles”, ya que los átomos comparten regiones de cargas positivas y negativas, atraídos intermolecularmente por las fuerzas de Van Der Waals⁶⁴.

La estabilidad de la materia se manifiesta en materiales naturales (producidos por la naturaleza) o materiales sintéticos (producidos por la actividad humana). Algunos materiales sintéticos tienen la capacidad de permanecer en estado sólido, cuya agrupación molecular forma una estructura, la cual es cristalina o amorfa; la primera se organiza de forma simétrica (caso de la mayoría de los

⁶³ Las sustancias se caracterizan por tener densidad, que es “el cociente de masa entre volumen es constante y característico de una sustancia específica” (Gärtner y Gascha, 2010, p.221)

⁶⁴ Los electrones en un enlace covalente están limitados en su movimiento, creando una molécula cuya carga negativa no están distribuida uniformemente. La concentración de electrones en un área le da una ligera carga neta positiva en otra parte, un llamado dipolo eléctrico cuyos extremos cargados pueden ser atraídos a las zonas de carga opuesta de moléculas similares, o incluso a iones con una carga mayor (Southorn y Sparrow, 2020, p. 126).

materiales metálicos y cerámicos) y la segunda se organiza asimétricamente (caso de los materiales poliméricos). Los materiales metálicos, cerámicos o poliméricos al combinarse se convierten en materiales compuestos, designados como: metal-cerámico, metal-polímeros y cerámico-polímeros (Contreras et al., 2018, p.p. 23-27).

Los materiales compuestos en general, y de elaboración sintética, están conformados de un componente llamado refuerzo y otro denominado matriz, el cual es mayor en masa y volumen en relación a su otro complemento. Las sustancias sólidas al unirse, debido a la inducción calor y presión, muestran un estado vítreo en donde las moléculas tienen momentos elásticos, lo que provoca orden y desorden molecular que, al enfriarse el compuesto, alcanza un estado sólido o sólido amorfo (Contreras et al., 2018, p.p. 164-168).

Los sólidos amorfos tienen una agrupación molecular asimétrica y pertenecen al orden de los materiales poliméricos, a este orden se integra la familia de los vidrios; aunque estos pertenezcan a la familia de los silicatos del orden de los materiales cerámicos (Contreras et al., 2018, p. 26-27). Un polímero amorfo en esencia es traslucido, mientras que un polímero con opacidad es cristalino; y si tiene un grado alto de cristalización su resistencia mecánica mejora (Contreras et al, 2018, p.125).

Para conveniencia del marco referencial, es necesario mostrar un énfasis sobre los materiales vidrio y resina termoestable. Estos materiales muestran rasgos poliméricos con tendencia a ser sólidos amorfos, los cuales al mezclarse como un material compuesto muestran compatibilidad física y química capaz de cristalizar sin alcanzar estrictamente un estado vítreo.

Vidrio Sintético

El vidrio, como se describe en *Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado*⁶⁵, corresponde a la combinación de minerales fusionadas entre sí, con cualidades

⁶⁵ Véase Cap. Uno: Introducción apartado Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado.

traslucidas, amorfas, no metálicas, rígidas y frágiles (SEDEMA, 2015, p. 6). La descripción del vidrio sintético es limitada generalmente a sus características física o químicas, no obstante, casi siempre se omite que existe una familia de vidrios con características dadas a partir de la formulación de los minerales de cada uno.

Los silicatos⁶⁶ se localizan de forma natural y conservan una estructura cristalina opaca de sílice y oxígeno, que se modifica al inducir calor (Contreras et al., 2018, p.156), al enfriar, la estructura se vuelve amorfa translúcida (Reyes, 2014, p.106). El vidrio sintético adquiere la cualidad amorfa cuando se crea y manufactura (Reyes, 2014, p.106; Contreras et al., 2018, p.156).

Los minerales no metálicos, que componen al vidrio sintético, forman una masa molecular medianamente ordenada, la cual se reordena asimétricamente cuando está en un estado vítreo (Southorn y Sparrow, 2020, p.75). Los minerales se unen por enlaces covalentes, que se adicionan con puntos de fusión bajo, lo que permite conseguir la apariencia rígida de un sólido (Reyes, 2014, p. 67). Pero el estado sólido nunca se alcanza, ya que el vidrio sintético intrínsecamente guarda la condición de un líquido *superenfriado*, de modo que esta propiedad lo hace ser frágil (Reyes, 2014, p. 67; Southorn y Sparrow, 2020, p.75).

La familia de los vidrios son fabricados industrialmente bajo fórmulas estandarizadas (Pearson, 2010, p.p.11-13). Son llamados y referidos como:

- **Vidrio Sodo-cálcico hecho de óxido de sílice** (SiO_2) en 71% a 75%, óxido de sodio 12% a 16% (Na_2O), 10 % a 15% óxido de calcio (CaO) y en porcentaje menores se agregan otros componentes que le aportan propiedades de color.
- **Vidrio plomado compuesto de óxido de sílice** (SiO_2) en 54% a 65%, Óxido de plomo 18% a 38% (PbO), 13% a 15% de Óxido de sodio (Na_2O) o Potasio (K_2O) y otros óxidos. Este tipo de vidrio si contiene menos del 18% de PbO se considera un cristal.

⁶⁶ adj. Geol. De sílice. (RAE, 2021)

- **Vidrio borosilicato creado de Sílice** (SiO_2) en 70% a 80%, ácido bórico en 7% a 13% (B_2O_3), Óxido de sodio en (Na_2O), Óxido de potasio (K_2O) en 4 % a 8% y Óxido de aluminio en un 2% a 7% (Al_2O_3).
- **Vidrios especiales**, complicados de producir, lo cuales, hechos casi totalmente de Sílice (SiO_2); **vidrio de cuarzo** hecho de puro Sílice (SiO_2); **vidrio silicato** o vidrio de silicio formado de sílice (SiO_2) en un 95% más óxido de hierro (Fe_2O_3); **Vidrio aluminio silicato** que contiene óxido de aluminio.

Muchos vidrios son populares y comerciales; otros no. Los vidrios se producen en una gama alta de productos cotidianos, pero constantemente se ignora su procedencia y composición fisicoquímica.

Polímeros

Sánchez (1994), en *Caracterización fisicoquímica de polímeros*, señala que la palabra polímero viene del griego donde *poli* significa: muchos y *meros* significa: partes, es decir *muchas partes* (p.p.15-16). En un sentido figurativo, el polímero es una cadena con un peso molecular alto, cuya estructura es una macromolécula.

Los materiales poliméricos se producen de forma natural o sintética. Los polímeros sintéticos son derivados del petróleo y están subordinados en tres familias: termoplásticos, termoestables (termofijos) y elastómeros (Contreras et al., 2018, p.p. 121-138).

Entre los polímeros termoplásticos se encuentran: el polietileno, el policloruro de vinilo, el polipropileno, el poliestireno, el ABS⁶⁷ y Nylon. Estos materiales reaccionan endotérmicamente ante una fuente de calor, bajo esta condición, la masa del polímero se vuelve líquida y viscosa con propiedades elástica capaz de renovarse.

⁶⁷ Nombre completo Acrilonitrilo-butadieno-estireno (Contreras et al. 2018, p. 126)

Entre los polímeros termoestables se encuentran las resinas, comprendidas en: fenólicas, ureicas, melamina, poliéster y epoxídicas. Estos polímeros son viscosos, mediante catalizadores reaccionan y solidifican, liberando calor exotérmicamente, pero una vez alcanzado el estado sólido es limitado su tratamiento o reciclado.

Dentro de los polímeros elastómeros encontramos los cauchos naturales y cauchos sintéticos; este último es integrado por el caucho estireno-butadieno, el nitrilo y el policloropreno. Estos polímeros al vulcanizar⁶⁸ son elásticos con propiedades de un sólido, es decir, por el estrechamiento de sus moléculas puede estirarse y regresar a su forma original.

Estado del Arte

Los vidrios y los polímeros, extraídos de toneladas de basura, son difíciles de tratar, recuperar y separar como RSU reciclables. Incluso si llegaran a recuperarse, antes que se pierdan en vertederos, están sujetos a subordinarse en clasificaciones y ordenes de materiales para entrar en procesos de *suprarreciclado*. El reciclado de los materiales es complicado porque implica distintas variables operativas para garantizar su proceso de transformación y renovabilidad.

La investigación científica y tecnológica asociada al ecodiseño e innovación se han encargado de intentar allanar el camino para eliminar muchas de esas complicaciones operativas. Algunos intentos se han aventurado a eliminar complejas separaciones, clasificaciones y procesos para derivar en métodos de reciclajes eficientes. Pero pocos son los ejemplos donde la materia residual “impura” de vidrio es aprovechada de forma no convencional, es decir, tratan la materia como insumo y utilizan las reacciones químicas del material para eliminar muchas de las

⁶⁸ Combinar azufre con goma elástica para que esta conserve su elasticidad en frío y en caliente (RAE, 2021)

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

restricciones técnico-productivas, de esta manera se alcanzan métodos innovadores con una mayor reducción de gasto energético.

Compuestos Sintéticos de Vidrio Residual y Polímeros

Rejects of Glass & Plastics Technology (ROGP⁶⁹) es un nuevo bien comercial hecho de la mezcla indistinta de diferentes residuos de vidrio y plásticos (Developmentic Inc., 2020). El producto final busca competir en costos de producción, ecoeficiencia, beneficio ambiental y económico a través de numerosas aplicaciones (Harrouk, 2020). El material compuesto asume el gasto energético y las complicaciones operativas que implica la transformación por separado de sus componentes para llegar a un resultado único, capaz de establecer una solución para el reciclado de ambos residuos (Harrouk, 2020; Developmentic Inc., 2020).

Toxic Glass es un proyecto y solución que aborda el problema del vidrio residual (Form Us With Love [@formuswithlove], 2020). En esta iniciativa el tratamiento y reciclado no es convencional, ya que en el proceso se extraen diferentes tipos de vidrios impuros de vertederos para tratarlos en una limpieza y trituración general para obtener *cullet* de vidrio, después toda esa materia se funde hasta alcanzar una masa amorfa que es moldeada hasta conseguir un objeto de vidrio: en ese caso el estudio de diseño propone tejas de vidrio para uso en paredes (Form Us With Love, 2020, p.p. 144-166).

Extracción de Silicato (SiO_4) del vidrio residual hecho, de los investigadores Rhys Pirie y Damien Batstone. Es un proyecto con un proceso real resguardado por patente cuya tecnología es omitida, pero en el que se sugiere el uso de un proceso químico de descomposición por termólisis⁷⁰, donde los elementos del vidrio se separan y se recupera únicamente los silicatos. Los creadores sugieren que su solución al problema del reciclaje del vidrio puede

⁶⁹Traducción al castellano Rechazos de Tecnología de Vidrio y Plástico.

⁷⁰ **XLII**. Termólisis: Proceso térmico a que se sujetan los residuos en ausencia de, o en presencia de cantidades mínimas de oxígeno, que incluye pirólisis en la que se produce una fracción orgánica combustible formada por hidrocarburos gaseosos y líquidos, así como carbón y una fase inorgánica formada por sólidos reducidos metálicos y no metálicos, y la gasificación que demanda mayores temperaturas y produce gases susceptibles de combustión (LGPIP, 2017, p.7).

involucrarse dentro del marco de la economía circular, ya que la materia regenerada nuevamente puede circular e introducirse a las cadenas productivas y a nuevas actividades económicas (University Of Queensland [UQ], 2019).

Comportamiento de residuo de vidrio molido en cemento mezcla: En un estudio comparativo con micro sílice se explica cómo el material granular de vidrio (en 45 μm procedente de botellas de vidrio) y la micro sílice son mezclados con agua y por separado al cemento portland, con el propósito de conocer el comportamiento de los materiales en pruebas de fluidez y mecánicas. En ambos casos las reacciones puzolánicas⁷¹ aglomeran los materiales cerámicos para volverlos sólidos. Los resultados muestran que la actividad puzolánica es más lenta en el vidrio molido que en el micro sílice, pero esto no aminora la fluidez de los morteros, sino contribuye a la resistencia mecánica, así mismo la composición química y mineralógica de ambos resultados no muestran grandes diferencias; y son asumidos como sílice amorfa. (Trezza y Rahhal, 2018).

Obtención de un material compuesto derivado del vidrio y resina y su proceso de obtención⁷² éste establece bases para el procesamiento de un material compuesto adecuado al margen proporcional de una matriz y refuerzo del desarrollo de la masa y volumen total, de modo que el vidrio ocupa el 70%-75% mientras la resina un 20%-25%. El método prioriza el cálculo de densidades para equilibrar ambas sustancias, pretendiendo ocupar los componentes necesarios para evitar generar mermas. Se emplea resinas poliéster y el vidrio es utilizado indistintamente como un material granular, cada una de las sustancias se aglomeran en moldes prediseñados con relieves de 6mm. Este proceso se caracteriza por formar un material compuesto aprovechando al máximo el vidrio residual en un rango posible, ya que, en un mayor porcentaje, las sustancias no interactúan adecuadamente y en un porcentaje menor, la resina no termina por ajustándose a la densidad del vidrio (González, 2017).

⁷¹ La reacción puzolánica del Hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) o Cal hidratado provoca una reactividad que logra contener un material granular como el vidrio (Trezza y Rahhal, 2018, p.2).

⁷² Modelo de utilidad de autoría propia, con folio MX/u/2017/000503, expedido en 2017 por el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI).

Capítulo Cuatro: Marco Metodológico

La familia de los vidrios, derivado de los RSU, implican medios tecnológicos, productivos y sociales interconectados, que a menudo se auxilian de disciplinas de diseño, para establecer limitaciones de tratamiento, transformación de la materia y métodos de reciclado. Bajo este orden los procesos técnicos y productivos emergen para nuevamente regenerar y renovar los residuos sólidos.

Los vidrios, aunque demuestren su capacidad para ser reciclados, siguen condicionados a limitaciones industriales y fisicoquímicas. Ante estas condicionantes es importante ofrecer otras alternativas que aborden la transformación de la materia, más aún si estas, tienen problemas de reciclaje.

Por tanto, la problematización de los RSU se centra en el accionar de procesadores, emisores y receptores respecto al objeto de estudio VR o VRAL y su reducido aprovechamiento en diferentes sectores con diferentes actores sociales (Cap. Uno). El entendimiento del contexto es una parte de la realidad que se construye en función de un *Marco Teórico-Conceptual* a través de la ciencia y el pensamiento sistémico asociadas al paradigma de desarrollo sostenible dentro del marco de la economía circular (Cap. Dos). De esta manera se desprende un *Marco Referencial* que aborda a las industrias del vidrio sumadas a las corrientes de la economía circular y la comprensión química de un material compuesto de características sólidas y poliméricas, así como el estado del arte que involucra procesos productivos que emplean el vidrio impuro como insumo en la fabricación de diferentes objetos (Cap. Tres). Estos capítulos articulan el desarrollo metodológico que se centra en la transformación, reciclado y fabricación del material compuesto.

Diseño Metodológico

La investigación es experimental con enfoque cuantitativo-extensivo porque la transformación del vidrio (VR -VRAL) se adentra en un campo muy poco explorado. La metodología articula el método de reciclado y fabricación de un material compuesto, bajo los objetivos particulares propuestos en la investigación, cuyo proceso metodológico atravesó por dos momentos: las limitaciones operativas y el comportamiento; y reprocesamiento físico del material compuesto cerámico-polimérico sólido.

Primer momento A´: Las principales limitaciones operativas del remanente vidrio (VR-VRAL) se producen a partir del emisor y receptor, quienes producen causas para que la materia consiga una condición física irreparable. La composición química del vidrio, en su estado sólido amorfo, limitan su fusión, pero no su adhesión a otros materiales del mismo orden familiar. Estas condicionantes fisicoquímicas se toman en cuenta para regenerar el vidrio a un material granular o *cullet*.

Para entender el *cullet* se acude a José Luis Pérez González, miembro fundador de *Cerrando el ciclo A.C.* y conocedor del tema de vidrio, a quién, se le realiza una entrevista semiestructurada-dirigida en temas relacionados a la práctica de reciclado de vidrio, problemas para reciclar la materia y el reto que implica fundir partículas pequeñas de vidrio. Con base a esos datos, la idea de retroalimentación (Echeverri y Franco, 2014, p.p. 47-53) y la de preparación de las materias primas (Contreras et al., 2018, p.p. 241-245; González, 2017), da cabida al objetivo “B” dónde se aborda al reciclado de vidrio y la fabricación de un material compuesto cerámico-polimérico.

Segundo momento B´: La transformación de vidrio (VR-VRAL), aprovechando el comportamiento fisicoquímico residual y compatibilidad covalente a materiales poliméricos, opera en la manipulación de *cullet* y resinas (poliéster y epoxídica); que bajo condiciones de moldeo se fabrica un material compuesto sólido de características rígidas. El diseño experimental configura la mecánica del cuerpo rígido (Gärner y Gascha, p.p. 121-123; Gil, 2014, p.p. 214-237), que deriva en el desarrollo del *Ciclo de Deming* (Gutiérrez y de la Vara, 2012, p.p. 288-293).

El método de fabricación constó de medir un refinado granular (variable independiente) y la adhesión de cargas poliméricas (variable dependiente) para la constitución de un material compuesto (variable interviniente). Estas variables a su vez se evaluaron bajo cinco criterios: reducción de peso, desmolde, solidez, opacidad y calidad de superficie. Además, se diseñaron tres cédulas⁷³ de control de materiales que contienen: el cálculo de materiales, seguimiento de fórmulas y control de valores para la evaluación de determinaciones.

Instrumentos de Investigación y Experimentación

La estrategia de fabricación constó de tres experimentos. En estos se procesaron, calcularon y moldearon los materiales: vidrio (VR – VRAL), resinas poliéster⁷⁴ (RP) y resina epoxídica⁷⁵ (RE) junto a thinner estándar⁷⁶(Th) y acetona⁷⁷ (Ac). Materiales que son la matriz, los refuerzo y los disolventes del material compuesto. Se logra un compuesto sintético cerámico–polimérico con densidad y volumen 72% matriz cerámica y 28 refuerzo polimérico.

Para la fabricación son ocupadas herramientas como: el software de diseño *Rhinoceros 3D versión 6* para la obtención de volúmenes de figuras geométricas, calculadora científica modelo fx-32 marca *Casio*, Tres tamaños de tamiz para pruebas de laboratorio Standard Sieve, un molde de polietileno de alta densidad prediseñado con 12 compartimentos (cada uno de 98 mm de diámetro por 5 mm de altura), una balanza de cocina electrónica con capacidad de 5 kilogramos marca *Metaltex*, recipientes de polietileno con capacidad de un litro marca *Reyma*, recipientes de polietileno graduados a 100 ml, recipientes de forma cuadrada de 50mm por 50mm y utensilios rectangulares para remover y manipular manualmente las mezclas.

⁷³Véase en apartado de Anexos

⁷⁴ Tipo cristal con su catalizador k-2000 comercializada por la marca *Poliformas*, véase en anexos propiedades físicas y químicas.

⁷⁵ Tipo flowcast kit con su componente "B" comercializada por la marca *ecopoxy*, véase en anexos propiedades físicas y químicas.

⁷⁶ Comercializado por la marca *Comex*.

⁷⁷ Comercializado por la marca *Poliformas*.

El método considera elementos de bajo costo. Para aportar una alternativa al aprovechamiento del VR-VRAL, los materiales son procurados para maximizar su capacidad de utilidad.

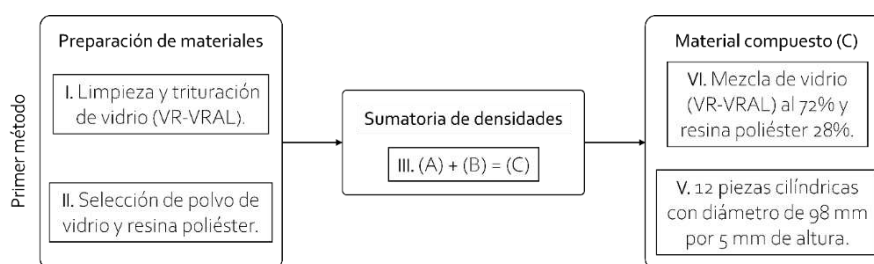
Experimento I

En el experimento I se elaboró un primer método, y sobre este, se trabajó la preparación de materiales y sumatorias de densidades para la constitución de un material compuesto. Dado el rango porcentual del modelo de utilidad MX/u/2d017/000503, el proceso fijo un porcentaje de 72% vidrio y 28% resina para la ejecución de 24 piezas cilíndricas de 98 mm de diámetro por 5 mm de alto. El objetivo principal fue recabar información, que ayudó a retroalimentar la construcción de un primer método.

En una primera secuencia de transformación, los materiales cerámicos se prepararán. Los vidrios se limpian y trituran hasta convertirlo a un material granular o polvo de vidrio. La materia molida, sin refinar, fue combinada por *resina cristal* del tipo poliéster (Tabla 3).

Tabla 3

Primer método de transformación de los materiales, 2021.



Nota: Esquema secuencial del reciclado y obtención de insumo de vidrio para la fabricación del material compuesto.

Para realizar las mezclas de los materiales se consideró la densidad (ρ) relativa⁷⁸ de los mismos, quedando para el vidrio 2.5 g/cm³ (Pearson, 2010, p. 14) y

⁷⁸ Para fines de esta investigación se trabaja con gramos sobre centímetro cubico (g/cm³)

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

para la resina cristal⁷⁹ de 1.22 g/cm³. La suma de las densidades se muestra en la tabla 4, cuyo resultado fue de 1.64 g/cm³.

Tabla 4

Sumatoria de densidades del vidrio y resina poliéster, 2021.

$$\rho = \frac{(M_T)}{(1 m_1 / P_1 \text{ g/cm}^3) + (1 m_2 / P_2 \text{ g/cm}^3)}$$

$$\rho = \frac{2}{(1 / 2.5 \text{ g/cm}^3) + (1 / 1.22 \text{ g/cm}^3)}$$

↓ A ↓ B

$$\rho = 1.64 \text{ g/cm}^3$$

↓ C

Donde:

ρ = densidad total de las sustancias

M_T = masas totales

m_1 = masa uno

m_2 = masa dos

P_1 = densidad uno

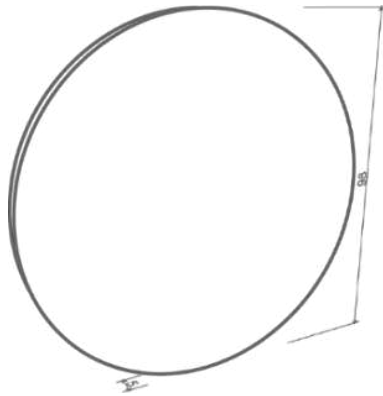
P_2 = densidad dos

Nota: Se realizaron operaciones para obtener un cálculo aproximado de densidad de ambas sustancias, basado en ley de proporciones múltiples (Gärtner y Gascha, 2010, p. 233).

El software Rhinoceros⁸⁰ se empleó para simulaciones de modelos geométricos. Su herramienta de análisis de *propiedades físicas* ayudó a diagnosticar con precisión milimétrica el volumen de cilíndrico 98 mm de diámetro por 5 mm de alto, el cual resulto ser 37.71482 cm³ (Tabla 5).

Tabla 5

Obtención de volumen cilíndrico mediante el uso del software Rhinoceros 6, 2021.



$$\text{Volumen} = 37714.82 (+/- 0.0048) \text{ mm}^3$$

$$\text{Volumen} = \frac{37714.82 \text{ mm}^3}{1000}$$

$$\text{Volumen} = 37.71482 \text{ cm}^3$$

⁷⁹ Véase Hoja de datos de seguridad en https://www.poliformas.mx/front/files/pdf/pdfFicha_PP-CRISTALPREPARADA75186.pdf

⁸⁰ Véase en <https://www.rhino3d.com/es/>

La densidad de 1.64 g/cm³ y el volumen 37.71482 cm³ son datos relativos de las sustancias cerámica y polimérica poliéster. A partir de la sumatoria de densidades y volumen, como se muestra en la tabla 6, se obtuvo una masa de 61.852 gramos.

Tabla 6
Cálculo de masa, 2021.

$$m = (\rho)(V)$$

$$m = (1.64 \text{ g/cm}^3)(37.71482 \text{ cm}^3)$$

$$m = 61.852 \text{ g}$$

Donde:

m= masa

ρ = densidad

V= volumen

Nota: Basado en la mecánica de un cuerpo rígido (Gärtner y Gascha, 2010, p. 121).

Una vez obtenido la densidad, volumen y masa se desarrolló el porcentaje de los cuerpos a fabricar en una primera tanda (tabla 7). Para lograr esto primero se tomó la masa de una unidad y se multiplico por 12 (número de piezas que puede contener el molde), lo cual resulto en 742.224 gramos; a este producto se le denominó masa inicial (mi). La masa inicial fue multiplicada por 0.72 (b), y en otra operación, la masa inicial fue multiplicada por 0.28 (c). Los productos de estas operaciones resultaron en los gramos de la matriz y el refuerzo (d).

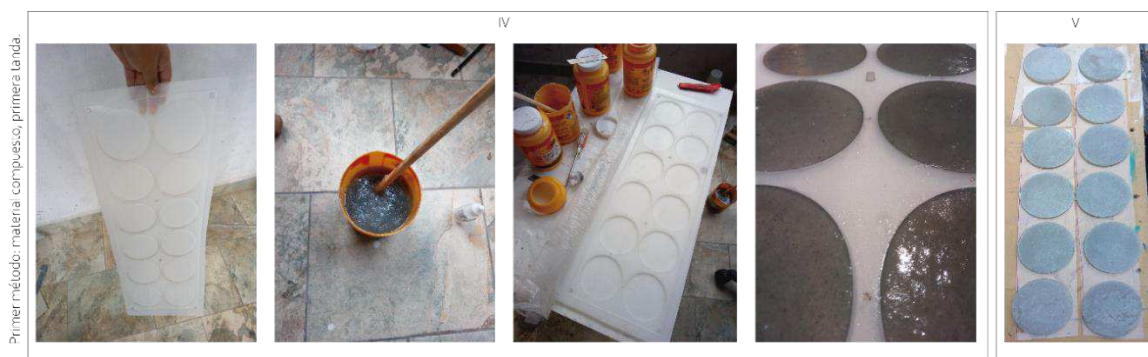
Tabla 7
Porcentaje de masa inicial: 72% material cerámico y 28% material polimérico, 2021.

<p>a. $(m)(12 \text{ u}) = m_i$</p> <p>$(61.852 \text{ g})(12) = 742.224 \text{ g}$</p>	<p>b. $(m_i)(.72) = x$</p> <p>$(742.224 \text{ g})(.72) = 534.40128 \text{ g}$</p>	<p>Donde:</p> <p>m = masa</p> <p>u = numero de unidades</p> <p>mi= masa inicial</p>
<p>c. $(m_i)(.28) = y$</p> <p>$(742.224 \text{ g})(.28) = 207.82272 \text{ g}$</p>		
<p>d. $(x) + (y) = m_i$</p> <p>$(534.40128 \text{ g}) + (207.82272 \text{ g}) = 742.224 \text{ g}$</p>		

Para fines prácticos se redondearon⁸¹ los gramos de los materiales, es decir una matriz de 543 gramos y un refuerzo de 208 gramos, quedando una posible masa inicial de 742 gramos para 12 unidades cilíndricas. En el proceso (ilustración 4), en un molde de polietileno, se materializaron las piezas; la mezcla fue catalizada al 2% respecto a la masa empleada de resina; el compuesto fue mezclado por 2 minutos y vertido sobre la superficie del molde. Después de una hora y quince minutos las piezas se desmoldan y se dejan a la intemperie en un lugar ventilado por al menos 3 horas más. Los contenedores son limpiados con Th y estopa.

Ilustración 4

Primera tanda Secuencia IV y V del primer método, 2021.



Nota: Registro fotográfico de la primera tanda.

La primera tanda fue lograda y permitió asentar tres situaciones. Primero, trascurrido el secado, las piezas se pesaron en conjunto, cuyo producto resultó en 681g y respecto a su mi redujo 61g equivalente al 8.2%; esta reducción pudo producirse porque parte de la mezcla se impregnó en las paredes del recipiente. Segundo, cuando el vidrio fue revuelto con la resina poliéster, los materiales muestran resistencia para ser revueltos con facilidad. Y, por último, las piezas al tacto presentan “un secado incompleto”, lo cual sugiere que la resina no catalizó del todo.

En una segunda tanda (ilustración 5), el proceso del primer método se repitió para la fabricación de 12 unidades más, pero realizando las tres modificaciones

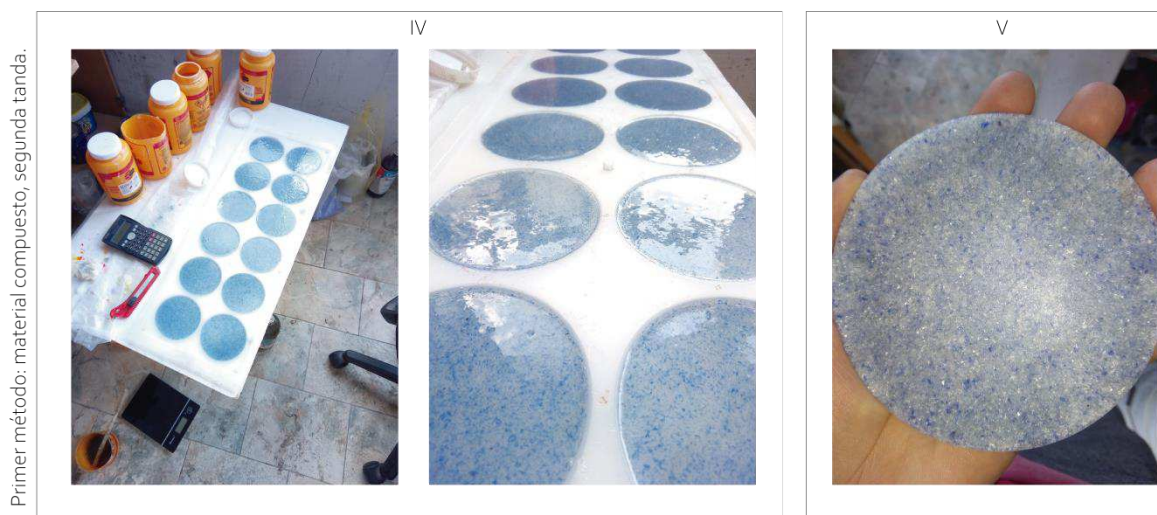
⁸¹ La modificación se da debido a la imitación en gramos de la báscula digital.

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

planteadas con anterioridad. En este caso, las sustancias vidrio-resina impregnadas en los recipientes, las mezclas se guardaron como parte de un remanente residual. Para que la resina fluya se le agrega 3% de disolvente respecto a la masa inicial, es decir, 742 g más 22 gramos de thinner estándar igual a 764 g de masa inicial. Las piezas, en la intemperie, tienen un mayor tiempo de secado.

Ilustración 5

Segunda tanda Secuencia IV y V del primer método, 2021.



Nota: Registro fotográfico de la segunda tanda

La realización de la segunda tanda permite asentar nueva información, ya que la masa final de las unidades en conjunto se reduce, pero en esta ocasión reduce 96g equivalentes al 12.5 % menos de su masa inicial. Aún persiste el material vidrio-resina que se impregna en las paredes del recipiente para mezclar, el cual es pesado y tiene un 3% de la masa inicial. La resina actuó de mejor manera al disolverse con el Th y al tacto el secado fue mejor. No obstante, el Th al no sumarse en las operaciones de densidades y de masa inicial es probable que influyera en la reducción de la masa final.

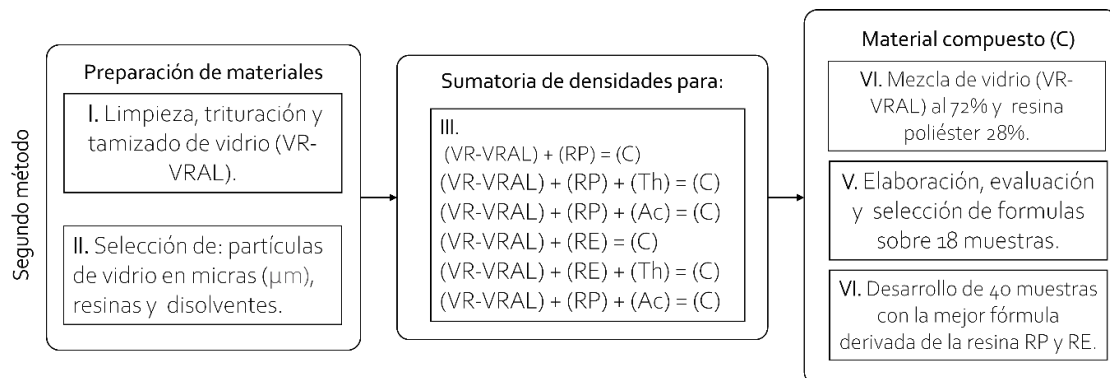
Experimento II

El segundo método se diseñó en relación a la secuencia del primer método, que retoma la preparación de materiales en función a la sumatoria de densidades para el desarrollo del compuesto cerámico-polimérico, pero con cambios adicionales. (Tabla 8).

Estas modificaciones consistieron en medir en micras⁸² (μm) el *cullet* de vidrio con base a la *escala Mesh*⁸³, emplear dos tipos de resinas y se agregó disolventes de Th y Ac, las operaciones de las mezclas se registraron en fichas técnicas. El interés del experimento tiene por fin conocer el comportamiento del material granular vidrio, empleado a 72%, en diferente tamaño y ante dos tipos de cargas poliméricas.

Tabla 8

Segundo método de transformación de los materiales, 2021.



Nota: Esquema secuencial del reciclado y obtención de insumo de vidrio para la fabricación del material compuesto.

El *cullet* de vidrio fue separado en micras de 1.25 mm, 0.6 mm y 0.25 mm equivalentemente a malla no. 16, malla no. 30 y malla no. 65 respectivamente. Los tres tamaños de partículas de vidrio multiplicados por los materiales poliméricos y

⁸² El factor de tamaño de grano de vidrio es determinante en las propiedades mecánicas de los materiales, agregan, un tamaño pequeño puede incrementar la resistencia a la tensión y la dureza del material (Contreras et al., 2018, p. 44)

⁸³ Véase en <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/granulometria-o-numero-de-malla/>

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

disolventes restaron en la creación de 18 formulaciones. A cada mezcla se le asignó un nombre y un registro particular (Tabla 9).

Tabla 9

Combinación de materiales para la creación de 18 formulaciones, 2021.

		Tamiz de VR-VRAL		
		1. No. 16 - 1.25 mm	2. No. 30 - .6 mm	3. No. 65 - .25 mm
Nombre - m	1. 24.6 g	1-1	2-2	3-3
	2. 18.15 g	2-1	2-2	2-3
	3. 18 g	3-1	3-2	3-3
	4. 24.4 g	4-1	4-2	4-3
	5. 17.7 g	5-1	5-2	5-3
	6. 17.7 g	6-1	6-2	6-3

En este experimento se replicaron 18 figuras de 50 mm por 50 mm por 6 mm, cada una con una dimensión de 15 cm³ centímetros cúbicos. Pero la sumatoria de densidades y la masa inicial permitió que la constitución, rigidez masa final fue distinta en cada unidad (Tabla 10).

Tabla 10

Registro de material compuesto cerámico - polimérico (C) en relación a 18 muestras, 2021.

		Cara inferior			Cara superior		
Material compuesto (C)	1. (VR-VRAL) + (RP) = (C)	1-1	2-2	3-3	1-1	2-2	3-3
	2. (VR-VRAL) + (RP) + (Th) = (C)	2-1	2-2	2-3	2-1	2-2	2-3
	3. (VR-VRAL) + (RP) + (Ac) = (C)	3-1	3-2	3-3	3-1	3-2	3-3
	4. (VR-VRAL) + (RE) = (C)	4-1	4-2	4-3	4-1	4-2	4-3
	5. (VR-VRAL) + (RE) + (Th) = (C)	5-1	5-2	5-3	5-1	5-2	5-3
	6. (VR-VRAL) + (RP) + (Ac) = (C)	6-1	6-2	6-3	6-1	6-2	6-3

En el proceso de fabricación surgieron algunos aspectos reveladores. En una primera instancia el tiempo de curado se vuelve un factor en contra, pues algunas piezas no consiguen rigidez en un lapso de tiempo entre 40 minutos a 24 horas, siendo los compuestos pertenecientes a la RE los que toman mayor tiempo de curado. En el caso del vaciado de las sustancias sobre los moldes genera malformaciones en caras superiores, mientras que para algunas piezas la afección ocurre en ambas caras. Las mezclas con disolventes “*adelgazan*” los materiales poliméricos, pero su implementación no favoreció como se esperaba, por lo que se descartan. El modo de revolver las mezclas ocasionó generar burbujas de aire, estas “imperfecciones” tuvieron mayor presencia en mezclas derivadas de la RE que de las mezclas RE, estas a su vez podrían ser el factor que modifique la estabilidad rígida de los compuestos.

Los datos obtenidos a través de la evaluación de la reducción de peso, desmolde fácil, solidez alta, opacidad y calidad de las superficies, fueron desprendidos como características físicas propias de cada material (Tabla 11). Estos atributos muestran su probabilidad de producción, más no su viabilidad en algunos casos. El registro de fecha de fabricación, nombre de la pieza, masa inicial y masa final, reducción en gramos, hora de vaciado, hora de desmolde y el tiempo relativo de curado entre el vaciado y el desmolde ayudó a descartar 16 de las 18 fórmulas planteadas en el segundo método (Tabla 12). Esta separación condujo a decantarse por las características de las 1-2 y 4-1, a las que se les llamo fórmula 1 y fórmula 4.

Tabla 11

Tabla de evaluación, registro de material compuesto cerámico - polimérico (C) en relación a 18 muestras, 2021.

Tabla de evaluación según sus características físicas															
Fórmula	Reducción de peso			Desmolde fácil			Solides alta			Opacidad			Calidad de la superficie		
	16	30	65	16	30	65	16	30	65	16	30	65	16	30	65
Malla															
1	x	x			x		x	x	x			x	x	x	
2	x	x		x			x					x	x	x	
3	x	x		x					x			x			x
4	x					x	x	x	x			x	x		
5		x	x		x		x					x	x		
6	x			x								x			x

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

Tabla 12

Registro de valoración de 18 fórmulas.

Fórmula	Mesh	Apertura (mm)	Mesh	Apertura (mm)	Mesh	Apertura (mm)
	Malla 16	1.25	Malla 30	0.6	Malla 65	0.25
1 17.712 g. VRAL (72%) + 6.888 g. RP (28% - catalizador K-2000 al 4% (10 gotas)) = 24.6	Fecha:190121 Nombre: 1-1 Masa inicial: 24.6 g. Masa final: 20 g. Reduce: 4.6 g. Hora inicial: 3:28 pm Hora final: 4:32 pm Desmolde: 60 min.	Fecha: 190121 Nombre: 1-2 Masa inicial: 24.6 g. Masa final: 20 g. Reduce: 4.6 g. Hora inicial:4:02 pm Hora final: 4:43 pm Desmolde: 41 min.	Fecha: 190121 Nombre: 1-3 Masa inicial: 24.6 g. Masa final: 21 g. Reduce: 3.6 g. Hora inicial: 4:13 pm Hora final: 5:08 pm Desmolde: 55 min.			
2 13.068 g. VRAL (72%) + 4.5375 g. RP (25%- catalizador k-2000 ((10 gotas)) +.5445 Th (3%) = 18.15 g	Fecha: 190121 Nombre: 2-1 Masa inicial: 18.15 g. Masa final: 14 g. Reduce: 4.15 g. Hora inicial: 4:33 pm Hora final: 5:18 pm Desmolde: 45 min.	Fecha: 190121 Nombre: 2-2 Masa inicial: 18.15 g. Masa final: 14 g. Reduce: 4.15 g. Hora inicial: 4:42 pm Hora final: 5:39 pm Desmolde: 59 min.	Fecha: 190121 Nombre: 2-3 Masa inicial: 18.15 g. Masa final: 15 g. Reduce: 3.15 g. Hora inicial: 5:25 pm Hora final: 6:15 pm Desmolde: 50 min.			
3 12.96 g. VRAL (72%) + 4.5 g. RP (25%- catalizador k-2000 al 4% (10 gotas))+.54 Ac (3%) = 18 g.	Fecha: 190121 Nombre: 3-1 Masa inicial: 18 g. Masa final: 14 g. Reduce: 4 g. Hora inicial: 5:25 pm Hora final: 6:16 pm Desmolde: 51 min.	Fecha: 190121 Nombre: 3-2 Masa inicial: 18 g. Masa final: 14 g. Reduce: 4 g. Hora inicial: 5:51 pm Hora final: 7:16 pm Desmolde: 1 h. 25 min.	Fecha: 190121 Nombre: 3-3 Masa inicial: 18 g. Masa final: 16 g. Reduce: 2 g. Hora inicial: 6:06 pm Hora final: 7:17 pm Desmolde: 1 h. 11 min.			
4 16.848 g. VRAL (72%) + 6.552 g. RE (28% A 4.4368 - B 2.184)= 23.4 g	Fecha:200121 / 210121 Nombre: 4-1 Masa inicial: M = 24.4 g. Masa final: 17 g. Reduce: 6.4 g. Hora inicial: 2:00 pm Hora final: 11:33 am Desmolde: 21 h. 33 min.	Fecha: 200121 / 210121 Nombre: 4-2 Masa inicial: M = 24.4 g. Masa final: 21 g. Reduce: 4.4 g. Hora inicial: 2:08 pm Hora final: 11: 14 am Desmolde: 21 h. 6 min.	Fecha: 200121 / 210121 Nombre: 4-3 Masa inicial: M = 24.4 g. Masa final: 21 g. Reduce: 4.4 g. Hora inicial: 2:17 pm Hora final: 11: 17 am Desmolde: 21 h.			
5 12.744 g. VRAL (72%) + 4.425 g. RE (28% (A 2.95-B 1.475)) +.531 Th (3%) = 17.7 g.	Fecha: 200121 / 210121 Nombre: 5-1 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 15 g. Reduce: 2.7 g. Hora inicial:2:28 pm Hora final: 1:31 pm Desmolde: 23 h. 59 min.	Fecha: 200121 / 210121 Nombre: 5-2 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 14 g. Reduce: 3.7 g. Hora inicial: 2:55 pm Hora final: 12:00 pm Desmolde: 22 h. 55 min.	Fecha: 200121 / 210121 Nombre: 5-3 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 14 g. Reduce: 3.7 g. Hora inicial: 2:43 pm Hora final: 1:30 pm Desmolde: 23 h. 13 min.			
6 12.744 g. VRAL (72%) + 4.425 g. RE (28% (A 2.95-B 1.475)) +.531 Ac (3%) = 17.7 g.	Fecha: 220121 / 230121 Nombre: 6-1 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 14 g. Reduce: 3.7 g. Hora inicial: 1:27 pm Hora final: 7:11 pm Desmolde: 29 h. 44 min.	Fecha: 220122 / 230121 Nombre: 6-2 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 15 g. Reduce: 2.7 g. Hora inicial: 1:46 pm Hora final: 7:50 pm Desmolde: 30 h. 4 min.	Fecha: 220122 / 230123 Nombre: 6-3 Masa inicial: 17.7 g. Masa final: 16 g. Reduce: 1.7 g. Hora inicial: 1:55 pm Hora final: 10:33 pm Desmolde: 32 h. 28 min.			

La evaluación y lectura de las muestras se expresó de la siguiente manera:

- La fórmula 1 funciona mejor al trabajar con la Malla No. 30: tiene mayor reducción de peso, desmolda fácil, presenta solidez alta, no tiene opacidad y mantiene calidad en su superficie.
- La fórmula 2 funciona mejor al trabajar con la Malla No. 16: tiene mayor reducción de peso, desmolda fácil, presenta solidez alta, no tiene opacidad y mantiene calidad en su superficie.
- La fórmula 3 presenta anomalías en su constitución rígida
- La fórmula 4 funciona mejor al trabajar con la Malla No. 16: tiene mayor reducción de peso, su desmolde es retardado, presenta solidez alta, carece de opacidad y mantiene calidad en su superficie.
- La fórmula 5 presenta anomalías en su constitución rígida.
- La fórmula 6 presenta anomalías en su constitución rígida.

La legitimación de la fórmula 1 y la fórmula 4 se produjo en la realización de 20 unidades por cada fórmula, lo que dio un total de 40 unidades. El interés se centra en conocer el porcentaje de reducción entre la masa inicial y masa final por unidad, así como, la masa inicial y masa final de forma general. Cada unidad tiene un volumen de 15 cm³ y fueron pesadas de manera particular y en conjunto.

La primera fórmula (1) de compuesto: vidrio *cullet* al 72% y RP al 28% con una densidad de 1.64 g/cm³ y una masa inicial para 20 unidades resultó de 492 g. La reducción entre la masa inicial y la masa final tiene una media de 5.25% y de forma general tiene una reducción relativa del 12% (Tabla 13)

La segunda fórmula (4) de compuesto: vidrio *cullet* al 72% y RE al 28 con una densidad de 1.56 g/cm³ y una masa inicial de 20 unidades resultó de 468 g. La reducción entre la masa inicial y la masa final tiene una media de 4.4 % y de forma general tiene una reducción relativa del 18% (Tabla 14).

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

Tabla 13

Registro de las 20 muestras derivadas de la fórmula 1 (1-2), 2021.

Fórmula 1 / Malla 30 (1-2) 17.732 g. VRAL (72%) + 6.888 g. RP (28% -catalizador K-2000 al 4% (10 gotas)) = 24.6 g.				
u	p	mi	masa final	reducción
1	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
2	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
3	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
4	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
5	1.64 g/cm ³	24.6 g.	23 g.	5.6%
6	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
7	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
8	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
9	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
10	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
11	1.64 g/cm ³	24.6 g.	20 g.	4.9%
12	1.64 g/cm ³	24.6 g.	22 g.	5.4%
13	1.64 g/cm ³	24.6 g.	23 g.	5.6%
14	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
15	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
16	1.64 g/cm ³	24.6 g.	20 g.	4.9%
17	1.64 g/cm ³	24.6 g.	20 g.	4.9%
18	1.64 g/cm ³	24.6 g.	21 g.	5.1%
19	1.64 g/cm ³	24.6 g.	23 g.	5.6%
20	1.64 g/cm ³	24.6 g.	23 g.	5.6%
Total		492 g.	431 g.	12.398 %

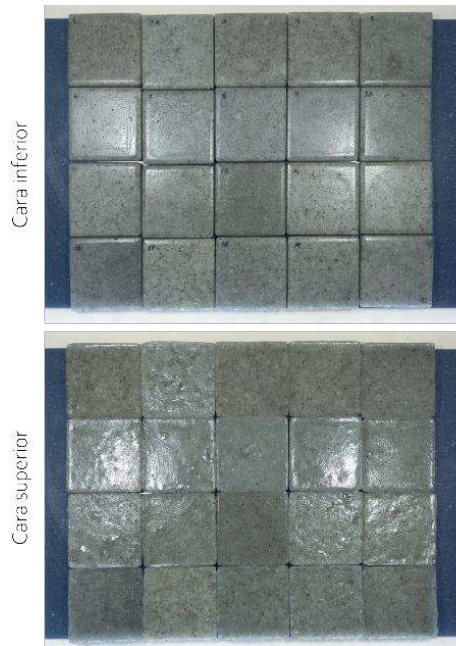
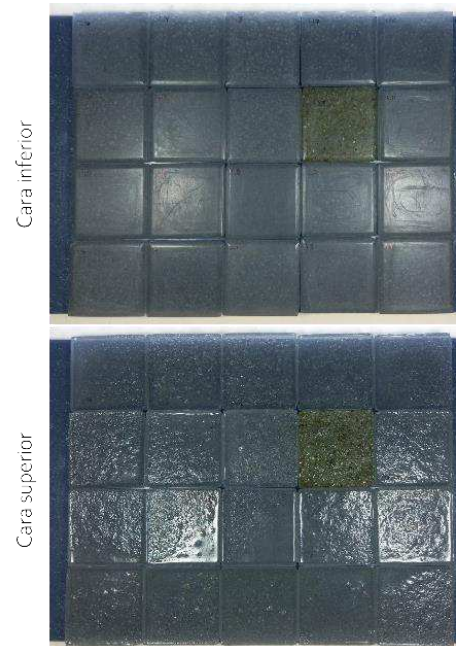
Media de reducción
por unidad: 5.25%

Tabla 14

Registro de las 20 muestras derivadas de la fórmula 4 (4-1), 2021.

Fórmula 4 / Malla 16 (4-1) 16.848 g. VRAL (72%) + 6.552 g. RE (28% A 4.4368 - B 2.184) =23.4 g				
u	p	mi	masa final	reducción
1	1.56 g/cm ³	23.4 g.	21 g.	4.9 %
2	1.56 g/cm ³	23.4 g.	20 g.	4.6%
3	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g	4.4%
4	1.56 g/cm ³	23.4 g.	18 g.	4.2%
5	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
6	1.56 g/cm ³	23.4 g.	18 g.	4.2%
7	1.56 g/cm ³	23.4 g.	20 g.	4.6%
8	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
9	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
10	1.56 g/cm ³	23.4 g.	18 g.	4.2%
11	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
12	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
13	1.56 g/cm ³	23.4 g.	18 g.	4.2%
14	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
15	1.56 g/cm ³	23.4 g.	20 g.	4.6%
16	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
17	1.56 g/cm ³	23.4 g.	18 g.	4.2%
18	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
19	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
20	1.56 g/cm ³	23.4 g.	19 g.	4.4%
Total		468 g.	380 g.	18.803 %

Media de reducción
por unidad: 4.4%

Las cuarenta piezas al solidificarse mostraron un patrón de “burbujas” (ilustración 6). Esta condición se produjo al instante de ser revueltos los materiales, acción que atrapo aire y durante la solidificación ya no pudo liberarse. Esta característica pudo observarse a contraluz y se manifestó en menor grado en piezas

de la fórmula 1, no obstante, estas piezas fueron fabricadas con *cullet* refinado a malla 30 y al ser partículas muy pequeñas permitió escapar el aire capturado, a diferencia de las piezas hechas con el *cullet* tamaño 16. De este atributo puede deducirse que un *cullet* muy refinado no atrapa en su interior tanto aire como para generar demasiadas “burbujas”, además esta condición puede ser positiva si se le percibe como un atributo estético.

Ilustración 6
Burbujas, 2021

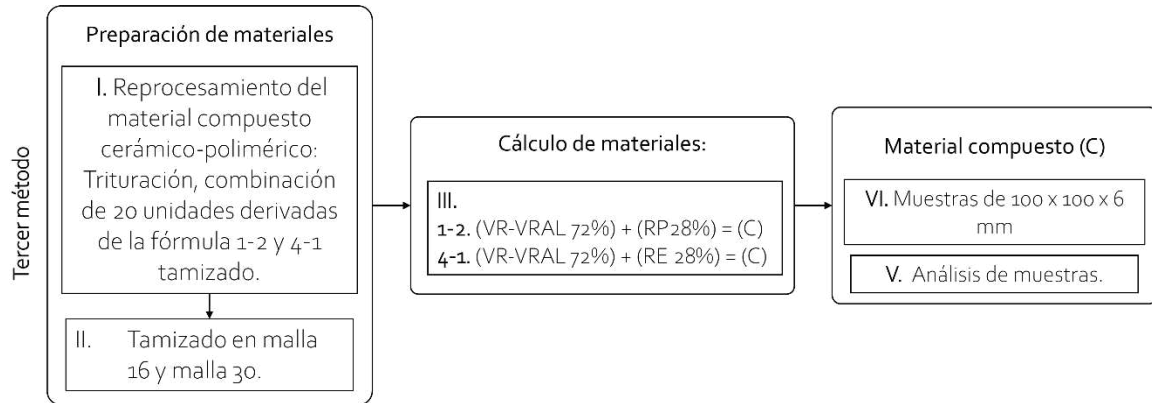


Nota: Detalle patrón de burbujas generadas durante la mezcla de sustancias, burbujas de piezas de la fórmula 1 y Burbujas de la fórmula 4 (de izquierda a derecha).

Experimento III

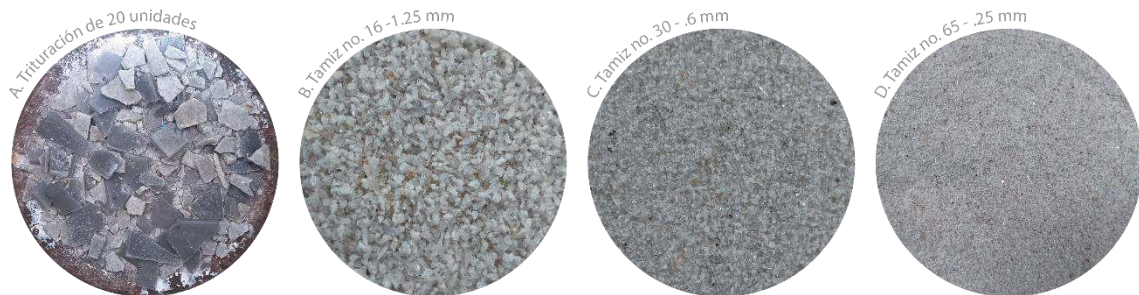
El tercer método se diseñó entorno a la preparación de materiales, cálculo de materiales y material compuesto del realizado experimento II (tabla 15). En este caso fueron reprocesados 20 de las 40 unidades derivadas de la fórmula 1-2 y fórmula 4-1. Las piezas seleccionadas se transformaron a un material granular y fue tamizado en granulometrías de 1.25 mm y 0.6 mm. El producto, una vez refinado, se integró a cargas poliméricas de resina poliéster y resina epoxídica bajo las denominadas formulaciones 1-2 y 4-1, en una figura de 100 mm x 100 mm 6 mm; con una dimensión de 60 cm³.

Tabla 15
Ruta de reprocesamiento, 2021.



La destrucción de las piezas fue hecha con objetos rudimentarios y pesados que ejercieron presión sobre los objetos al moler. La molienda, en un principio, se trató de realizar con todas las piezas juntas, pero después la estrategia cambió porque algunas de ellas no se destruían fácilmente y se optó por moler la materia en partes. Las unidades hechas con resina epoxídica y *cullet* de vidrio ponían mayor resistencia en relación a sus similares de la fórmula 1. El material compuesto cerámico-polimérico molido, fue tamizado y separado en números de malla 16, 30 y 65 (ilustración 7)

Ilustración 7
Secuencia de transformación del material cerámico-polimérico, 2021.



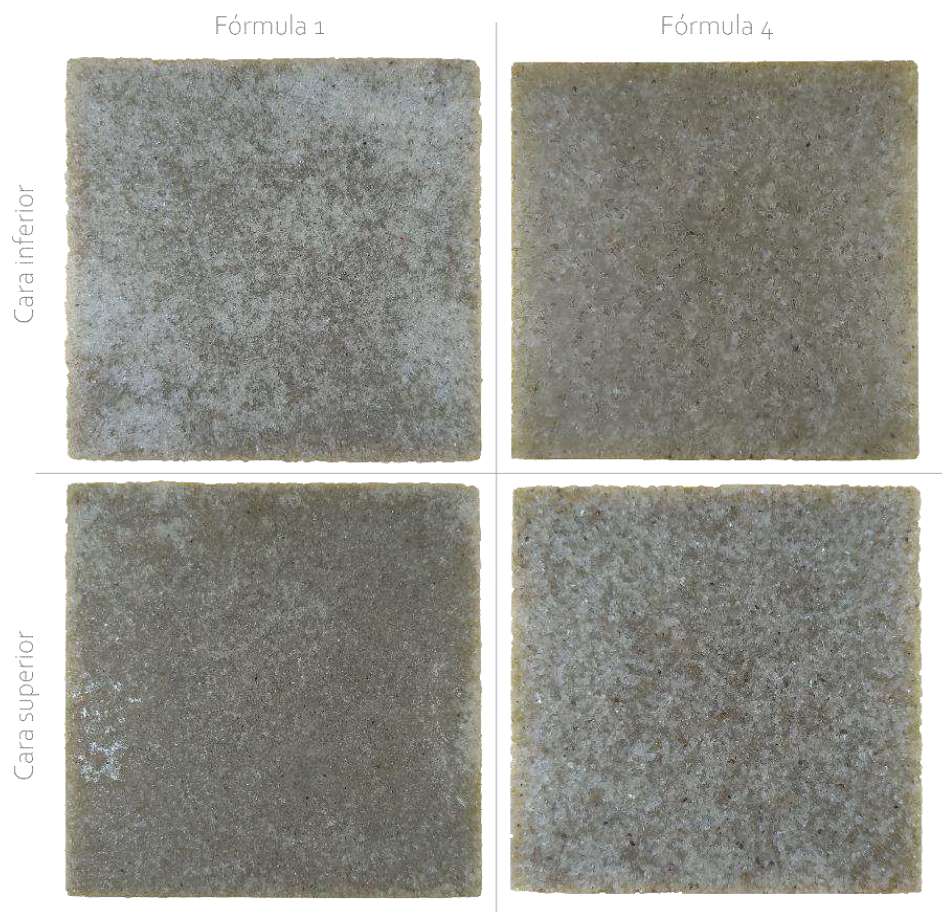
Nota: Registro de los materiales compuestos y su refinado en tres tamaños de tamiz.

Los remanentes malla 16 y malla 30, respectivamente, se combinaron con resina epoxídica y poliéster. Los materiales fueron combinados bajo las denominadas fórmulas 1 y 4. La mezcla de la fórmula 1 tuvo una masa inicial de

98.4 g y terminó con una masa final de 83 g, cuya reducción fue de 15.4 g relativamente. La mezcla de la fórmula 4 tuvo una masa inicial de 93.6 g y terminó con una masa final de 61g, cuya reducción fue de 32.6g relativamente. Las calidades de los productos eran diferentes entre sí, es decir las caras inferiores eran lisas y con huecos, las caras superiores no eran lisas sino rugosas. Estas diferenciaciones indicaron, que las resinas al mezclarse, no fluyeron del todo bien en diferentes partes y causaron tonalidades claras y oscuras (Ilustración 8).

Ilustración 8

Productos finales del reprocesamiento de los materiales compuestos, 2021.



Las piezas se expusieron a contraluz artificial para conocer si mostraban rasgos de “burbujas”. La emisión de luz fue de 6500 grados Kelvin con un flujo luminoso de 800 lúmenes. La luz fue puesta por debajo de la pieza y resaltó

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

superficies con cráteres con pocos rastros de burbujas. No obstante, las piezas resaltan un tipo de opacidad, que se produce por el tamaño de grano, donde la luz es más clara en la pieza de la fórmula 4.

Ilustración 9

Registro de luminosidad, 2021.



Resultados

Mediante la investigación experimental se concretó, a través de diferentes pasos, una propuesta en la que es transformado el Vidrio Residual (VR o VRAL). Esta iniciativa parte del tratamiento de la mayoría de vidrios sobrantes, quedados como basura; a excepción de aquella materia con probabilidad de desprender sustancias tóxicas, volátiles o disolventes que comprometan la salud de procesadores, emisores o receptores. La materia tratada en un proceso en frío, sirve en la

fabricación con dos variedades de materiales compuestos cerámico–polimérico rígidos, que desde una perspectiva química consideramos como un material compuesto polimérico.

A partir de la experimentación, específicamente del segundo, el vidrio se comportó diferente al combinarlo con las sustancias RP y RE. La mezcla de los materiales para obtener cuerpos rígidos pudo generar fallas técnicas que resultarían benéficas para lograr dos fórmulas estables. En este sentido, las partículas de vidrio superior a 0.25 mm no permitieron una adecuada interacción entre las sustancias RP y RE además de desarrollar imperfecciones en la mayoría de las caras. En caso opuesto, las partículas menores a 1.25 mm al mezclarse con las sustancias RP y RE resultaron en cuerpos rígidos irregulares.

La propuesta, además, clasifica entre otros residuos, a la familia de los vidrios para después limpiarlos y eliminar sustancias que no pertenezcan a la materia. El vidrio seleccionado es triturado indistintamente (o si se requiere se separa por colores), hasta alcanzar una condición de un material granular milimétrico que pueda tamizarse con facilidad. Es recomendable emplear mallas metálicas para este proceso de tamizado, requiriendo adicionalmente un refinado particular mediante el uso recomendado de mallas de acero inoxidable de laboratorio diseñadas bajo una escala Mesh.

El vidrio, una vez hecho *cullet*, es preparado de acuerdo a las mezclas a usar. En este método se recomienda usar la fórmula 1 (partícula de vidrio con tamaño a 0.6mm y resina poliéster) y la fórmula 4 (partícula de vidrio con tamaño 1.25 y resina epoxídica), ambas usando una matriz de vidrio al 78% y un refuerzo polimérico al 28%. La mezcla resultante es vertida en moldes prediseñados, con un volumen previamente calculado, para después desmoldarlo pasado 1 a 24 horas; tiempo relativo de curado. El resultado final es un material compuesto de estado sólido y quizás también amorfo, de textura aparentemente rugosa ligeramente translúcida, levemente opaca y con burbujas de aire incrustadas visibles.

El material compuesto puede transformarse a un material granular con el mismo proceso por el que fue creado, es decir, mediante su limpieza, trituración y

tamizado. El remanente recuperado se constituye con resinas poliéster o epoxídica. No obstante, la regeneración del material compuesto no es factible si se realiza bajo este método, ya que se producen malformaciones durante el procesamiento a causa de una deficiencia integración de los materiales.

En esta propuesta el vidrio no tuvo un precio económico, mientras que los insumos poliméricos si lo tuvieron. La resina poliéster fue más asequible en comparación al precio de la resina epoxídica. Respecto al costo de los moldes es variable, ya que estos pueden adquirirse previamente hechos o pueden diseñarse; esta última opción supone una mayor inversión y coste de producción por su diseño y elaboración industrial. La báscula digital, calculadora científica, instrumentos para realizar mezclas y mallas de laboratorio son herramientas indispensables que tienen un costo alto dependiendo de su fabricante y precisión, no obstante, estos equipos pueden ser sustituidos por herramientas de menor costo con capacidad aceptable para realizar las acciones básicas como: pesar, calcular, contener y tamizar. El valor de un cuerpo rígido será determinado en función de los elementos que requiera para la fabricación de los mismos y la capacidad de producción.

En las etapas experimentales se demostró, que, a partir de instrumentos rudimentarios, el vidrio puede ser regenerado en un proceso en frío de moldeo sin el uso de una fuente energética como la que se emplea en la fundición. Sin embargo, el proceso no es perfecto, ya que en la fabricación de sólidos emergen malformaciones como las burbujas de aire, que a diferencia de un proceso de ingeniería, podrían ser un problema de calidad; no obstante, estéticamente resulta un detalle interesante para la decoración. La solución a la aparición de estas burbujas es el empleo de cámaras de vacío, que extraigan el aire atrapado en las mezclas, su implementación sería parte de la mejora del método, mediante esta instrumentalización el proceso de reciclado, fabricación y costo se hacen más eficientes y productivos contando con una infraestructura productiva mejorada.

Estas contribuciones al método buscan además sumarse a la recuperación, tratamiento y regeneración del residuo vidrio para su conversión a material granular. En ese estado el uso de *cullet* de vidrio puede combinarse con otros materiales

cerámicos, metálicos o poliméricos y producir cuerpos rígidos con diseños y funcionalidades versátiles. Y, por otra parte, el método es también una alternativa precursora en un campo poco explorado, con un enfoque técnico-productivo que ofrece una respuesta y salida a un problema residual derivado de las externalidades de los actores sociales involucrados.

La propuesta, a diferencia de los referentes⁸⁴ **Rejects of Glass & Plastics Technology y Toxic Glass**, es diferente porque es un proceso en frío y de bajo costo que llega a formar un material compuesto prospectivo a diseños y utilidades múltiples. Cabe destacar que por tecnología, dichos proyectos, alcanzan mejores resultados en cuanto a técnica, producción y propuestas, cualidades que son más atractivas en el marco del desarrollo sostenible, economía circular, ecodiseño, tratamiento y gestión del VR o VRAL.

José, el director de *Cerrando el Ciclo*, al compartir su experiencia con el *suprarreciclaje e infrarreciclaje* de botellas de vidrio ayuda a brindar claridad sobre el asunto de la basura de vidrio, desde su experiencia él relata que realmente el vidrio no tiene la importancia, ni el valor, ni la recuperación que debería tener como un residuo altamente reciclable, lo que provoca desinterés de su tratamiento entre los procesadores, emisores y receptores. Además, añade, que el estricto control que existe para crear vidrio no permite fundir vidrio aleatoriamente, si no es a través de ciertas especificaciones, que de no hacerse como los procesadores recomiendan puede resultar en problema productivos y económicos altos; lo que orilla a los productores a continuar usando mayormente materiales puros que reciclados. También expone que existe un problema en la degradación de la materia, en el *infrarreciclaje* ya que, si se alarga en cascada el ciclo de vida de la materia vidrio, ésta en cada transformación perderá su pureza. El vidrio, aunque sea similar visiblemente no lo es, y es necesario analizar estas incompatibilidades existentes entre vidrios, incluso si son de la misma familia puesto que estas diferencias crean situaciones desfavorables en el reciclaje de la materia.

⁸⁴ Véase Cap. Tres: Estado del Arte.

Conclusiones y Comentarios Finales

El desarrollo de un pensamiento sistémico contribuye a la solución de un problema como el RSU de vidrio, al mitigar su impacto en el medio receptor, para aprovechar la materia como un bien en exceso que se pierde por diferentes circunstancias. A consecuencia de esta situación, se pone de manifiesto la alternativa técnico-productiva para el aprovechamiento del VR-VRAL a partir de su entendimiento fisicoquímico de la materia, el cual, en vías de desarrollo, busca impactar, contribuir e integrarse a cadenas productivas de bajo costo inmersa en las economías de flujo promovidas de forma local y asociado a un discurso medioambiental de regeneración de materiales residuales apegado a la sostenibilidad y a la economía circular.

La mayor limitación del vidrio es su constitución físico-química y la incompatibilidad de fundición entre vidrios, pues en el reciclaje, la materia impura no puede fundirse sin antes no haberse limpiado; pero esa limpieza implica estrictas separaciones de clases de vidrios. Otros problemas es el estado físico posconsumo de vidrio, que como basura queda a la deriva en diferentes partes y su poca rentabilidad no lo hace atractivo para ser tan valorizado por los recicladores de vidrio. En este sentido la transformación del vidrio a *cullet* mitiga esta limitación y le aporta una nueva valoración a la materia, que, bajo la propuesta elaborada en el presente documento, demuestra que esa materia puede aprovecharse y rentabilizarse. El material granular (Ilustración 10), como un residuo restaurado, puede ofrecer distintas soluciones y valorizarse en diferentes campos del diseño (no solo como matriz), es decir el material podría diversificarse y emplearse en filtros de agua, procesos corrosivos de sandblast o como estuco decorativo.

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

Ilustración 10

Transformación del VR o VRAL a un del material compuesto cerámico – polimérico en diferentes objetos



La hipótesis de la investigación se comprobó, aunque de manera sesgada, ya que los instrumentos que la validan son limitados y rudimentarios. Que de haberse contado con herramientas de precisión especializadas cabe la posibilidad que los resultados hubieran sido mejores. En relación a la granulogía de vidrio, el cullet tamizado en malla 65 (.25 mm) presento menor adhesión a los polímeros al grado de no mezclarse totalmente, mientras que los tamices malla 30 (.6 mm) y malla 16 (1.25 mm) funcionan establemente a las mezclas de los polímeros. Se cree que un tamiz menor a .25 mm no puede mezclarse a polímeros bajo la propuesta planteada, por tanto, su uso no es viable.

El VR o VRAL no solo implica recuperar el vidrio, sino generar además las vías de comunicación entre los emisores y receptores para hacerlos conscientes del aprovechamiento del vidrio mediante otros procesos. Al ser precisamente ellos el enlace que contribuye a la circularidad del vidrio y a sus procesos productivos, y en menor o mayor están comprometidos grado con ecología, el ecodiseño y el tratamiento de residuos.

El material compuesto creado en esta investigación es cerámico-polimérico, pero de acuerdo a la perspectiva, es un **compuesto polimérico**. El uso mínimo de polímeros sintéticos en la investigación se debe a la **compatibilidad covalente** que comparte con el vidrio, dicha covalencia de los materiales, aunque sea un enlace débil, **constituye a un compuesto sólido capaz de sustituir diferentes objetos cuyo resultado no podría igualar un polímero de origen orgánico**. Esta perspectiva permite experimentar sobre la capacidad de interacción, que ambos materiales tienen, en la formación de materiales compuestos sólidos amorfos. Sin embargo, no se descarta la posibilidad de explorar **otro RSU de aprovechamiento limitado**, que compartiera esa característica covalente del vidrio y su versatilidad para transformarse en procesos en “frio”. Tal vez, bajo esas condiciones, el desarrollo técnico-productivo de esta propuesta prescindiría del uso de polímeros termofijos y se centraría en los remanentes residuales poliméricos, en busca de la panacea y aprovechamiento de remanentes cerámicos y poliméricos para la formación de superficies rígidas.

El uso del material creado es versátil, donde una de sus propiedades a explotar es su translucidez, pero de forma más concreta el material contribuye a la formación de laminados, los cuales son útiles en diferentes sectores productivos. Otro uso recomendado es el diseño de objetos como lucernarios, macetas, portavasos, relojes entre otros bienes económicos utilitarios.

De igual manera, la discusión sobre el uso de los polímeros será controversial por el riesgo que representa su extracción, elaboración, consumo como un bien económico, su ciclo de vida y la contaminación que ocasiona en todos los procesos, lo que produce externalidades capaces de afectar a los medios receptores, el desarrollo ecológico y las actividades humanas. En el caso de los polímeros termofijos, que son usados en la investigación, se dice que no son reciclables porque al solidificarse no pueden volver a regresar a su estado inicial (líquido viscoso), pero con un tratamiento rudimentario puede volver a usarse como un material granular. Con esto no se aboga por los polímeros, sino por el uso claramente racional de los materiales poliméricos que de alguna forma representan bienes económicos dispensables en diferentes sectores productivos de la

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

población, por tanto, su producción y consumo suma a la creación de una conciencia ecológica entre las dimensiones de la sostenibilidad.

La investigación *Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)* considera pocos factores multidimensionales. No obstante, la indagación trata de delimitar muchos de estos factores a fin de lograr el reciclado y utilización de vidrio en procesos técnicos y productivos asociados a la regeneración de residuos, tal como lo propone la iniciativa de la economía circular y la visión de cero residuos. Los temas, que quedan pendientes de explorar, son la medición de traslucidez del material, la resistencia mecánica del material, ensayos de metalografía, experimentación de reacciones puzolánicas con otros materiales cerámicos, los usos que puede alcanzar, la mejora de la propuesta con una infraestructura más elaborada y el llegar a impactar a los actores sociales con el beneficio de dicha propuesta. En este sentido se propone que extendiendo el panorama a la investigación científica y tecnológica a la transformación de los RSU de aprovechamiento limitados a materiales granulares se puede integrar y desarrollar una mejor economía circular.

El producto de la investigación ayudó además a mirar a través de los RSU, tomando en cuenta que el reciclado perpetuo no existe, y como muchos de estos pueden convertirse en materiales granulares dado su estado físico irreparable de aprovechamiento limitado. El tratamiento de los residuos junto al diseño son eslabones que ayudan a una parte de las dimensiones del desarrollo sostenible, dichos residuos son una fuente muy importante a explotar, ya que su regeneración los introduciría nuevamente a cadenas productivas existentes o a otras nuevas, precedidas siempre bajo el modelo económico de la economía circular para el beneficio económico, social, medioambiental y cultural de las sociedades.

Referencias Bibliográficas

- Acaroglu, L. (2018). *Circular Systems Desing. A Toolkit for the circular economy*. Nueva York: Disrupt Design LLC. Recuperado el 23 de Febrero de 2021
- Agencia EFE. (5 de Mayo de 2019). Poca rentabilidad económica debilita el reciclado de vidrio en México. *Agencia EFE*. Recuperado el 24 de Marzo de 2021, de <https://www.efe.com/efe/america/mexico/poca-rentabilidad-economica-debilita-el-reciclado-de-vidrio-en-mexico/50000545-3968549>
- Aguayo, F., Peralta, M., Lama, J., & Soltero, V. (2018). *Ecodiseño. Ingeniería sostenible de la cuna a la cuna (C2C)* (Cuarta ed.). México: Alfaomega Grupo Editor S.A. de C.V. Recuperado el 5 de Febrero de 2021
- Alfie, M. (2005). *Democracia y desafío medioambiental en México Riegos, retos y opciones en la nueva era de la globalización*. Nezahualcóyotl: Ediciones Pomares, S.A. Recuperado el 13 de Octubre de 2020
- Amador, C. (2010). *El mundo finito. Desarrollo Sustentable en el siglo de oro de la humanidad*. (Primera edición ed.). México: FCE, UNAM, Facultad de Química. Recuperado el 04 de Noviembre de 2020
- Bertalanffy, L. v. (1976). *Teoría general de los sistemas. Fundamentos, desarrollo, aplicaciones* (Primera ed.). (J. Admela, Trad.) Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica. Recuperado el 01 de Mayo de 2021
- Brian, D., & Efrón, A. (2017). *Eficiencia energética en la supply chain: economía circular en la practica* (Primera ed.). Bogotá: Ecoe Ediciones. Recuperado el 04 de Noviembre de 2020
- Brosse, C. (2021). *La Basura No Existe. Hacia el suprarreciclaje y la Econmía Circular* (Primera ed.). San José, Costa Rica: UCAN; Nelis Global. Recuperado el 14 de Julio de 2021
- Cabello, A. (19 de Abril de 2016). *Economipedia. Haciendo fácil la economía*. Recuperado el 18 de Agosto de 2021, de Economipedia. com: <https://economipedia.com/definiciones/externalidad.html>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (18 de enero de 2021). www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpggir.htm. Recuperado el 21 de Febrero de 2021, de www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpggir.htm: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgpggir.htm>

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

- Capra, F. (1984). *El Tao de la física. Una exploración de los paralelos entre la física moderna y misticismo Oriental*. (S. Raimundo, Ed., & J. J. Alonso Rey, Trad.) Madrid: Luis Carcamo. Recuperado el 15 de Julio de 2021
- Capra, F. (1998). *La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas*. (D. Sempau, Trad.) Barcelona: Editorial Anagrama, S. A. Recuperado el 5 de Enero de 2021
- Cárdenas, C. (2011). Sociedad y discurso. Teun A. van Dijk. *Literatura y Lingüística*(28), 287-292. Recuperado el 15 de Febrero de 2021, de https://www.researchgate.net/publication/262473329_SOCIEDAD_Y_DISCURSO_Teun_A_Van_Dijk
- Cerrando el Ciclo. (s.f.). *Cerrando el ciclo*. Recuperado el 5 de Junio de 2020, de www.cerrandoelciclo.org: <https://www.cerrandoelciclo.org/>
- Chávez, L. (2019). *Desarrollo sustentable concepto y su evaluación en el ámbito rural*. (A. Nájera, Ed.) Clacso. Recuperado el 17 de Febrero de 2021, de <https://www.jstor.org/stable/j.ctvtwx358.8>
- Checkland, P. (1993). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas* (Primera ed.). Ciudad de México: Editorial Limusa S.A. de C.V. Recuperado el 02 de Mayo de 2021
- Comisarenco, D. (2006). *Diseño Industrial mexicano e internacional: memoria y futuro*. . México: Trillas. Recuperado el 25 de Enero de 2021
- Contreras, L., Vargas, L., & Ríos, R. (2018). *Procesos de fabricación en polímeros y cerámicos* (Primera ed.). Bogotá: Ediciones de la U. Recuperado el 17 de Marzo de 2021
- Coverings Etc. (2019). *coveringsetc.com*. Recuperado el 02 de Abril de 2021, de coveringsetc.com: <https://www.coveringsetc.com/BioGlass?pfid=a1050000002aAnW>
- Developmentinc Inc. (2020). *developmentinc.net*. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de developmentinc.net: <https://developmentinc.net/products#a64cb6bd-e202-4be2-b2f8-66e4202d0136>
- DEX Industries. (2021). *dexindustries.com*. Recuperado el 02 de Abril de 2021, de dexindustries.com: <https://dexindustries.com/materials/>
- Echeverri, R., & Franco, M. (2014). *Pensamiento sistémico - un enfoque práctico* (Primera ed.). Bogotá: Alfaomega Colombia S.A. Recuperado el 17 de Abril de 2021
- Ecovidrio, Entidad sin Ánimo de Lucro. (2020). *Informe de Sostenibilidad 2020*. Ecovidrio. Recuperado el 29 de Mayo de 2021, de <https://www.ecovidrio.es>
- Ellen Macarthur Foundation. (2019). *Hacia una Economía Circular: Motivos Económicos para una transición acelerada*. Recuperado el 28 de Febrero de 2020, de

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

https://www.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/publications/Executive_summary_SP.pdf

Enming Stone. (s.f.). *Enming Stone*. Recuperado el 02 de Marzo de 2021, de Enming Stone: https://es.chinaartificialstone.com/recycled-glass-stone-countertop-surface_p18.html

Escobedo, G., & Andrade, M. (2017). *Desarrollo sustentable. Estrategia en las empresas para un futuro mejor*. México: Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V. Recuperado el 29 de Enero de 2021

Espaliat, M. (2017). *Economía Circular y Sostenibilidad*. Create Space. Recuperado el 21 de Abril de 2020

FCC ambito. (s.f.). www.crismol.com. Recuperado el 02 de Abril de 2021, de www.crismol.com: <https://www.crismol.com/catalogo-vidrios-crismol/>

FCC ambito. (s.f.). www.crismol.com. Recuperado el 02 de Abril de 2021, de www.crismol.com: <https://www.crismol.com/>

FEVE The European Container Glass Federation. (2020). *FEVE The European Container Glass Federation*. Recuperado el 21 de Abril de 2021, de feve.org: <https://feve.org/about-glass/introducing-close-the-glass-loop/>

Form Us With Love [@formuswithlove]. (4 de Noviembre de 2020). Problem 3. *Glass infused with heavy metals poisons groundwater while nobody has a use for it today [Fotografía]*. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de <https://www.instagram.com/p/CHKkpAZgL9Z/>

Form Us With Love. (2020). *Problems* (Primera ed.). (R. Prime, Ed.) Suecia: Göteborgstryckeriet. Recuperado el 31 de Marzo de 2021

Forum World Economic. (2018). *Circular Economy in Cities. Evolving the model for a sustainable urban future*. Ginebra: World Economic Forum. Recuperado el 21 de Febrero de 2021, de http://www3.weforum.org/docs/White_paper_Circular_Economy_in_Cities_report_2018.pdf

García, B. (2008). *Ecodiseño. nueva herramienta para la sustentabilidad* (Primera ed.). México: D.R. Editorial Designio, S.A. de C.V. Recuperado el 20 de Julio de 2020

Gärtner, H., & Gascha, H. (2018). *Manual de fórmulas. Matemáticas, Física y Química* (Trigésima ed.). (D. R. Arrijoja, Trad.) México: Alfaomega Gurpo Editor S.A. de C.V. Recuperado el 15 de Febrero de 2021

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

- Gil, S. (2014). *Experimentos de física: usando las TIC y elementos de bajo costo* (Primera ed.). Buenos Aires: Alfaomega Grupo Editor Argentino. Recuperado el 25 de Febrero de 2021
- Glass and Glass. (2020). *glassandglass.com*. Recuperado el 02 de Abril de 2020, de [glassandglass.com: http://glassandglass.com/component/glass/](http://glassandglass.com/component/glass/)
- González, C. (2017). *Ciudad de México Patente n° MX/u/2017/000503*. Recuperado el 18 de Marzo de 2021
- González, F. (2013). *Ecoeficiencia. Propuesta de diseño para el mejoramiento ambiental* (Primera ed.). Jalisco: Editorial Universitaria. Recuperado el 7 de Abril de 2021
- Gutiérrez, H., & de la Vera, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (Tercera ed.). (P. Roig, Ed.) Ciudad de México: McGraw-Hill / Interamericana Editores, S. A. de C.V. Recuperado el 20 de Noviembre de 2020
- Harrouk, C. (06 de Agosto de 2020). *ArchDaily*. Recuperado el 31 de Marzo de 2021, de *ArchDaily*: <https://www.archdaily.mx/mx/944859/una-nueva-tecnologia-permite-aprovechar-los-desechos-de-vidrio-y-plastico-etiquetados-como-materiales-no-reciclables>
- Hugo, Q. &. (2009). *El ecodiseño como propuesta para el futuro ecológico*. Recuperado el 04 de Noviembre de 2020, de <https://ebookcentral.proquest.com>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2012). *Materiales valorizables recolectados*. Ciudad de México. Recuperado el 18 de Septiembre de 2020, de <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/#Tabulados>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *www.inegi.org.mx*. Recuperado el 19 de Marzo de 2021, de *www.inegi.org.mx*: <https://www.inegi.org.mx/temas/residuos/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2017). *Prácticas ambientales*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Recuperado el 25 de Marzo de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/temas/practicas/>
- Jiménez, L. M., Sanz, F. J., Martínez, J., Valero, A., Valero, A., Cerdá, E., . . . De Benito, B. (2019). *Economía Circular - Espiral. Transición hacia un metabolismo económico cerrado* (Primera ed.). Madrid: Ecobook - Editorial del Economista. Recuperado el 11 de Agosto de 2021
- Kirk, R., Othmer, D., Grayson, M., & Eckroth, D. (1980). *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology* (Tercera ed., Vol. XI). New York; Canada: John Wiley & Sons, Inc. Recuperado el 24 de febrero de 2020
- Kuhn, T. S. (2019). *La Estructura de las Revoluciones Científicas* (Cuarta ed.). (C. Solís, Trad.) México: Fondo de Cultura Económico. Recuperado el 25 de Diciembre de 2020

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

- Lovelock, J. (2007). *La venganza de la Tierra. Por qué la Tierra esta rebelándose y cómo podemos todavía salvar a la humanidad.* (Primera ed.). (M. García, Trad.) Barcelona: Editorial Planeta S.A. Recuperado el 29 de Enero de 2021
- Maturana, H., & Varela, F. (2003). *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del crecimiento Humano* (Primera ed.). Buenos Aires: Lumen. Recuperado el 5 de Febrero de 2021
- Meadows, D., Meadows, D., & Randers, J. (1992). *Más allá de los límites del crecimiento* (Primera ed.). (C. Schwartz, Trad.) Madrid: Ediciones El País / Aguilar S.A. de Ediciones. Recuperado el 08 de Mayo de 2021
- Miranda, C., Claramunt, M. d., Cornago, R., Escolástico, M., Esteban, C., Farrán, S., . . . Sanz, M. (2008). *Reciclado y tratamiento de residuos* (Digital ed.). Madrid: UNED - Universidad Nacional de Educación a Distancia. Recuperado el 18 de Febrero de 2020
- O-I Glass. (27 de Febrero de 2021). *o-i.com*. Obtenido de o-i.com: <https://www.o-i.com/our-story/how-glass-bottles-and-jars-are-made/>
- Owen Illinois. (2019). *El reciclaje ampliado apoya los objetivos de sostenibilidad.* Quebec: Owen Illinois. Recuperado el 26 de febrero de 2020, de <https://www.o-i.com/news/expanded-recycling-supports-sustainability-goals/>
- Pearson, C. (2010). *Manual del vidrio plano y sus manufacturas de la republica de Argentina* (Cuarta ed.). (T. P. S.A., Ed.) Buenos Aires, Argentina: TOD Producciones S.A. Recuperado el 29 de Marzo de 2021
- Piketty, T. (2015). *La economía de las desigualdades: cómo implementar una redistribución justa y eficaz de la riqueza.* (M. de la Paz, Trad.) Ciudad de México: Siglo XXI Editores. Recuperado el 25 de Octubre de 2020
- Raffino, M. E. (13 de Junio de 2020). *Ciencia moderna.* Argentina. Recuperado el 22 de Julio de 2021, de <https://concepto.de/ciencia-moderna/#:~:text=Se%20entiende%20por%20ciencia%20moderna,la%20Revoluci%C3%B3n%20cient%C3%ADfica%20del%20Renacimiento.>
- Real Academia Española. (2020). *Diccionario de la lengua española* (Vigésimo tercera [versión 23.4 en línea] ed.). Madrid: Asociación de Academias de la Lengua Española. Recuperado el 29 de Julio de 2021, de <https://dle.rae.es>
- Reyes, A. (2014). *Fisicoquímica* (Primera ed.). (L. Valdez, & A. Hernández, Edits.) México: McGraw-Hill/Interamericana Editores A.C. de C.V. Recuperado el 5 de Febrero de 2021

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

- Rodriguez, C. E. (2013). *Diccionario de economía: etiológico, conceptual y procedimental: edición especial para estudiantes [en línea]*. Mendoza: Biblioteca Central "San Bernardino Abad". Recuperado el 28 de Mayo de 2020, de <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5559>
- Saint-Gobain. (s.f.). *Saint-Gobain*. Recuperado el 15 de Febrero de 2020, de www.saint-gobain.com.mx: <https://www.saint-gobain.com.mx/economia-circular-como-producir-sin-danar-al-planeta>
- Sánchez, A. (1994). *Caracterización fisicoquímica de polímeros* (Primera ed.). Ciudad de México: Editorial Limusa S.A de C.V. Grupo Noriega Editores. Recuperado el 17 de Marzo de 2021
- Sánchez, J. (2006). *Diccionario de la ciencia* (Primera ed.). Barcelona: Editorial Planeta, S.A. Recuperado el 04 de Noviembre de 2020
- Secretaría de Gobernación. (2021). *Diarío Oficial de la Federación*. Recuperado el 22 de febrero de 2020, de <https://www.dof.gob.mx/>: http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=688657&fecha=08/10/2003
- Secretaría de Medio Ambiente. (2015). *Norma Ambiental Para el Distrito Federal NADF-024-AMBT-2013*. Ciudad de México: Gaceta Oficial del Distrito Federal. Recuperado el 25 de Marzo de 2021
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Gobierno de México*. Recuperado el 24 de Mayo de 2021, de <https://www.gob.mx/>: <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2017). *Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU*. México: Gobierno de México. Recuperado el 02 de febrero de 2020, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2019). *Visión nacional hacia una gestión sustentable: Cero residuos*. Ciudad de México: Secretaría de Medio Ambiente. Recuperado el 24 de Marzo de 2021, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf
- Secretaría del Medio Ambiente. (2019). *Inventario de Residuos Sólidos de la Ciudad de México*. Ciudad de México: Secretaría del Medio Ambiente. Recuperado el 23 de Marzo de 2021, de <https://www.sedema.cdmx.gob.mx/programas/programa/residuos-solidos>

Anexos

El modelo de la economía circular tiene ciclos biológicos (izquierda) y ciclos técnicos (derecha), los cuales buscan integrarse en un bucle y conjuntamente buscan alcanzar el aprovechamiento máximo de los materiales (Ellen MacArthur Foundation, 2009, p.19)



Datos de seguimiento de materiales

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

Sección 9. Propiedades Físicas y Químicas	
Apariencia:	
Estado físico.	Líquido Viscoso
Color.	100 Apha Máximo
Olor.	Aromático
Umbral del olor	No Disponible
pH	No Disponible
Temperatura de fusión	-30 °C (Estireno)
Temperatura de ebullición (760 mmHg)	145.2 °C (Estireno)
Punto de Inflamación	31.0 °C (Estireno)
Velocidad de evaporación.	No Disponible
Inflamabilidad (sólido, gas)	No Disponible
Límites máximo y mínimo de explosión (inflamabilidad)	Superior (6.8 %) Inferior (0.9%)
Presión de vapor	4.5 mmHg
Densidad de vapor (aire=1)	3.6 (Estireno)
Densidad relativa	1.22 ± 0.02
Solubilidad.	Ligeramente soluble
Temperatura de auto ignición	490°C (Estireno)
Coefficiente de partición n-octano/agua	No Disponible
Temperatura de descomposición	No Disponible
Viscosidad @ 25° C (cps)	2200 ± 100
Peso molecular	1,000-25,000
Otros datos Relevantes	

Propiedades físicas y químicas de la resina poliéster. Este producto es hecho por la marca comercial Poliformas Plásticas. Ficha técnica completa en: [Chrome extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.poliformas.mx%2Ffront%2Ffiles%2Fpdf%2FpdfFicha_PP-CRISTALPREPARADA75186.pdf&clen=1356468&chunk=true](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.poliformas.mx%2Ffront%2Ffiles%2Fpdf%2FpdfFicha_PP-CRISTALPREPARADA75186.pdf&clen=1356468&chunk=true)

SECTION 9: Physical and chemical properties	
Information on basic physical and chemical properties	
Appearance (physical state, color):	Clear Viscous Liquid
Odor:	None
Odor threshold:	Not Determined
pH-value:	6-8
Melting/Freezing point:	Not Determined
Boiling point/range:	>218°C
Flash point:	Pensky-Martens Closed Cup: 154 °C (ASTM D 93)
Evaporation rate:	Not Determined
Flammability (solid, gaseous):	Not Determined
Explosion limit upper:	Not Determined
Explosion limit lower:	Not Determined
Vapor pressure:	Not Determined
Vapor density:	Not Determined
Density:	1.13
Relative density:	Not Determined
Solubilities:	Not determined or not available.
Partition coefficient (n-octanol/water):	Not Determined
Auto/Self-ignition temperature:	Not Determined
Decomposition temperature:	Not Determined
Dynamic viscosity:	600-700 cP
Kinematic viscosity:	Not Determined
Explosive properties	Not Determined
Oxidizing properties	Not Determined

Propiedades físicas y químicas de la resina epoxídica. Este producto es hecho por la marca comercial Ecoepoxy. Ficha técnica completa en [chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fecopoxy.cdn.prismic.io%2Fecopoxy%2F293ed17a-0bb7-43da-b146-77978f96ce0d_FlowCast%25C2%25AE_Resin_Spanish_US.pdf&clen=150219&chunk=true](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fecopoxy.cdn.prismic.io%2Fecopoxy%2F293ed17a-0bb7-43da-b146-77978f96ce0d_FlowCast%25C2%25AE_Resin_Spanish_US.pdf&clen=150219&chunk=true)

Transformación de Vidrio Residual de Aprovechamiento Limitado (VRAL)

- **Densidad:** 2,5 kg/m³, lo que significa un peso de 2,5 kg/m² por cada mm de espesor (es comparable con la densidad del aluminio: 2,6 kg/ m²)
- **Punto de Ablandamiento:** aproximadamente 730°C.
- **Conductividad Térmica** (coeficiente lambda) = 1.05 W/mK.
La diferencia existente entre varios tipos diferentes de vidrio plano es muy pequeña como para ser considerada.
- **Coefficiente de Dilatación Lineal:** es el alargamiento experimentado por la unidad de longitud al variar 1° C la temperatura. Para el vidrio (entre 20 y 220°C) es $9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$.
Por ejemplo: un vidrio de 2000 mm de longitud que aumente su temperatura en 30° C sufrirá un alargamiento de $2000 \times (9 \times 10^{-6}) \times 30 = 0.54 \text{ mm}$.

Propiedades generales de los vidrios (Pearson, 2010, p.9).

Datos de la fórmula 1

Ficha técnica: VR / VRAL y Resina Poliéster (RP)				
A) Cálculo de sumatoria de densidades.				
$D = (2) / [(1 / \text{VRAL g/cm}^3) + (1 m_2 / \text{RP g/cm}^3)]$				
$D = (2) / [(1 / 2.5 \text{ g/cm}^3) + (1 m_2 / 1.22 \text{ g/cm}^3)]$			$D = 1.64 \text{ g/cm}^3$	
B) Cálculo de volumen para muestras.				
Volumen 1	$(5 \text{ cm}) * (5 \text{ cm}) * (.6 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}^3$		$15 \text{ cm}^3 / 100 = .15 \text{ m}^3$	
C) Cálculo de masa.				
Masa	$M = (1.64 \text{ g/cm}^3) * (15 \text{ cm}^3)$		$M = 24.6 \text{ g}$	
D) Regla de tres				
Fórmula	$M = 24.6 \text{ g}$			
	$100 \% = 24.6 \text{ g.}$ $75\% = 18.45 \text{ g.}$	$100 \% = 24.6 \text{ g.}$ $25\% = 6.15 \text{ g.}$	$100 \% = 24.6 \text{ g.}$ $72\% = 17.712 \text{ g.}$	$100 \% = 24.6 \text{ g.}$ $28\% = 6.888 \text{ g.}$
	$(75\% \text{ VRAL}) + (25\% \text{ RP})$ $(18.45 \text{ g. VRAL}) + (6.15 \text{ g. RP})$		$(72\% \text{ VRAL}) + (28\% \text{ RP})$ $(17.712 \text{ g. VRAL}) + (6.888 \text{ g. RP})$	

Datos de la fórmula 4

Ficha técnica: VRAL y Resina Epoxoy (RE)				
A. Cálculo de sumatoria de densidades.				
$D = (2) / [(1 / \text{VRAL g/cm}^3) + (1 m_2 / \text{RE g/cm}^3)]$				
$D = (2) / [(1 / 2.5 \text{ g/cm}^3) + (1 m_2 / 1.13 \text{ g/cm}^3)]$				$D = 1.56 \text{ g/cm}^3$
B. Cálculo de volumen para muestras.				
Volumen 1	$(5 \text{ cm}) * (5 \text{ cm}) * (.6 \text{ cm}) = 15 \text{ cm}^3$			$15 \text{ cm}^3 / 100 = .15 \text{ m}^3$
C. Cálculo de masa.				
Masa	$M = (1.56 \text{ g/cm}^3) * (15 \text{ cm}^3)$			$M = 23.4 \text{ g}$
D. Regla de tres				
Fórmula	M = 23.4 g			
	100 % = 23.4 g.	100 % = 23.4 g.	100 % = 23.4 g.	100 % = 23.4 g.
	75% = 17.55 g.	25% = 5.85 g.	72% = 16.848 g.	28% = 6.552 g.
	$(75\% \text{ VRAL}) + (25\% \text{ RE})$ $(17.55 \text{ g. VRAL}) + (5.85 \text{ g. RE})$		$(72\% \text{ VRAL}) + (28\% \text{ RE})$ $(16.848 \text{ g. VRAL}) + (6.552 \text{ g. RE})$	

Datos para reprocesar los materiales de la fórmula 1

Ficha técnica de Fórmula 1: VRAL y Resina Poliéster (RP)				
A-A. Cálculo de sumatoria de densidades.				
$D = 1.64 \text{ g/cm}^3$				
B-B. Cálculo de volumen para muestras.				
Volumen 2	$(10 \text{ cm}) * (10 \text{ cm}) * (.6 \text{ cm}) = 60 \text{ cm}^3$			$60 \text{ cm}^3 / 100 = .6 \text{ m}^3$
C-C. Cálculo de masa.				
Masa	$M = (1.64 \text{ g/cm}^3) * (60 \text{ cm}^3)$			$M = 98.4 \text{ g}$
D-D. Regla de tres				
Fórmula	M = 98.4 g			
	100 % = 98.4 g.	100 % = 98.4 g.	100 % = 98.4 g.	100 % = 98.4 g.
	75% = 73.8 g.	25% = 24.6 g.	72% = 70.848 g.	28% = 27.552 g.
	$(75\% \text{ VRAL}) + (25\% \text{ RP})$ $(73.8 \text{ g. VRAL}) + (24.6 \text{ g. RP})$		$(72\% \text{ VRAL}) + (28\% \text{ RP})$ $(70.848 \text{ g. VRAL}) + (27.552 \text{ g. RP})$	
Se trabaja con la formula siguiente: 70.848 g. VRAL (72%) + 27.552 g. RP (28%) = 98.4 g				
Comprobación de tipo de fórmula.				
Mesh 30	Apertura (mm) .6	Fecha: 05 / 07 / 2021 Nombre: 1-1 Masa inicial: M = 98.4 g Masa final: 83 g Reduce: 15.4 Hora inicial: 9: 30 pm Hora final: 10: 30 pm		

Ficha técnica de Fórmula 4: VRAL y Resina Ecoepoxy (RE)				
A-A. Cálculo de sumatoria de densidades.				
D = 1.56 g/cm ³				
B-B. Cálculo de volumen para muestras.				
Volumen 2	(10 cm) * (10 cm) * (.6 cm) = 60 cm ³	60 cm ³ /100= .6 m ³		
C-C. Cálculo de masa.				
Masa	M = (1.56 g/cm ³) * (60 cm ³)	M = 93.6 g		
D-D. Regla de tres				
Fórmula	M = 93.6 g			
	100 % = 93.6 g. 75% = 70.2 g.	100 % = 93.6 g. 25% = 23.4 g.	100 % = 93.6 g. 72% = 67.392 g.	100 % = 93.6 g. 28% = 26.208 g.
	(75% VRAL) + (25% RE) (70.2 g. VRAL) + (23.4 g. RE)		(72% VRAL) + (28% RE) (67.392 g. VRAL) + (26.208 g. RE)	
Se trabaja con la fórmula: 67.392 g. VRAL (72%) + 26.208 g. RE (28%) = 93.6 g				
Comprobación de tipo de fórmula.				
Mesh 16	Apertura (mm) 1.25	Fecha: 05 / 07 / 2021 Nombre: 4-1 Masa inicial: 93.6 g Masa final: 61 g Reduce: 32.6 g Hora inicial: 10: 10 pm Hora final: 8:43 am		

Entrevista semiestructurada transcrita

Primer acercamiento: Cerrando el ciclo A.C.

Hoy 4 de agosto del 2021 a las 3:36 da inicio la entrevista semiestructurada a José. José podrías decirme: Tú nombre completo, edad, cargo, las actividades que desempeñas y cuantos años llevas realizado estas actividades.

J: José Luis Pérez, soy el director de Cerrando el Ciclo. Nosotros llevamos ya casi 8 años trabajando en proyectos de suprarreciclaje e infrarreciclaje del vidrio como tal... Y este, y bueno lo que hacemos es nos enfocamos en vidrio de los envases y botellas para transformarlas y convertirlas en nuevos productos.

(Tema 1. Reciclado de vidrio (Suprarreciclaje))

C: Okey este... para abrir el tema, hmm... sobre el reciclado de vidrio y en este caso sobre el suprarreciclaje. ¿Qué razones te orillan a reciclar vidrio?

J: el proyecto inicia por la necesidad de que, bueno, nosotros identificamos la necesidad de trabajar con primero generar la conciencia sobre el vidrio como la botella que la final es un residuo, que se produce mucho en México, no. Hablando a lo mejor de más de tres millones de toneladas anuales. Pero muy poco se recicla, un 12%, este y lo que nosotros buscamos es porque si esta materia prima, que al final es 100% reciclable y se puede transformar en muchas cosas y aprovechar, y reciclar "n" en un ciclo cerrado ¿porque no se hace?

Y pues, lo que nos dimos cuenta es que al final es un residuo tan barato que la misma industria no tiene su interés de acopiar y recuperar y transformar. Entonces nosotros quisimos enfocarnos para darle una alternativa a este residuo, dándole una alternativa para que se acopiara, se transformara, incentivando a la gente a que, si no se hacía por un tema ambiental, lo hiciera por un tema económico que pudiera encontrar un beneficio económico a partir del acopio y el aprovechamiento del residuo.

C: Okey, José, podrías decirme, al existir diferentes clases de vidrio, a menudo, ¿qué tipo u objeto de vidrio reciclas? y ¿Por qué?

J: Si, nosotros, digo es una pregunta interesante. Existen varios tipos de vidrio, ¿no?, vidrio Float de ventana, Pyrex⁸⁵, templado, vitrofusión o vidrio para fusión y también está el vidrio de las botellas y el cristal. Pero nosotros nos enfocamos a las botellas de vidrio, haciendo a un lado otros tipos de vidrios como ventana, sobre todo que es el más común (Float). Este, nosotros especializamos y nos dedicamos al tema de las botellas por ser el que más abunda, no. Digo también el de ventana tiene una gran cantidad de uso, como de construcción. Pero nosotros nos quisimos especializar con el tema de la botella, por ser un residuo que literal esta tirado en la calle. Y por la facilidad de poder generar alianzas para conseguir materia prima, las botellas. Entonces ahí decidimos trabajar, el único vidrio en el que realmente nos especializamos.

C: Ahí se centra todo, ya. Bueno como una tercera pregunta. Podrías explicar, a grandes rasgos, ¿cuál es el estado físico del vidrio que reciclas y como empiezas a transformarlo?

J: Bueno, su estado físico lo tenemos en sólido, ¿no?, Al final las botellas. Este hmm... ¿te refieres como ah...?

C: Al estado físico, me refiero más, como tú lo encuentras cuando llega a tus manos. O sea, sucio, con etiquetas, limpio...

J: Este no, en su mayoría es sucio, con etiqueta. Igual nosotros ya podemos hacer un proceso de lavado. Y dependiendo, dependiendo la transformación que le vallamos a dar. Si lo vamos a hacer un orificio, un florero, una maceta, un vaso; pasara un proceso de lavado muy sencillo.

Pero si va a pasar un proceso de fundición, ahí si tiene que llevar un lavado más estricto, más riguroso, cuidando que no haya un residuo: un tipo de etiqueta con pegol, que tenga alguna macha, una contaminación interna (porque eso si ya nos afecta en el proceso de fundición). Entonces buscamos botellas completas, tampoco trabajamos con vidrio roto, pura botella completa. Estas pasan por un proceso de lavado que su intensidad es dependiendo del proceso para el que van.

(Tema 2. Problemas de reciclado en la materia)

C: Mira, entiendo tu postura de como estas trabajando. Y ahora me gustaría pasar a un segundo tema. Los problemas de reciclaje en la materia. La materia me refiero

⁸⁵ Es una marca comercial de objetos hechos con vidrio borosilicato

a este vidrio que tú has empleado para tu asociación. Desde tu perspectiva, el vidrio, ¿qué problemas están asociados para que el material no sea reciclado?

J: Yo creo que el bajo costo que tiene en el mercado, este es como el principal problema porque a diferencia del PET, cartón, aluminio u otros residuos. El vidrio como tal, refiriéndome al vidrio de botella (y este de botella porque el de ventana ni si quiera te lo compran, ni siquiera hay centros, o no hemos identificado centros el cual puedan llevar ese tipo de residuos), en el caso del vidrio de botella igual, son pocos centros los que te lo aceptan y los que te lo aceptan, este pues el precio de mercado de ese residuo es muy poco valorizado; entonces un kilogramo (pues ahora hemos visto que se ha incrementado el precio), pero estará entre ochenta (centavos) o máximo un peso el kilo, a diferencia del mercado de los plásticos que si tiene un costo mayor o una revalorización mayor.

Entonces, la gente que se dedica a la pepena, al reciclaje o al acopio de residuos pues prefiere ir por otro residuo y no enfocarse al vidrio o a las botellas por el bajo valor que representa y esto hace que al final demerita o no incentiva a que la gente acopie. Además, la materia prima para hacer vidrio es tan abundante y tan barata que las mismas vidrieras prefieren meter materia prima nueva, que no les va a meter ruido en sus procesos que al final para poder meter vidrio reciclado deben tener ciertos controles para no mezclar un cristal (que se les valla un pedazo de cristal con vidrio porque eso les afecta en sus controles). Para que ellos no se metan en tantos temas pues prefieren manejar materia virgen, al final es mejor, es más factible.

C: Más material virgen para no afectar sus procesos productivos.

J: Exacto. Tienen mayor control en sus procesos, tienen menos variables y al final la materia prima es tan barata que no representa realmente un beneficio económico para ellos el decir "voy a meter vidrio reciclado porque estoy bajando mis costos a un 70%", realmente no. Realmente para ellos no representa tanto ese beneficio por eso, no ha habido mucho interés.

C: Okey

J: Digo en mi opinión.

C: Okey, okey, si es muy respetable tu opinión. ¿Qué procesos realizan en cerrando el ciclo para reciclar el vidrio?

J: Pues, procesos en frio, no. Y por ahí vamos desde el corte, este hmm, corte a lo mucho, si corte pulido ese tipo de productos: procesos en frio. Y procesos en caliente, que ahí si utilizamos hornos y ya llegamos a temperaturas de máximo 800 - 900 grados °C donde ya termoformamos el vidrio. Y en algunos casos muy poco, pero estamos empezando a hacer, es llegar a fundición. Pero todavía no llegamos a una escala de una fundidora que llega a 1500 °C.

C: Como una industrialización.

J: Exacto. Ya para volver hacer estas⁸⁶ que agarran el vidrio lo vuelven a fundir y vuelven a sacar el vidrio nuevo. Este nosotros no tenemos, nuestros hornos no llegan a ese nivel de temperatura.

C: Sería como un tema de infraestructura.

J: Si.

C: Okey, si fuera el caso, podrías comentar, ¿qué consideraciones han planeado para tratar, seleccionar y separar el vidrio para su reciclado?

J: Hmm ¿qué consideraciones?

C: Si. Ósea ustedes manejan un parámetro donde digan “este vidrio si me conviene transformarlo y este vidrio ya no me conviene transformarlo”.

J: El tema de lo que nosotros hacemos es, más bien, un upcycling enfocado. Buscamos mucho los vidrios de colores que son los que mayormente ocupamos en algún proceso, descartamos mucho el vidrio transparente a diferencia de que el vidrio transparente en la industria es el vidrio más buscado o es el que es el mejor pagado porque es el que puede estar reciclando mayormente que un vidrio ya con color. Digo si meter un vidrio con color, no lo puedes meter con vidrio transparente lo contaminas.

Entonces, nosotros el vidrio transparente casi no lo ocupamos, ocupamos más, buscamos colores azules, verdes, ámbar, dependiendo. Nosotros nos fijamos por el tipo de color del vidrio.

C: Okey, en una siguiente pregunta. Los procesos que empleas ¿pueden transformar todas las clases de vidrio? y si fuera el caso ¿por qué?

J: No sabría ahí responderte, ósea vamos no lo hemos intentado. Pero si creo que, por ejemplo, si nosotros utilizábamos puro vidrio de ventana y lo trabajáramos en procesos en frio sin problema. Pero si queremos utilizar vidrio de ventana y manejarlo en procesos en caliente, tendríamos mucho problema, que de hecho eso lo vemos con las botellas porque está la incompatibilidad de los vidrios y cada vidrio al final tiene un coeficiente de expansión que va a variar de acuerdo a la formulación que tengan.

No puedes meter el vidrio de...es más no puedes meter el mismo vidrio de dos botellas iguales, aunque se vean del mismo color y la misma fórmula, no puedes fundirlas igual porque va a crear una incompatibilidad. Cada uno va a tener un coeficiente de expansión diferente y eso al momento va a generar una tensión interna en el vidrio que va a ser que se rompa o que se cuartee y en algún momento se rompa. Entonces esa incompatibilidad también pasa en otros tipos vidrio, por ejemplo el vidrio de ventana si tú lo quieres fundir, este al ser vidrio puedes comprar vidrio de ventana en una vidriera, pero a lo mejor tú tienes otro vidrio de otra vidriera, y los dos son de ventana y tú los ves físicamente son iguales pero sus moléculas o ya la fórmula de elaboración de cada uno es diferente entonces al momento de

⁸⁶ Hace ademanes con manos imitando un proceso de fundición.

fundirlos a las temperaturas que nosotros actualmente llegamos nos crea incompatibilidad y ya haría que las piezas se rompieran. Entonces nuestros procesos actuales no tenemos para poder llegar a temperaturas donde vuelvas a fundir otra vez completamente el vidrio y puedan volverse una misma fórmula y no haya incompatibilidad.

C: ¿Podría decirse un cuerpo homogéneo?

J: Exacto.

C: Un cuerpo homogéneo.

J: No llegamos a las temperaturas para que se homogenice toda la mezcla. Ahí nosotros actualmente en los procesos, no. Nos enfocamos al otro vidrio (botella) y no sé, al menos con nuestros procesos, al menos en la parte térmica mezclar vidrio o hacer lo mismo, pero con otro tipo de vidrio yo creo que no.

C: Okey. En un sentido técnico-productivo, para ti, ¿cuáles son los pros y los contras del suprarreciclado e infrarreciclado de vidrio?

J: Pues en el suprarreciclado es que, en el caso de nosotros, porque sigue siendo vidrio. Yo una botella la corto y sigue siendo vidrio, en el momento que se rompa, se va a tratar que vidrio, simplemente alargamos el ciclo de vida de esa botella. Pero entonces ahí en el suprarreciclaje, yo no veo el problema. A lo mejor yo si veo un problema en el infrarreciclaje porque al momento de triturar un vidrio y poderlo combinar con otros tipos de materiales después podría ser más difícil la separación. Ejemplo el PET, trituras el PET y después lo conviertes en hilo de PET, y después ese hilo de fe PET lo conviertes en playera, pero tú lo estampas, ósea ya hiciste un, primero un infrarreciclaje porque sacaste del PET, sacaste un hilo después ya lo procesaste y lo convertiste en una playera; pero si esa playera tú la estampas o la tiñes ya ese PET no se podrá volver a aprovechar en otra playera porque ya viene mezclado con nuevas... ya tiene nuevos retos.

C: Otras sustancias.

J: Otras sustancias

C: Se le agrega otras sustancias.

J: Entonces vas bajando cada vez en cascada y para abajo, vas bajando la calidad del material hasta que llega un momento en que ya no se vuelve en ciclo virtuoso de reciclaje. En el caso del vidrio, por ejemplo, nosotros, el vidrio si lo fundimos no metemos ningún tipo de producto ajeno al vidrio, es el mismo vidrio y cuando hacemos una placa o un vidrio fundido sigue siendo el mismo vidrio. Y si ese se regresa a una vidriera a las altas temperaturas que manejan se vuelve homogenizar y se vuelve a convertir en "frasco". Ósea no pierde cualidades el material. Y a veces el infrarreciclaje, siento que, nos puede llevar a un tema de que los materiales se contaminen mucho, después ya no puedan tener un ciclo continuo porque a lo mejor vas perdiendo calidad en el residuo y después se va mezclando con otros materiales y llega un momento en que ya no es aprovechable.

C: Okey, me parece interesante. Como un tercer tema, la fundición de partículas de vidrio, en este caso el cullet. Vamos a abrir un tema nuevo y en este tema me gustaría que abordáramos las siguientes preguntas

(Tema 3. Fundición de partículas de polvo de vidrio (cullet))

C: Para Cerrando el Ciclo cuando introduce el proceso de fundición para transformar el vidrio ¿qué tan importante es separar las clases de vidrio? y ¿Por qué?

J: Si es super importante porque el tema de la incompatibilidad, si nosotros vamos a fundirlo tenemos que buscar varias características en el vidrio, ósea más allá que sean del mismo color. Creo es uno de los retos del reciclaje es que tú puedes tener dos botellas iguales y al momento de fundirlas no van a tener compatibilidad, pueden ser dos botellas de vino que sean a la vista el mismo color, la misma forma, pero molecularmente o la fórmula de cada una son diferentes, entonces no hay un coeficiente de expansión igual y eso va hacer que no sea tan fácil su mezcla en la fundición. Peo insisto, son los retos que nosotros ahorita vemos por la temperatura que nosotros trabajamos. En una vidriera norma, una vidriera industrial que se dedica a temperaturas de 1500 °C otra vez todo vuelve a hacer una masa homogénea de vidrio y vuelve molecularmente igualarse. Cosa que nuestro proceso no.

Entonces si es importante nuestra separación al menos por color y depende mucho el proceso cuidar que no haya un tema de incompatibilidad.

C: Seria un tema de eficiencia para que tu puedas optimizar todo tu trabajo.

J: Si.

C: En tu experiencia ¿Qué limitaciones tiene el vidrio para ser fundido?

J: Compatibilidad, ósea a menos nuestro proyecto no tenemos los equipos o la infraestructura para llegar a las temperaturas que podrían darnos el poder llevar al vidrio hacer una mezcla homogénea. Entonces, el tema de fundir a las temperaturas que nosotros manejamos, la incompatibilidad es el mayor reto del vidrio. Y eso pasa con cualquier vidrio, ósea, sea de botella, sea de ventana, sea de Pyrex, sea de templado, lo que sea no puedo mezclar vidrio de diferentes. Y, de hecho, por ejemplo, los vidrios que si puedes mezclar son vidrios especiales como el “system 96” o “urzay” (que son marcas de vidrio), que están hechos específicamente con un coeficiente de expansión especifico que tú puedes mezclar colores, “el azul con el rojo” y todo eso, pero normalmente el vidrio común y corriente tiene, ósea a estos niveles de fundición, a las temperaturas que nosotros manejamos (600 a 800 °C), tiene un reto de incompatibilidad bastante fuerte.

C: El cullet es vidrio hecho grano y está en diferentes tamaños, cuya agrupación lo hacer ser un material granular, para ti, ¿qué representa fundir vidrio en forma de cullet?

J: Ahí depende mucho lo que queramos hacer, dependiendo el producto, pero si lo podemos utilizar con cierta granulogía o hay veces que ni siquiera buscamos

granulogía, simplemente rompemos la botella, con ese nivel. Depende mucho el tipo de producto que vallamos a hacer es el tamaño de grano que vamos a ocupar.

C: Okey. Si has tenido que fundir cullet, ¿Qué tamaño de partícula de vidrio manejas? y ¿por qué?

J: Pues, el mínimo que hemos manejado es de 5 mm más o menos, como que ese tamaño es el mínimo. Y el máximo es vidrio tal cual astillado, ósea una botella rota, tal como va, sin volverla grano se rompe y listo. Y porque, pues depende mucho el proceso. Si por ejemplo va hacer una pieza de joyería, si buscamos una granulogía más pequeña lo más pequeño posible, si va hacer una pieza más grande ya no nos importa que sea una granulogía más pequeña; podemos agarrar la botella se rompe tal cual y listo con eso lo trabajamos. Entonces varía mucho el tamaño.

C: Okey. Si las diferentes clases de vidrio se hicieran cullet ¿Es posible que se funden y de esta manera la materia se recicla?

J: No, por la incompatibilidad. Hacer cullet (botellas, Pyrex, ventana o cristal) y fundirlo. No creo que se pueda mezclar porque son formulaciones diferentes. Desconozco si en un proceso industrial se pueda, pero lo que si estoy seguro que en un proceso industrial no puedes mezclar un cristal con un vidrio. Entonces desconozco si puedes mezclar un Pyrex con un vidrio de ventana, o puedes mezclar un vidrio de botella con un vidrio de ventana. Aunque los mandes a procesos de fundición altos, no. En lo que nosotros tratamos en nuestros procesos, la verdad nuestros procesos, no se puede y en el industrial estoy seguro que al menos cristal y vidrio no se puede mezclar.

C: Que sería más con el tema de incompatibilidad. Todo radica en la incompatibilidad de vidrio.

J: Aja (asienta con la cabeza). Y bueno en el caso del vidrio la incompatibilidad y la formulación porque ahí viene, platicábamos ahí viene óxido de plomo que hace que le da ciertas características al vidrio para que se convierta en cristal. Entonces, ya estas cambiando, una estructura molecular con otra y ya (incluso), tu, fundas a ciertas temperaturas, desconozco si realmente si se pueda llegar a una conexión en cualquier momento.

C: Okey. ¿Has empleado el vidrio granular en procesos al que no necesariamente se funda?

J: Si. Pero solamente fueron prototipos igual con resinas, pero fueron prototipos iniciales, pero alguna vez.

C: Que no forman actualmente dentro de tus procesos.

J: No.

(Tema 4. Pregunta final y reflexiones.)

C: Okey. Como un cuarto tema y aquí es una pregunta final con una reflexión. Me gustaría hacértela, pero tratando de desmenuzarla. Los medios donde circula el vidrio hay un ciclo de reciclaje, una economía lineal que lo crea procesa, usa y tira

y en todo esto existe vidrio residual. Entonces te pregunto ¿crees que exista el ciclo de reciclaje de vidrio bajo el paradigma económico lineal que bloquea el reciclado de vidrio residual?

J: No me queda muy claro la pregunta.

C: Digamos que el paradigma lineal habla sobre estos procesos de extracción, transformación y tirar, a grandes rasgos. Pero de ahí, todo este vidrio que se procesa solo un porcentaje se recupera y todo lo demás se pierde o llega a un lugar desconocido, que no sabemos la mayoría de la gente común. Pero todo ese vidrio que se desperdicia llega a hacer un vidrio residual. Entonces hablando de este paradigma lineal, dentro del ciclo de reciclaje de vidrio ¿crees que exista algo que bloquee el reciclaje de vidrio residual?, Una entidad, un modelo, el interés de la gente, ósea diferentes factores que tú en tu experiencia creas que de alguna manera no se recicla.

J: Pues, creo que la utopía sería que todo sería un reciclaje cíclico, ¿no?, que si se realizan 100 toneladas de vidrio (se produzcan), esas cien regresen y entren en un ciclo, a una economía circular. Esa sería la utopía, pero la verdad es que ni los países más educados (por así decirlo) o con mayor poder adquisitivo o “más económicos”, con unas economías más fuertes logran el cien por ciento, ¿no?

Realmente, yo creo eso es una utopía, sin embargo, sí creo que faltan ese juego de tres actores. Uno es el gobierno porque el gobierno debe poner infraestructura para que la gente y las empresas, debe poner el marco legal, establecer un marco legal adecuado para que tanto sociedad, empresa e iniciativa privada trabajen siguiendo ciertas reglas, multas y sanciones y ejecutar ese plan o ese marco legal con respecto al reciclaje de vidrio (por dar un ejemplo). Entonces está el gobierno que también debe de proveer de infraestructura para que tu como ciudadano puedas decir como ciudadano “voy caminando por la calle, en vez de tirarlo a la acá (basura), ahí hay un bote y lo hechas en un bote”. Y que exista dentro de toda la red de acopio pues la separación de adecuada de los residuos para que se puedan aprovechar, entonces el gobierno es uno de las entidades que mayor tiene que meter tiene las regulaciones y saberlas ejecutar o ejecutarlas.

Entonces viene iniciativa privada porque también es una corresponsabilidad de cada producto. Ósea tu generas una botella, tu producto es un refresco y tu generas la botella porque ahí vas a poner tu líquido tu producto y tú se lo vas a vender a un consumidor, pero si el consumidor (independientemente lo que haga el consumidor), tú tienes una corresponsabilidad por parte de ese envase, es tu marca, es tu producto, tú lo vendiste pero tienes que también generar proyectos que establezcan la manera de cómo voy a generar mis residuos de mi producto y cómo lo voy a recuperar para volverlo a reinsertar a la cadena productiva. Entonces la iniciativa privada es otra parte importante.

Y por últimos, nosotros como consumidores. Ósea, existe una corresponsabilidad en que, si yo me compro un refresco y yo me lo tomo, mi responsabilidad es cuando yo compré el refresco también compre el envase, también soy responsable del envase. Entonces si yo agarro el envase en la calle, lo que va a pasar ese envase

no va regresar a la cadena productiva; puede vivir en la calle, se pulveriza y después ahí anda viviendo en las calles o enterrado en rellenos sanitarios o en mares que es muy común que existan islas donde llega todo el vidrio triturado y que las olas (desgastan), le llaman vidrio de mar que las olas lo van desgastando. El consumidor tiene la obligación de también responder y tener una responsabilidad por el producto que ya consumió; ese envase nos corresponde a nosotros ver con ese envase (se señala así mismo). Tirarlo a la calle (envase), pues obviamente estamos rompiendo ese ciclo o si le damos una correcta disposición que es llevarlo a un mínimo un bote de basura.

Yo creo es el juego de estos tres actores lo que hacen que, ya sea el vidrio o cualquier tipo de residuo, al menos ahorita en América Latina hablando son tan bajos los porcentajes. Y hay países por ejemplo en España que hay una asociación civil muy fuerte que se llama Ecovidrio, y ellos lo que hacen es: el gobierno establece un IEPS (un impuesto especial para las botellas de vidrio) donde el momento en que el consumidor compra su botella, ese IEPS o ese impuesto se va a esta asociación civil y esta asociación civil lo que hace es poner "iglús", como tambos verdes en toda España en sus diferentes provincias o estados, y ahí hacen campañas de comunicación y difusión con la gente para que sepan que todas las botellas van al "iglú". Entonces, ¿qué hacen?, bueno fomentan mucho más y tienen porcentajes de reciclaje mucho más altos.

Y bueno por en el vidrio es un residuo muy barato, es muy barato que ahorita que lo hace de poco interés para la industria del reciclaje. No hay mucho interés por reciclar vidrio porque mientras la materia prima y el vidrio sea barato para que meterse en problemas. Sin embargo, nosotros lo hemos visto con las empresas que empiezan a crear esa conciencia en la sociedad y las empresas ahora ya están empezando a voltear o siguiendo con las exigencias que la sociedad pide más de los productos, es decir "oye yo te voy a comprar esta "coca", pues está bien este refresco, pero haz programas ósea yo quiero que tu recicles, yo quiero que esa botella no llegue al mar o a un relleno sanitario". Y las empresas empiezan a tomar esta forma de empezar a colaborar con la sociedad para reciclar sus productos. Yo creo la suma de todas esas como variables que hacen que todo ese 100% de producto que se genera, solo un nivel muy bajo regrese y todo lo demás va a quedar en rellenos sanitarios o en mares o en bosques. Creo es la suma de varias, variables que son, que hacen se tienen que ir alineando y coordinando para que ya sea cualquier residuo o vidrio pueda tener un porcentaje mayor.

Y en resumen es gobierno estableciendo un marco legal y ejecutándolo de la manera adecuada, la iniciativa privada teniendo la corresponsabilidad que lleva respecto a sus residuos que generan y la sociedad, nosotros educando y trabajando más en exigirle tanto a sociedad como a gobierno que haga todo lo necesario para que nos creen los mecanismos para que nosotros como sociedad podamos darles un destino final a los residuos.

C: Y de alguna forma generar conciencia.

J: Si.

C: Ya como actividad humana generar un círculo de conciencia

J: Exacto, si la verdad es que uno como consumidor tiene al menos informarte porque tienes una decisión muy importante. Tu decisión de compra. Si tú dices “este producto esta marca genera este producto, tiene malas prácticas (ya sean sociales o con sus colaboradores, las comunidades donde trabajan, el medio ambiente, contaminan), entonces yo como consumidor digo, no compro este producto”. Al final es la decisión que tienen y si esta empresa si no cambia, va a llegar en cualquier momento que va a desaparecer porque si todos los consumidores se informan y son más consciente de sus compras, pues tienen su decisión en sus manos.

C: Ya, okey. Pues muchas gracias José. Este sería el fin de la entrevista⁸⁷.

⁸⁷ La entrevista tuvo una duración de treinta minutos con cuatro segundos.